Министерство образование и науки Украины

Государственное высшее учебное заведение

”Украинский государственный химико-технологический университет”

Задорский В.М.

Теория технических систем

Днепропетровск 2016

УДК 66.02/04(075.8

ББК 35.112

А46

Рецензенты: Николенко Н.В., д.х.н., профессор ДВУЗ УГХТУ

Ермаков П.П., д.х.н., профессор ДВУЗ УГХТУ

Рекомендовано Ученым Советом Государственного высшего учебного заведения

”Украинский государственный химико-технологический университет”

А46 Задорский В.М.Теория технических систем, Днепропетровск, ДВУЗ УГХТУ,2016,- 350 с.

ISBN 966-8018-46-х

В учебном пособии для студентов, обучающихся по направлению подготовки “6.050503 - Машиностроение” по специальности “7.05050315 – Оборудование химических производств и производств строительных материалов“ по двум предметам “Теория технических систем” и ”Оптимизация химической техники” даны теоретические основы системного анализа и синергии, описаны новые эффективные аппаратурные и технологические средства и методы совершенствования промышленных установок в химии и смежных отраслях производства. В книге освещен широкий круг вопросов технологического преобразования реальной экономики, применительно, прежде всего, к химическим производствам. Использованы, в основном, результаты собственных научных разработок автора и результатов их коммерциализации. В основе монографии лежит использование идеологии системного анализа. Впервые показаны возможности синергии как инструмента, средства и метода обеспечения гармонии и принципа соответствия не только в реальной экономике, но и в политике, бизнесе, вообще, в нашей многообразной жизни. Предложена, развита и всесторонне использована новая синергическая концепция креативности, которая основана не на случайном поиске решений методом проб и ошибок, не на плагиате у Природы ее решений (“Синектикс”), не на выявлении, а потом разрушении, преодолении, устранении, уничтожении противоречий (подход ТРИЗа), а на концепции *объединения, взаимодействия, создания и усиления гармонии технических систем*. Такой подход позволил автору создать принципиально новую технологию изобретательства и разработать новую концепцию и эффективную технологию креативного образования. Кроме студентов, пособие может быть полезным учёным, специалистам инженерного профиля, предпринимателям, молодежи, тяготеющей к технологическому инновационному бизнесу.

УДК66.02/04(075.8)

ББК 35.112

ISBN 966-8018-46-х

В.М.Задорский В.М.,2016

Оглавление*

Стр.
Предисловие……3

Глава 1 Общие сведения об инженерных средствах и методах оптимизации химико- технологических систем (ХТС). Введение в системный анализ. Экологичность и энергоэффективность ХТС.. …… ..…….5
1.1. Общие сведения……5
1.2. Использование системного подхода……...9
1.3. Экологизация (повышение чистоты) производства…….….13
1.4. Стратегия и тактика энергосбережения…… 18
1.5. Системные методы энергосбережения в химической промышленности…… . 21

Глава 2. Определение и свойства технических систем. Основы системного анализа.... 23
2.1. Определение технической системы. …… . 23
2.2. Особенности химико- технологических систем (ХТС)……23
2.3. Основные законы технических систем. Некоторые общие принципы интенсификации и синтеза оптимальных ХТС……..……27
2.4. Критерии оценки технической системы……29
2.4.1.Критерий интенсивности химико – технологических аппаратов. …… 30
2.4.2. Уровень реализации концепции устойчивого развития (КУР) как интегральный критерий реформирования систем……33
2.5. Стратегия и тактика УР…… ……35
2.6. Индикаторы устойчивого развития как критерии оптимизации технических систем……..36
.
Глава 3. Еще немного о системном анализе - начале начал. ……..42
3.1. Основные определения……42
3.2. Основные свойства систем…… 45
3.3. Ещё о некоторых особенностях системного подхода……...47
3.4. Анализ жизненного цикла систем. Немного об их инвестировании и макросистемах.49
3.5. Место ХТС в общей классификации систем с позиций системотехники……54

Глава 4. Принцип гармонии систем. Синергия. Бизнес – аспекты……..57
4.1. Общие сведения о синергии. Все началось с Мессинга…… .57
4.2. Императив технологического преобразования экономики. Синергия как инструмент совершенствования систем. ……..... ..58
4.3. Что такое синергетика?.....59
4.4. Синергические аспекты бизнеса……64
4.5. Синергия в интеграции интеллекта и бизнеса……...66
4.6. Технологический бизнес и кластерный подход……67
4.7. Эскалация кластерного подхода как конкретного средства синергии…… …….69
4.8. Немного о тактике кластеризации…….…….71
4.9. Трансферт технологий или технологический бизнес?.....75

Глава 5. Синергическая гармония технологии и оборудования……..77
5.1.Экологизация (повышение чистоты) производства……..78
5.2. Стратегия и тактика энергосбережения. …… …..81
5.3. Интенсивность ХТС……83
5.4. Повышение эффективности химической техники……. …...92
5.5. Повышение гибкости химической техники……92
5.6. Примеры использования РТ и АК - методов интенсификации…… 93

Глава 6. Каждому болту своя гайка. Как не изобретать велосипед?.....97
6.1. Развитие методов поиска креативных решений (взгляд проф. Каца М.Д.)……..……97
6.2. Инженерные средства и методы оптимизации технических систем. ……100
6.3. Примеры использования методики поиска оптимальных решений или совершенствования технических систем……103

Глава 7. Совершенствование газожидкостных систем…….119
7.1.Прямоточные газожидкостные реакторы (модули) с многократной инверсией фаз…….126
7.2. Оптимизация конструкций регулярных насадок для совмещенных и массообменных аппаратов…….....132

Глава 8. Гармония колебаний – оружие синергии.....147
8.1.Разработка адаптивных клапанных контактных устройств. 152
8.2. Колебания клапанов на клапанных массообменых тарелках.....156
8.3. Локальная гидродинамика при барботировании в аппаратах с клапанными контактными устройствами,,,

Введение

Основная задача данного учебного пособия - дать студенту, обучающемуся по направлению подготовки “6.050503 - Машиностроение” по специальности “7.05050315 – Оборудование химических производств и производств строительных материалов“ информацию по основам теории, средствам и методам практического использования по двум взаимосвязанным учебным дисциплинам “Теория технических систем” и ”Оптимизация химической техники”. В книге даны теоретические основы системного анализа и синергии, описаны новые эффективные аппаратурные и технологические средства и методы совершенствования промышленных установок в химии и смежных отраслях производства, показаны будущему и действующему современному специалисту возможности использования системного подхода и его основного оружия - синергии при оптимизации действующих и создании новых химических производств путем нахождения наиболее эффективных инновационных решений.

В связи с тем, что альтернативы технологической перестройке экономики Украины нет, особенно актуальными становятся задачи создания высокоэффективного и высокоинтенсивного оборудования, принципиально новых интенсивных, мало- и безотходных технологий. Без таких технологий и оборудования невозможно решить задачи, стоящие перед химиками страны, по восстановлению химической промышленности, по организации или резкому увеличению производства ряда химических продуктов, техническому перевооружению и созданию новых производств материалов с заранее заданными свойствами, в том числе сверхчистых, увеличению выпуска и расширению номенклатуры малотоннажной продукции, прежде всего продукции органического синтеза и др.

Эти задачи могут быть успешно решены только при условии реализации комплексного подхода и одновременном решении всего круга вопросов создания оптимальных технологий и аппаратуры для новых и технического перевооружения действующих производств на основе системного анализа и синергичного подхода к совершенствованию систем химического производства..

За годы работы в реальной промышленной химии автором были разработаны не только новые концепции совершенствования химической техники (если под “техникой” иметь в виду единство технологии и ее аппаратурного оформления) взамен локального совершенствования технологии и оборудования, но и конкретные средства и методы (“tools and methods”) их реализации. Оказалось, что для этого необходимо создать не только отдельные информационные базы известных и новых режимно – технологических (РТ) и аппаратурно – конструктивных (АК) методов оптимизации, но и методы поиска гармонирующих друг с другом РТ и АК - методов и соответствующих параметров их реализации, прежде всего, путем сближения, гармонизации их характеристик.

Традиционно РТ методы являются в реальном производстве прерогативой технологов, а АК – механиков. К сожалению, те и другие говорят “на разных языках” и зачастую не понимают друг друга. Во многих странах для производства уже готовят специалистов по интегральным учебным планам, в которые включены учебные дисциплины, необходимые как механикам, так и технологам. Эта тенденция учтена при написании данного учебного пособия. Традиционных методов для оптимизации проектирования и эксплуатации химической

техники оказалось недостаточно и автору пришлось разработать, помимо традиционных АК и РТ методов, достаточно много новых эффективных средств и методов, которые, несомненно, могут быть интересны могим читателям.

Среди них следующие **АК- методы**: Циклические колебания элементов химического оборудования, использование дополнительных источников энергии (физических полей, к примеру), конструктивные приемы обеспечения гибкости оборудования, конструктивные методы турбулизации потоков и перемешивания контактирующих фаз, повышение активного взаимодействия конструктивных элементов с потоками контактирующих фаз и др. **РТ-методы** : Рециркуляция, гетерогенизация, взаимная эжекция, циклические режимы перемещения фаз, соударение потоков, синергичное сочетание различных методов воздействия на фазы, асинергичное разделение традиционно совмещенных процессов и др. Для объективного суждения об эффективности выбранных для каждого конкретного случая методов и режимов их реализации, оказалось необходимым выбрать значимые параметры, характеризующие уровень синергичного взаимодействия.

При переходе от проектирования отдельных аппаратов к проектированию систем возникает целый ряд проблем, связанных с необходимостью учета взаимосвязи элементов структуры системы. Методики синтеза сложных ХТС, учитывающие указанную взаимосвязь, в особенности при использовании совмещенных процессов, пока разработаны недостаточно.

В книге сделана попытка изложения комплексного подхода к созданию сложных химико-технологических систем, основанного на одновременном использовании традиционных и впервые предложенных автором режимно - технологических (РТ) и аппаратурно-конструктивных (АК) методов интенсификации, обеспечении единства технологии и аппаратурного оформления, в том числе за счет использования модульного принципа при компоновке (агрегатировании) химико-технологических аппаратов из самостоятельных блоков — унифицированных модулей.

Кроме того, в книге изложены принципиально новые подходы к поиску нестандартных эффективных инновационных решений, прежде всего, в областях техники, связанных с химической индустрией. Автором предложена, развита и всесторонне использована синергическая концепция креативности, которая основана не на случайном поиске решений методом проб и ошибок, не на плагиате у Природы ее решений, не на выявлении, а потом разрушении, преодолении, устранении, уничтожении противоречий, а на концепции определения возможностей и реализации идеи объединения, взаимодействия, усиления гармонии технических систем и подсистем, прежде всего, на лимитирующем иерархическом уровне на основе системного анализа и использования синергичных подходов

Многие из освещенных в книге положений апробированы и внедрены (сейчас больше в ходу термин “коммерциализированы”) в виде непрерывных технологических процессов для получения веществ с заданными свойствами и новых конструкций массообменных, а также комбинированных реакционно-массообменных аппаратов.

Значительная часть экспериментальных материалов, приведенных в книге, получена с участием аспирантов, соискателей и сотрудников кафедры оборудования химических заводов Украинского государственного химико-технологического университета (ранее Днепропетровского химико-технологического института), которым автор выражает глубокую признательность за участие в совместной работе, поддержку и помощь при работе над книгой.

Глава 1. Общие сведения об инженерных средствах и методах оптимизации химико-технологических систем (ХТС). Введение в системный анализ. Экологичность и энергоэффективность ХТС.

1.1. Общие сведения.

В связи с тем, что альтернативы технологической перестройке экономики Украины нет, особенно актуальными становятся задачи создания высокоэффективного и высокоинтенсивного оборудования, принципиально новых интенсивных, мало- и безотходных технологий. Без таких технологий и оборудования невозможно решить задачи, стоящие перед химиками страны, по восстановлению химической промышленности, по организации или резкому увеличению производства ряда химических продуктов, техническому перевооружению и созданию новых производств материалов с заранее заданными свойствами, в том числе сверхчистых, увеличению выпуска и расширению номенклатуры малотоннажной продукции, прежде всего продукции органического синтеза и др.

Эти задачи могут быть успешно решены только при условии реализации комплексного подхода и одновременном решении всего круга вопросов создания оптимальных технологий и аппаратуры для новых и технического перевооружения действующих производств на основе системного анализа и синергичного подхода к совершенствованию систем химического производства.

При переходе от проектирования отдельных аппаратов к проектированию систем возникает целый ряд проблем, связанных с необходимостью учета взаимосвязи элементов структуры системы. Методики синтеза сложных ХТС, учитывающие указанную взаимосвязь, в особенности при использовании совмещенных процессов, пока разработаны недостаточно.

Основная задача этого учебного пособия помочь будущему специалисту, прежде всего, механического профиля с ориентацией на будущую работу в химической, нефтехимической, биотехнологической промышленности и в других смежных отраслях производства в изучении двух важных для его становления специальных курсах ”Теория технических систем” и “Оптимизация химической техники” на основе освоения возможностей использования системного подхода и его основного оружия - синергии при оптимизации действующих и создании новых химических производств путем нахождения наиболее эффективных и инновационных решений. Автор сделал попытку предложить и передать студентам не только традиционные подходы, но и разработать новые концепции совершенствования химической техники (если под “техникой” иметь в виду единство технологии и ее аппаратурного оформления) взамен локального совершенствования технологии и оборудования, и конкретные средства и методы (“tools and methods”) их реализации. Оказалось, что для этого необходимо создать не только отдельные информационные базы режимно – технологических (РТ) и аппаратурно – конструктивных (АК) методов оптимизации, но и методы поиска гармонирующих друг с другом РТ и АК методов и соответствующих параметров их реализации, прежде всего, путем сближения, гармонизации их характеристик.

При этом традиционных методов для оптимизации проектирования и эксплуатации химической техники оказалось недостаточно и автору пришлось разработать и осветить в данном пособии,

помимо традиционных АК и РТ - методов, достаточно многих новых эффективных средств и методов, которые, несомненно, могут быть интересны и полезны будущему специалисту.

Среди них следующие АК - методы: Циклические колебания элементов химического оборудования, использование дополнительных источников энергии (физических полей, к примеру), конструктивные приемы обеспечения гибкости оборудования, конструктивные методы турбулизации потоков и перемешивания контактирующих фаз, повышение активного взаимодействия конструктивных элементов с потоками контактирующих фаз и др. РТ- методы : Рециркуляция, гетерогенизация, взаимная эжекция, циклические режимы перемещения фаз, соударение потоков, синергичное сочетание различных методов воздействия на фазы, асинергичное разделение традиционно совмещенных процессов и др. И, наконец, для объективного суждения об уровне гармонии выбранных для каждого конкретного случая методов и режимов их реализации, необходимо выбрать значимые параметры, характеризующие уровень синергичного взаимодействия.

Многие из освещенных в книге положений апробированы и внедрены (сейчас больше в ходу термин “коммерциализированы”) в виде непрерывных технологических процессов для получения веществ с заданными свойствами и новых конструкций массообменных, а также комбинированных реакционно-массообменных аппаратов.

Далее во введении автор излагает наиболее важные для понимания и освоения студентом аспекты развития теории и практики создания и совершенствования средств и методов оптимизации технических систем. Многое из того, что включено во введение, более подробно изложено непосредственно в учебном пособии.

1.2. Использование системного подхода (более подробно о системном подходе читайте в главе 2).

Наше время характеризуется постоянным нарастанием комплексных проблем, требующих для своего разрешения все больше информации и участия специалистов различных областей знаний. Все острее ощущается потребность в специалистах «широкого спектра» знаний, умеющих эти знания обобщать. По мере усложнения типов производств усложняются и отношения во всех сферах человеческой деятельности. Возникают задачи, решение которых невозможно без использования понятия комплексного системного подхода. Для обобщения дисциплин, связанных с исследованием и проектированием сложных социальных систем используется термин «системные исследования». В настоящее время системный подход используется и подвергается осмыслению философами, биологами, кибернетиками, физиками, инженерами, социологами, экономистами и другими специалистами (в том числе, и теми, которые являются основными посетителями данного блога). Системные представления все шире включаются в учебный процесс многих вузов, и в настоящее время такие курсы, как «Теория систем», «Системный анализ», «Системология», служат базовым образованием для многих специальностей. Системный подход вошел в современную теорию организации управления как особо востребованная методология научного анализа и мышления. Способность к системному мышлению стала одним из требований к современному руководителю, особенно, к проектному менеджеру. Системное мышление — не дело свободного выбора, а производственная необходимость. Без него практически невозможно сегодня заниматься оптимизацией любых сложных систем, в том числе, технических.

Центральным понятием системного анализа является понятие “система”. Суммируя многочисленные определения, приведенные в литературе, получим: Система есть совокупность элементов (подсистем). При определенных условиях элементы сами могут рассматриваться как

системы, а исследуемая система - как элемент более сложной системы. Связи между элементами в системе превосходят по силе связи этих элементов с элементами, не входящими в систему. Это свойство позволяет выделить систему из среды. Для любой системы характерно существование интегративных качеств (свойство эмерджентности), которые присущи системе в целом, но не свойственны ни одному ее элементу в отдельности: систему нельзя сводить к простой совокупности элементов; система всегда имеет цели, для которых она функционирует и существует.

Попробуем очень сжато рассмотреть основные свойства систем. К сожалению, мышление человека несистемно: люди не успели в процессе эволюции выработать системное видение мира. Наше воображение создает усеченный образ всего объекта, который требуется изучить, исследовать с целью его изменения или усовершенствования. Человек как бы видит изображение объекта на одном экране, причем зачастую недостаточно полно. Я всегда напоминаю студентам старую притчу о трех слепых индусах, каждый из которых ощупывал часть слона. Когда их попросили сформулировать представление о слоне, первый, ощупавший хвост, сказал, что слон - это нечто упругое, тонкое, извивающееся, гибкое, второй, ощупавший хобот, сообщил, что слон - нечто мягкое, теплое, не очень большое, а третий, подержавшись за ногу, сказал, что слон - большой, ленивый, малоподвижный. Они не смогли по характеристике частей системы сложить правильное представление о всей системе - слон. Системное мышление зажигает одновременно, как минимум, три экрана: видна надсистема (группа слонов), система (слон) и подсистема (какой-то орган слона). Это минимальная схема. Для решения системных задач требуется включить и другие экраны, которые помогут посмотреть на систему в развитии, во времени. Теоретики системного анализа говорят, что «девять (минимум девять!) экранов системно и динамично отражают системный и динамичный мир». И тогда цель системного подхода, — опираясь на изучение объективных закономерностей развития систем, дать правила организации мышления по многоэкранной схеме. Итак, **первое свойство системы** - по части системы нельзя охарактеризовать всю систему.

Системный подход ориентирует исследователя на раскрытие целостности объекта, на выявление многообразных типов связей в нем и сведение их в единую теоретическую картину. В настоящее время под системным подходом понимают направление методологии научного познания и социальной практики, в основе которого лежит рассмотрение объектов как систем. Соответственно, суть системного подхода заключается в представлении об объекте как о системе. Кроме этого, системный подход представляет любую систему как подсистему (иерархический уровень): над любой системой есть надсистема, которая находится на более высоком уровне иерархии систем, и под каждой системой есть подсистема на более низком уровне иерархии. Итак, каждый иерархический уровень связан с вышележащим и нижележащим прямыми (заметим, и обратными) связями и выступает как бы в двух ипостасях одновременно - вышележащего и нижележащего уровня. А в целом система уровней образует как бы иерархическую лестницу взаимосвязанных уровней. **Это второе фундаментальное свойство системы**.

Системный подход представляет собой определенный этап в развитии методов познания, методов исследования и конструирования, способов описания и объяснения природных или искусственно созданных объектов. Наиболее широкое применение системный подход находит при исследовании сложных развивающихся объектов — многоуровневых иерархий, как правило, самоорганизующихся биологических, психологических, социальных, экономических и других систем.

Системный анализ возник в 60-х гг. XX в. как результат развития исследования операций и системотехники. Он применяется главным образом к исследованию искусственных (возникших при участии человека) систем, причем в таких системах важная роль принадлежит деятельности человека. При формальном рассмотрении неких системных единиц используют несложные вспомогательные концепции «черных ящиков» и «белых ящиков». Черный ящик — понятие кибернетики, с помощью которого пытаются справиться с трудностями при изучении сложных систем. Представление системы в виде черного ящика означает, что при настоящем уровне знаний мы не можем проникнуть вглубь данной системы (или подсистемы) и разобраться, каковы внутренние закономерности, преобразующие ее входы и выходы. Однако, мы можем изучать поведение этих входов и выходов, т.е. зависимость изменений на выходе от изменений на входе. Многократный учет позволяет открыть закономерность между поведением входов и выходов и предвидеть поведение системы в будущем, а значит, управлять ею. Иногда, если известен закон преобразования, связь между входом и выходом можно представить в аналитической форме. Тогда, «черный ящик» — это объект, который воспринимает входные сигналы и генерирует выходные сигналы, предварительно ассоциируя их с входом по некоторому закону. Только в этом случае удается установить объяснительные механизмы поведения системы при воздействиях и выявить новые закономерности, открыть новые, ранее неизвестные факты. Строится модель предполагаемой схемы и проверяется, совпадает ли ее реакция с реакциями «черного ящика». Чем больше совпадений, тем ближе к реальной схеме. Успехи в анализе и конструировании систем могут быть условно представлены как постепенное замещение «черных ящиков» «белыми ящиками». Если быть честным, к сожалению, до этого обычно дело доходит очень редко, чаще исследователи систем ограничиваются предположениями в стиле ”по - видимому...”.

Кроме этого, даже большие любители системного анализа пишут, что «как правило, для сложных организационных систем он никогда не может быть доведен «до конца» в силу постоянно изменяющихся внешних или внутренних условий». С построением мысленных моделей окружающего связана еще одна интересная вещь. Уже давно было замечено, что одно и то же явление можно описать по-разному, построить разные модели, но ни одна из них не будет исчерпывающей. Мало того, в разных случаях удобными могут оказаться разные модели одного и того же явления, в зависимости от задачи исследования

Итак, традиционно системный подход и системный анализ выступают в качестве методологии исследования сложных объектов посредством представления их в качестве систем, моделирования этих систем и их анализа. Соответственно системный анализ сводится к уточнению сложной проблемы и ее структуризации в набор задач, решаемых с помощью математических методов, детализации целей, нахождению критериев оптимизации, конструированию эффективного решения для достижения целей. Такой подход к системному анализу существенно снижает эффективность и даже возможности его использования.

Автор пособия совместно с учениками попытался решить совершенно нестандартную задачу - можно ли использовать системный подход без стадии моделирования системы (по принципу ”умный в гору не пойдет, умный гору обойдет”). Мы обратили внимание на некоторые свойства систем, прежде всего технических, на которые не обратили внимание сторонники классического подхода. Итак, продолжим рассматривать свойства систем уже с новых позиций - отказа от математического моделирования. Прежде всего, необходимо отметить, что в технике системный анализ проводят не из любви к искусству, а с целью вполне конкретной и рыночной задачи - оптимизации системы. При решении этой утилитарной задачи мы обратили внимание на то, что любая многоуровневая техническая система (а других и не бывает!) с точки зрения оптимизации

может быть охарактеризована на одном, лимитирующем, определяющем все свойства системы иерархическом уровне. А тогда незачем заниматься оптимизацией всей системы, чем часто занимаются начинающие ученые и не только в технике, но и в экономике, политике, при решении социальных проблем. Достаточно сформулировать и решить задачу на этом лимитирующем уровне, и это гораздо проще и дешевле. А, главное, как будет показано ниже, вполне возможно обойтись без малополезного процесса математического моделирования. И наличие лимитирующего уровня - важное **третье фундаментальное свойство** любой иерархической системы.

И еще одно важное **четвертое свойство**, которое обязательно необходимо отметить. Мы живем в мире колебаний. На каждом уровне обязательно имеются собственные колебания, с резонансной частотой и амплитудой.

Пятое свойство, которое нам также потребуется, заключается в том, что амплитудно - частотные характеристики собственных колебаний на каждом уровне определяются его так называемыми характеристическими размерами. Вспомним хотя бы о низкочастотных циклах Кондратьева в экономике, которые имеют большую амплитуду, так как совершаются на самых высоких иерархических уровнях системы с большими характеристическими размерами. А также, с другой стороны, вспомним о том, что температура любого тела определяется высокочастотными колебаниями его молекул, имеющими чрезвычайно малые определяющие размеры.

И, наконец, **шестое свойство** заключается в том, что параметры оптимизации системы на каждом ее иерархическом уровне различны по масштабу и определяются также его амплитудно - частотными характеристиками. В самом деле, на самых верхних иерархических уровнях работают глобальные параметры - индексы устойчивости развития, на нижерасположенных уровнях - экономические параметры, ниже - технико- экономические параметры, затем - чисто технические и, наконец, на самых низких иерархических уровнях - кинетические (к примеру, константа скорости химической реакции или коэффициент массопередачи).

Вот теперь можно, наконец, раскрыть тайну более четырех сотен изобретений и патентов автора пособия, а также причину его уверенности в том, что можно достаточно быстро оптимизировать любую техническую систему, не сильно переживая по поводу отсутствия математической модели процесса. Пусть вас вдохновит на дальнейшее чтение этого пособия тот факт, что алгоритм оптимизации, который предложит автор, ранее не был опубликован и удивит вас своей простотой и результативностью, ибо все самобытное просто. Итак, алгоритм оптимизации по упрощенному системному подходу прост:

- Декомпозиция системы и получение многоуровневой иерархической лестницы.

- Исследование системы на этапе анализа (определить границы исследуемой системы, определить все надсистемы, определить основные черты и направления развития всех надсистем и роль исследуемой системы в каждой надсистеме, выявить состав системы, уточнить структуру системы, определить функции компонентов системы. выявить причины, объединяющие отдельные части в систему, в целостность, определить все возможные связи системы с внешней средой, рассмотреть систему в динамике, в развитии).

- Определение лимитирующего уровня системы. Это самая трудная творческая часть системного анализа, которая, собственно, и является основным ноу – хау этого подхода. Для этого можно использовать имеющиеся кинетические данные о процессе, протекающем в технической системе, иногда приходится при ограниченности данных получать некоторые дополнительные

данные о кинетике по оригинальным упрощенным методикам (чаще всего нужны не точные значения, а лишь тенденции их изменения).

- Определение амплитудно - частотных характеристик собственных колебаний системы на лимитирующем уровне. Наложение внешних возмущений с близкими параметрами колебаний вызывают резонансные явления в объекте оптимизации на лимитирующем уровне. Это явление автор назвал принципом соответствия или гармонии.

- Подбор в созданных автором пособия базах данных режимно - технологических (РТ) и аппаратурно - конструктивных (АК) методов оптимизации, близких по амплитудно - частотным характеристикам к характеристикам колебаний объекта на лимитирующем уровне.

- Проверка значимости и результативности принятых решений на физической модели или непосредственно на системе. Цель проведения этого этапа заключается в проверке выполнения поставленной задачи.

Осталось написать во введении о системном анализе совсем немного. Прежде всего, попробую кратко (подробнее – в тексте пособия) рассказать о принципе соответствия. Он, в самом деле, является фундаментальным для предложенного алгоритма оптимизации. Суть его станет сразу понятной, если снова вернуться к тому же слону, с которого я начал данную статью. Заболел у него зуб. Ревет слон, больно ему. Вызвали слоновьего дантиста. Он отказался даже подойти к разъяренному от боли слону, побоялся, потребовал его усыпить. Обычно спрашиваю у студентов, куда и как ввести слону снотворное. Ясно, что инъекцией, а вот куда - в хобот - страшно, “долбануть” хоботом или бивнями может, сзади - чего доброго, хвостом достанет или ногой придавит. Задумываются студенты. А задача простая - поперечные размеры инъекционной иглы в десятки раз меньше, чем поперечные размеры нервов у слона. Значит, боль от укола слон просто не почувствует (вот где принцип соответствия в действии).

Можно привести много примеров решения конкретных задач оптимизации и коммерциализации промышленных объектов с помощью этих подходов, но, боюсь, что для введения пока не очень подготовленных студентов в теорию технических систем и так уже слишком много техницизмов.

1.3. Экологизация (повышение чистоты) производства.

Мы не замечаем, что приход в рынок существенно меняет все аспекты нашей повседневной жизни. Меняется потребность в специалистах, меняются наши требования к работе, наши планы по карьерному росту. Но мы не заметили, как существенно изменяется содержание нашего образования, в особенности в высшей школе. И дело не в приходе, скажем прямо, не очень удачной с моей точки зрения Болонской системы. Уверен, что это - случайная затея наших администраторов в области образования, ведь, она никак не влияет на содержание образование, а лишь формализует проверку и фиксацию знаний. Другой вопрос возникает, как высшая школа может обеспечить изменение требований к подготовке специалистов с учетом прихода рынка.

Попробуем рассмотреть вопрос на конкретном примере - подготовке специалистов по химической технике, для которых, собственно, и предназначено данное учебное пособие. Учебные планы и программы по конкретным лекционным курсам для подготовки специалистов по этому направлению существенно не менялись уже много лет. Но, ведь, за эти годы существенно изменились функции специалистов. Раньше выпускники, в основном, работали на химических и нефтехимических предприятиях (сегодня многие из них стоят или ликвидированы) и занимались ремонтом оборудования. Сегодня мы уже убедились, что зачастую выгодно не бесконечно

ремонтировать оборудование (есть одно химическое предприятие в Рубежном, где еще недавно эксплуатировалось химическое оборудование , произведенное еще в 19 веке с использованием заклепок, видимо, тогда сварки еще не было), а приобретать и монтировать новое. Кроме того, на механиков на предприятиях чаще всего ложится вся тяжесть реструктуризации действующих производств, подбора, монтажа нового оборудования, реконструкция действующего оборудования с целью его оптимизации. Да и требования к аппаратурно - технологическому оформлению производств существенно изменились. Если еще не так давно подбирали оборудование с учетом требований по его стоимости (с учетом его потребительских качеств), эффективности, ремонтопригодности, дизайна и т.п. и именно эти показатели были положены в основу спецкурсов на выпускающих кафедрах, которые проводили “огранку” специалистов, то с приходом рынка стали важными совсем другие показатели оборудования, или, привычнее, параметры оптимизации: интенсивность, экологичность, не только технологическая, но и энергоэффективность оборудования, его гибкость (т.е. способность работать при переменных технологических показателях, производить изменения в номенклатуре выпускаемой продукции с учетом изменений конъюнктуры на рынке), его экологичности (повышенияе чистоты производства). В украинских университетах, к сожалению, студентов недостаточно обучают технологическому бизнесу, концепции устойчивого развития, индустриальному симбиозу и методам обращения с отходами. Этот перечень можно продолжать, но уже можно очертить проблему - необходимо оперативно вносить изменения в профессиональную подготовку специалистов с учетом вышеизложенного. А пока, сегодня высшая школа не всегда готова оперативно реагировать на изменение рыночных требований к содержанию подготовки специалиста, и это снижает его профессиональный уровень и готовность к работе в новых условиях.

В связи с серьезными изменениями экологической обстановки в стране в связи, в первую очередь, в силу прихода рыночных условий в сферу бизнеса, наиболее острой в последние годы стала проблема экологизации производств (за рубежом в ходу другая терминология - ’’cleaner technology” - более чистые производства), к сожалению, не только действующих, но и вновь создаваемых и реконструируемых. Поэтому в пособии будут рассмотрены также и эти вопросы.

Ориентация на широкое внедрение оборудования для очистки токсичных выбросов не обеспечивает решения всех проблем взаимодействия человека и среды его обитания. Их решение возможно лишь на основе концепции экологизации техники как единства технологии и оборудования для ее реализации, основанной на системном анализе взаимодействия производства и среды. Такой анализ позволяет определить направление совершенствования технологических процессов, обеспечивающее снижение их отрицательного воздействия на окружающую среду. В этом случае удается рассмотреть взаимодействие природы и человека на основе комплексного системного подхода, основанного на сознании того факта, что техника является лишь частью системы. В связи с этим, необходимо учитывать не только влияние техники на психо - физическое состояние людей, но и ответные реакции - влияние этого состояния на производительность и качество труда, а, значит, и на все технико-экономические показатели производства.

Отсюда становится понятным стремление к гармонизации отношений природы и техники, при которой функционирование промышленных комплексов связывается не только с техногенной деятельностью человека и эксплуатацией объектов техники, но и с состоянием природной среды обитания. В идеале решением задачи является создание технических систем, обеспечивающих высокие технические показатели при благоприятной экологической обстановке. Дело за немногим - выбором тактики экологизации для конкретного объекта.

Системная экологизация иногда приводит к нетривиальным выводам даже при рассмотрении "затасканных" проблем. Не менее двадцати лет мы создаем катализаторы и устройства для дожигания выхлопных газов автомобилей. Но и сегодня в полном соответствии с системным подходом каждому пешеходу впору выдавать индивидуальный противогаз. А дело, оказывается, в том, что, пока химики пытались создать надежный катализатор дожигания выхлопных газов при использовании этилированного бензина, содержащего соединения свинца, качественный бензин в Украине стали массово "разбодяживать" ароматизированными отходами коксохимических заводов Украины. Автомобильные выбросы стали содержать не только неполностью сгоревший бензол, толуол, ксилол, но и продукты их неполного сгорания или окисления в цилиндрах двигателя. А это в большинстве своем токсичные продукты. Именно это, по мнению многих экспертов в области экологии, стало одной из причин резкого возрастания количества легочных заболеваний. Решить эту проблему путем создания новых катализаторов дожигания выхлопных газов вряд ли удастся ввиду уж больно широкого спектра токсичных веществ в выбросах. Видимо, выход в том, чтобы перейти на другой иерархический уровень системы и заставить нефтехимиков проводить более глубокую переработку нефти, смешанной с отходами коксохимических заводов с получением высокооктанового бензина без добавления соединений свинца.

Сегодня уже предложено достаточно много стратегических принципов экологизации, определяющих выбор тактических приемов для конкретных случаев. Некоторые из принципов имеют общетехнический характер (рекуперация, утилизация отходов и ресурсосбережение), некоторые из них предпочтительнее для перерабатывающих отраслей промышленности, в частности, для химической, металлургической, пищевой. К примеру, к последним относится концепция обеспечения безотходности не только за счет утилизации отходов или ресурсосбережения, но и за счет повышения селективности, т.е. выхода именно целевого продукта. В конце концов, эта концепция сводится к стремлению не бороться с отходами, а вести процесс так, чтобы они образовывались в минимальном количестве.

Современная экологизация предусматривает также не обезвреживание выбросов "вообще" в смешанном жидком или газовом сбрасываемом потоке, а локальное обезвреживание выбросов по возможности покомпонентно как можно ближе к источнику их образования. Этот подход является альтернативным по отношению к принятому у нас принципу создания глобальных очистных сооружений для нейтрализации или утилизации всей гаммы вредных выбросов. Локальная очистка, максимально приближенная к источникам выбросов, как показал мировой опыт, оказалась гораздо более эффективным направлением экологизации, особенно в сочетании с концепцией безотходности. Пришли как-то к нам на кафедру (тогда промышленной экологии!) руководители химфармзавода, на котором закрыли одно из производств за превышение в выбросах предельно допустимых концентраций высокотоксичного акрилонитрила. Попросили порекомендовать им хороших разработчиков очистной установки и исполнителей оной установки в металле. Судили-рядили и выяснили, что даже в ценах застойных времен установка эта влетит в копеечку, а сейчас и подавно. Загрустили гости. Предложили им взглянуть на проблему с другой стороны, так сказать, идти от конечной цели. Ведь им нужна не установка сама по себе, а отсутствие акрилонитрила в воздухе. Почти очевидно, что вещество это в воздух вообще можно не пустить, если отойти от нашей гигантомании и ввести в технологическую цепочку, в нужном месте, обычный скруббер или адсорбер. И стоимость такой локальной очистной установки будет исчисляться цифрами со значительно меньшим числом нулей, чем могло бы быть, пойди мы на традиционную схему улавливания в конце процесса всех и всяких нехороших примесей. Дальше - больше. Оказалось, что и без скруббера можно обойтись, если посмотреть внимательнее сам процесс реагирования

акрилонитрила с нетоксичным вторым реагентом. Подают их в реактор, как это принято у химиков, в соотношении, близком к стехиометрическому. Поэтому и не связываются они полностью (“нет в мире совершенства!” - в технике тоже). А кто мешает подать второй нетоксичный реагент в количестве, превышающем требуемое по стехиометрии? И не на проценты, а может быть, даже в несколько раз, чтобы гарантировать от проскока ядовитого газа. Можно и вообще ничего не выбрасывать, а организовать рециркуляцию, вернув все, что выбрасывается, в начало процесса. Говорят, мол, экономически все это невыгодно. А многомиллионная очистка - выбросов? Куда выгоднее вкладывать средства - в системы очистки, мониторинги, в лечение людей и Природы или в совершенствование производства, чтобы сделать его экологически безопасным? При такой постановке вопроса ответ вроде бы однозначен. Но, увы, еще и сейчас редко кто комплексно оценивает все аспекты производства с учетом того, что оно, производство, стало частью экологической системы.

Автор считает, что именно такая стратегия комплексного подхода к проблемам технологии и природы должна бы стать заботой даже вечно плачущих гуманитариев (их в среде специалистов прозвали ”алармистами”). Конечно, вкупе с грамотными технарями, которые блоху, может, и не подкуют, но уж обеспечить экономически оправданный экологический уровень технологической установки - могут. И приемы знают те, что позволят работать, если не совсем чисто, то чище. Тут и упомянутые уже процессы, идущие при избытке нетоксичного реагента, и рециркуляция, и локальные установки очистки, максимально приближенные к месту образования токсичного вещества. Это, говоря высокопарно, основные направления инженерной защиты природы. Есть и другие, но о них чуть позже. Разговоры о дороговизне экологизации оказываются несостоятельными, если принять во внимание затраты не только на производство продукции, но и на природоохранные мероприятия, в частности, на очистку выбросов от токсичных веществ, предотвращение ущерба окружающей среде и т.д. Следует заметить, что принятое у нас еще в СССР раздельное финансирование и отдельное проектирование технологических установок и утановок природоохранного назначения уже тогда было анахронизмом, приводившим к появлению промышленных объектов с "забытыми" установками очистки выбросов (вспоминаю такой срытый бульдозером с лица земли французский завод фурфурола в Днепропетровской области). Этому способствует также остаточный принцип финансирования природоохранных объектов. При современном подходе установки очистки или утилизации должны быть составной частью промышленного объекта, включенной в основную технологическую линию.

Одним из наиболее эффективных принципов экологизации является комплексность в решении задач уменьшения степени зарязнения окружающей среды промышленными установками. При этом подразумевается не только использование безотходных или малоотходных технологий, не только применение оборудование для локальной очистки газов и жидкостей, а, прежде всего - решение комплексной задачи по созданию экологической техники как единства технологии и оборудования. Таким образом, принцип комплексности в этой трактовке подразумевает одновременное решение вопросов оптимизации аппаратурного и технологического оформления процессов.

Наряду с комплексностью необходимые требования экологичности обеспечиваются принципом обеспечения достаточного уровня гибкости. Под гибкостью при этом подразумевается количественный показатель, отражающий возможность работы технологии и оборудования в широком диапазоне изменения внешних и внутренних параметров установки с заданными значениями уровня образования побочных продуктов. Можно воздействовать на объект экологизации, прежде всего изменяя его гибкость. Воздействовать на объект можно также

достаточно результативно, используя принципы "многократность использования ресурсов и энергии" и "максимальная селективность синтеза и разделения", смысл которых ясен из их названия.

Кроме общих принципов экологизации, учеными определены наиболее употребительные приемы для их реализации, в частности, применительно к перерабатывающим отраслям производства. Среди них следует разграничить две тесно связанные между собой группы методов- режимно - технологические и аппаратурно - конструктивные. Наряду с традиционными для любой области техники методами (замкнутость структуры и многофункциональность оборудования, интенсификация) особенности перерабатывающих отраслей предопределяют использование некоторых специальных методов экологизации. Среди них:

- минимизация времени обработки и избыток одного из реагентов, приводящие чаще всего к повышению селективности и уменьшению образования побочных продуктов,
- рекуперация, замкнутость потоков вещества и энергии, приводящие к "идеализации" режимов синтеза и значительному уменьшению скорости побочных реакций,
- совмещение синтеза и разделения, гетерогенизация, позволяющие существенно уменьшить образование побочных продуктов за счет отвода целевого продукта из реакционной зоны в момент его образования,
- адаптивность технологии и оборудования, позволяющая обеспечить надежную работу технической системы за счет "внутренних" резервов (гибкости) установки, что уменьшает возможность залповых выбросов вредных веществ или получения некондиционного продукта.

Все рассуждения о необходимости экологизации останутся словами, пока не установлены четкие количественные характеристики экологических показателей систем на различных иерархических уровнях. Без этого невозможно заниматься оценкой различных методов производства и техники очистки газов и жидкостей, невозможно сопоставлять варианты решений, предлагаемых для конкретных производственных задач, наконец, невозможно заниматься оптимизацией экологической техники.

Основной принцип экологизации - системность положен автором в основу алгоритма экологизации, например, типичного химического производства. Ниже приводится алгоритм с некоторыми пояснениями, опирающимися на изложенные выше соображения.

1. Анализ исходной информации, включающий обследование производства, ознакомление с данными экологических паспортов и другой экологической документацией, отчетными данными, актами обследований, проектной документацией, регламентами и т.п. Цель этого этапа- получить необходимые данные, провести декомпозицию производства по типовым уровням иерархии (например, производство- цех- установка- аппарат- контактная ступень- молекулярный уровень) и выявить лимитирующие с точки зрения загрязнения окружающей среды уровни иерархии.
2. Выбор методов воздействия на систему на лимитирующем уровне, соответствующих по режимным и геометрическим параметрам, масштабу лимитирующего уровня. Предполагается использование сформулированного нами принципа соответствия, согласно которому необходимо подбирать методы воздействия, соответствующие, например, по амплитудно-частотным характеристикам амплитудно-частотным характеристикам объекта на лимитирующем уровне.
3. Технико-экономический анализ выбранных направлений и методов экологизации с составлением расчетов, учитывающих не только затраты на экологизацию и ее результаты в сфере производства, но и платежи за ресурсы, платежи за сверхнормативные выбросы и другие эколого-экономические показатели.

4. Выбор эколого-экономически оправданного варианта экологизации экспертами.
5. Составление исходных данных на проектирование (технического задания) по выбранному экспертами варианту экологизации.
6. Составление бизнес-плана по реализации намеченной программы экологизации с решением вопросов инвестирования, размещения заказов на проектирование, поставку оборудования, строительство и т.д.

1.4. Стратегия и тактика энергосбережения.

Проблемы энергосбережения и поиска альтернативных источников энергии актуальны для большинства стран мира. Для Украины же они являются просто «больными». Вопросов — масса. К примеру, почему мы так много говорим о безотходных технологиях, а отходов у нас больше всех в мире? Или другой: в Украине появилось множество проектов и разработок по альтернативной энергетике — солнечной, ветровой, волновой, а используем мы в основном зарубежные, и то весьма редко. Почему? Ответ, думается, на поверхности. В нашей стране до сих пор остается нереализованным системный подход к решению проблем энергосбережения на основе принципов, которые уже хорошо себя зарекомендовали в мире, а у нас все еще не вышли из сферы осознания лишь узким кругом украинских «энергетических» специалистов. А ведь именно системный подход необходим для фундаментальной составляющей современной экономики, каковой является энергоэффективность. И охватывать он должен и моделирование процессов, и иерархичность структуры, и множественность связей элементов, и неопределенность состояний, и чувствительность к помехам, и многое другое.

Видимо, необходимо просто поменять акценты. Реальный эффект может дать только та методология энергосбережения, которая основана на системном анализе и во многом совпадает с методологией экологизации, о которой я писал выше. Лишь такой анализ позволяет сформулировать основные стратегические принципы и определить тактические приемы реализации этих двух направлений оптимизации, являющихся основой устойчивого развития. И работать здесь должны правила логики и здравого смысла. Хотел бы остановиться лишь на нескольких таких стратегических принципах энергосбережения, сформировавшихся в последние годы, и уже при первых опытах, доказавших свою высокую эффективность. Один из них, получивший широкое распространение на Западе, — принцип индустриального симбиоза. Это совмещение якобы несовместимых объектов, материальных и энергетических потоков в единый энерготехнологический комплекс, связываемый этими потоками в сложную многоуровневую систему. А в ней уже «работают» практически все отходы (энергетические и материальные) одних производств в качестве вторичного сырья техногенного происхождения для других производств.

При таком симбиозе появляется возможность реализовать также известный принцип рециркуляции, когда не добиваются полного использования исходного сырья или энергии, а обеспечивают наиболее выгодные режимы переработки при экономически оптимальной конверсии (так называют специалисты полноту превращения сырья в целевой продукт — обычно 20—30 процентов), выделяя после этого готовый продукт (вещество или энергию) и возвращая неиспользованные ресурсы в начало процесса.

Существует еще концепция обеспечения энергетической малоотходности не только за счет утилизации энергетических отходов или ресурсосбережения, но и путем повышения селективности — выхода высокопотенциального целевого продукта. Главное в том, что эта концепция сводится не

к стремлению бороться с энергетическими низкопотенциальными отходами, а требует вести процесс так, чтобы минимизировать их образование.

Современная энергетическая оптимизация технологии предусматривает также локальную обработку выбросов по возможности как можно ближе к источнику их образования. Это своеобразная альтернатива принятому у нас принципу создания глобальных сооружений для утилизации отходов энергии. Мировой опыт уже показал высокую эффективность такого направления, особенно в сочетании с концепцией индустриального симбиоза. Дороговизна локальных установок оказывается кажущейся, если учитывать затраты не только на производство энергии, но и на природоохранные мероприятия. Принятое у нас раздельное финансирование и отдельное проектирование технологических установок и установок природоохранного назначения — это вообще анахронизм, приводящий к появлению промышленных объектов с «забытыми» установками утилизации и очистки энергетических низкопотенциальных выбросов. При современном подходе установки утилизации должны быть составной частью промышленного объекта, включенной в основную технологическую линию.

Еще один достаточно эффективный принцип — комплексность в решении задач уменьшения энергопотребления промышленными установками. При этом подразумевается прежде всего решение комплексной задачи по созданию энергосберегающей техники как единства технологии и оборудования. Принцип комплексности в такой трактовке — это одновременное решение вопросов оптимизации аппаратурного и технологического оформления процессов.

Одна из основных проблем энергосбережения, которая постоянно на слуху, — переход на возобновляемые и экономически выгодные источники энергии. Здесь ситуация та же: много слов — мало дела? Сегодня так называемых альтернативных источников энергии у нас немало. Беда в том, что мы очень нерационально их используем: в основном фотосинтез и энергию ветра, немного — гидроэнергию. Все остальное в буквальном смысле слова пропадает. Приведу несколько примеров.

Странная ситуация с запасами угля. Мы привыкли его сжигать. Но сегодня уголь, тем более такой некачественный, как, например, у нас в западном Донбассе, стараются не сжигать, а с успехом используют для синтеза газа, пригодного для применения взамен природного. Соответствующие установки в Украине тоже разработаны. Но у нас такие технологии пока не востребованы. А в России их давно и вполне успешно используют.

Еще пример — разработка днепропетровского ООО «СЭТ» (Современные экологические технологии). Это, по информации разработчиков, экологически чистая компактная мобильная установка непрерывного действия для переработки изношенных шин и резиновых отходов производительностью до 7000 тонн сырья в год. Продукты переработки: мазут, технический углерод, сталь, тепло, горючий газ. Преимуществ множество: мобильность, энергетическая независимость, экологическая, пожарная и взрывобезопасность, безотходное производство, ликвидная продукция.

В Приднепровском регионе активно идет и работа по производству биодизеля, многое уже сделано. Это экологически чистый вид топлива, используемый для замены, а следовательно, экономии обычного дизельного топлива. Сырье для его производства — растительные масла: рапсовое, соевое, арахисовое, пальмовое, отработанные подсолнечное и оливковое (уже использованные, к примеру, при приготовлении пищи), а также животные жиры. Биодизель может использоваться в обычных двигателях внутреннего сгорания как самостоятельно, так и в смеси с дизтопливом и

некоторыми растворителями без внесения изменений в конструкцию двигателя. И при этом целый ряд преимуществ: биодизель менее токсичен, практически не содержит серы и канцерогенного бензола; обеспечивает значительное снижение вредных выбросов в атмосферу при сжигании; имеет высокую температуру воспламенения (более 100°С), что делает его использование относительно безопасным; его источником являются возобновляемые ресурсы. Кроме того, производство биодизеля легко организовать, в том числе в условиях небольшого фермерского хозяйства, используя при этом недорогое оборудование. Эта технология уже получила широкое распространение в Германии, Австрии, Чехии, Франции, Италии, Швеции, США... У нас есть и необходимое сырье, и разработки, и специалисты. Почему же биодизель в Украине до сих пор не работает?

Приведенные примеры иллюстрируют: сегодня нам есть из чего выбирать. Между тем, доля угля, нефти, газа, атомной энергии — так называемых невозобновляемых источников — уменьшается в мире из года в год. И при этом увеличивается энергетический «вклад» возобновляемых: ветра, воды, солнца. Но источники энергии и того, и другого вида имеют свои положительные и отрицательные стороны. Их необходимо учитывать при системном анализе, подбирая технологии в соответствии со свойствами объекта, который мы рассматриваем. Всегда можно четко определить, когда какие рациональнее применять. Современный энерготехнологический и экологический инжиниринг основан не только и не столько на дизайне современной технологии, сколько на искусстве выбора оптимального оборудования и метода воздействия на систему. Делать это необходимо на базе системного анализа, концепции устойчивого развития и использования современных информационных технологий.

Для успешного решения проблем энергосбережения в Украине необходим качественный, высокопрофессиональный менеджмент. В этой связи я хочу написать немного об иерархии в энергосбережении — она довольно сложна. И на каждом ее уровне, будь то Украина, отдельный регион страны, город, предприятие, квартира, должны действовать свои средства и методы, соответствующие определенному масштабу. Существует и определенная иерархия лиц, принимающих решения. И не надо премьер-министру заниматься остеклением домов — не его это вопрос, не его уровень. В его компетенции — макроэкономические решения. А централизованной установкой стеклопакетов, если это вообще целесообразно, должен заниматься менеджер на уровне города. Каждый обязан делать свое дело. Системный подход позволяет все это разложить по полочкам.

Системные подходы к энергосбережению на сегодня четко сформулированы. Определены три основных глобальных принципа:

- использование рециркуляции вторичного сырья техногенного происхождения;
- работа на всех трех основных стадиях — производства, транспортировки и преобразования, потребления энергии;
- наибольшая эффективность на стадии производства энергии, а не ее потребления.

Мы говорим о системном подходе к решению вопросов энергосбережения в рыночных условиях. Насколько эффективно задействованы в этих процессах рыночные механизмы? Видимо, недостаточно эффективно, ибо а них практически не вовлечены предприниматели и субъекты малого и среднего бизнеса. А составляющие успеха в данном случае — сочетание среднего и малого бизнеса и инновационных технологий, что приводит к появлению качественно нового технологического бизнеса. Для решения задач энергосбережения сегодня необходим совершенно другой инновационный алгоритм. Начинать нужно не с бизнес-планирования своей работы, а с создания информационного поля, поиска объектов, партнеров, инвесторов. И только потом

осуществлять бизнес-планирование по конкретному проекту. Это азы технологического бизнеса. Из всего вышесказанного следует вывод: очень многому нам сегодня нужно научиться. А где-то, что, наверное, еще сложнее, переучиться, переориентироваться, отойти от привычных стереотипов деятельности. Низкий профессиональный уровень субъектов украинского энергорынка, к сожалению, — объективная реальность. И сейчас самое время вспомнить знаменитую ленинскую цитату. Только учиться нам нужно фактически новым для нас вещам: технологическому бизнесу, профессиональному менеджменту, фандрайзингу, умению пользоваться информационными технологиями. Нужно перейти от бесплодных разговоров и нашей обычной созерцательности к реальной деятельности по энергосбережению. Убежден, что ее основой могут стать только системный анализ и современные информационные технологии. А, следовательно, реализовать эту концепцию способны будут только специалисты, овладевшие ими.

1.5. Системные методы энергосбережения в химической промышленности.

Поскольку часто невозможно уменьшить энергопотребление и снизить уровень отрицательного влияния производства на среду без изменения технологических процессов, конкретная деятельность по реализации концепции устойчивого развития, которая давно уже для всех стран мира (кроме Украины) стала основной стратегической линией развития, и направлена либо на улучшение действующих, либо на создание новых технологических процессов, направленных не только на то, чтобы решать утилитарные проблемы, но и на защиту окружающей среды.

Концепция устойчивого развития (КУР) в нашем понимании полностью включает, использует концепцию энергосбережения и развивает ее. Дальнейшей задачей концепции является интеграция решений в области энергосбережения и защиты окружающей среды с усовершенствованием системы сбора данных и аналитических методов. Необходим комплекс методов оценки последствий решений в экономической, социальной и экологической сферах. Это необходимо не только на уровне отдельных проектов, но и на уровне политики и программ. Анализ должен включать в себя оценку затрат, выгод и рисков. При выполнении этого анализа основную роль должен играть аудит, который мы рассматриваем как интеграцию экспертизы и консалтинга для каждого проекта. К сожалению, в Украине сложилась практика, когда, зачастую непрофессиональными аудиторами выполняется лишь первый этап аудита и совершенно игнорируется необходимость выдачи профессиональных рекомендаций по устранению обнаруженных недостатков. Кроме того, обычно проводят совершенно независимо энергетический, экологический и технологический аудиты. Между тем, методы исследования при аудите и, главное, предлагаемые решения задач совершенствования объекта в этих видах аудита чаще всего идентичны или, по крайней мере, близки. Всегда одновременно с совершенствованием технологии улучшаются экологические и энергетические показатели объекта. Поэтому, видимо, давно следует проводить не автономные независимые аудиты, а комплексные эколого - энерготехнологические аудиты. Это позволит значительно сократить время аудита, расходы и, главное, повысить его результативность и эффективность.

Реализовать концепцию устойчивого развития необходимо уже сегодня хотя бы для того, чтобы прекратить или сократить субсидирование объектов, которые не способствуют достижению целей устойчивого развития, проводить политику, способствующую снижению загрязнения окружающей среды и уменьшению ресурсопотребления, экологически безопасному освоению ресурсов, а также способствовать внедрению энергосберегающих экологически безопасных технологий.

Основой современного подхода к реализации концепции устойчивого развития и решения задач энергосбережения как одного из важных факторов устойчивости является системный анализ,

являющийся по своей сути прикладной диалектикой, который исходит из того, что любая система, в том числе и природно-техническая, состоит из находящихся в иерархической зависимости под- и надсистем. Причем проблема обеспечения требуемых энергетических и экологических показателей на каждом иерархическом уровне носит частный характер, в то время, как для реализации общей цели необходимо установить основные определяющие компоненты системы, их внешние и внутренние связи, закономерности функционирования системы и связь частных параметров подсистем с общим интегральным показателем ее функционирования.

Рассматривая стратегические основы развития экономики страны или ее отдельной отрасли, нельзя не учитывать интегральные показатели - индексы устойчивости развития. Современная методология энергосбережения, в значительной степени определяющего устойчивость развития, основана на системном анализе и, как отмечено, во многом совпадает с методологией экологизации. Именно системный анализ позволяет сформулировать основные стратегические принципы и определить тактические приемы реализации этих двух смежных направлений оптимизации, являющихся основой устойчивого развития сложных технических и экономических систем.

Некоторые из этих принципов имеют общетехнический характер (ресурсосбережение, рекуперация, утилизация низкопотенциальных энерговыбросов) и имеют особое значение для перерабатывающих отраслей промышленности, в частности, для химической, металлургической, пищевой. К примеру, реализуется концепция обеспечения энергетической малоотходности не столько за счет утилизации энергетических отходов или ресурсосбережения, сколько за счет повышения селективности, т.е. выхода высокопотенциального целевого продукта или отходов. В конце концов, эта концепция сводится к стремлению не бороться с энергетическими низкопотенциальными отходами, а вести процесс так, чтобы они образовывались в минимальном количестве.

Современная энергетическая оптимизация технологии предусматривает также не утилизацию или обезвреживание предварительно смешанных выбросов энергии, а локальную обработку выбросов по возможности как можно ближе к источнику их образования. Этот подход является альтернативой принятому у нас принципу создания глобальных сооружений утилизации или нейтрализации сразу всей смеси отходов энергии. Локальная обработка, максимально приближенная к источникам выбросов, как показал мировой опыт, оказалась гораздо более эффективным направлением, особенно в сочетании с концепцией индустриального симбиоза. Дороговизна локальных установок оказывается кажущейся, если принять во внимание затраты не только на производство энергии, но и на природоохранные мероприятия, в частности на утилизацию энергетических выбросов, предотвращение ущерба окружающей среде.

Контрольные вопросы по главе 1.

1. Попробуйте сформулировать основные концепции технологического преобразования экономики.
2. Что является предметом системного анализа?
3. Расшифруйте термин РТ- метод.
4. Расшифруйте термин АК- метод.
5. Назовите РТ- методы, которые вы запомнили?
6. Назовите АК- методы, которые вы запомнили?
7. Что такое гармония систем?
8. Дайте определение принципа соответствия воздействия параметрам системы.

9. С какими РТ-методами вы встречались в других дисциплинах, при выполнении курсового проекта?
10. С какими АК-методами вы встречались в других дисциплинах, при выполнении
1. курсового проекта?
11. В чем различие экологии, экологичность и экологизации?
12. Перечислите основные свойства систем.
13. Как давно появилась наука “системный анализ”?
14. Предмет системного анализа.
15. Что такое декомпозиция системы?
16. Что такое иерархическая лестница в анализе систем?
17. Обязательно ли создавать математическую модель системы при ее оптимизации?
18. Чем отличается энергоэффективность от энергосбережения?
19. Где нужно бороться за чистоту окружающей среды в первую очередь: в технологической установке, в установке локальной очистки выбросов или в установке глобальной очистки всех выбросов предприятия в одной установке?
20. Что входит в понятие “химико-технологическая система” (ХТС)?
21. Что такое гибкость ХТС?
22. Сформулируйте алгоритм экологизации.
23. Назовите возобновляемые источники энергии.
24. Ваше понимание соотношения стратегии и тактики энергосбережения.
25. В чем заключаются системные подходы к энергосбереженю?
26. Что вы знаете о концепции устойчивого развития?
27. Что вы слыхали о Национальной концепции устойчивого развития Украины?

Литература

1. З а д о р с к и й В. М. Синергия в инженерной химии. Средства и методы. Просто о сложном. 2016. Palmarium Academic Publishing/ Germany/ с. 398
2. Задорский В. М. Интенсификация газожидкостных процессов в химической технологии, — Киев: Техника, 1979. — 198 с,
3. Задорский В. М., Фокин А. П., Яковенко М. М. К вопросу оптимального конструирования оборудования для технологических процессов получения химических реактивов. // Тр ИРЕА, выпуск 44, —М., 1982, — С. 185—200.
4. Кантарджян С. Л. Экономические проблемы оптимизации химико-технологических процессов, — М. : Химия, 1980,— 119 с.
5. Рамм В. М, Абсорбция газов. — М. : Химия, 1976,— 656 с,
6. Розовский А.Я. Гетерогенные химические реакции, М, Наука, 1980.— 323 с,
7. Системное проектирование химико-технологических комплексов / Г. А, Статюха, И, М, Кисиль, И. И. Браславский; Под ред. И, Д. Зайцева. — К, : Техніка, 1983,— 120 с,
8. Кардашев Г. А., Михайлов П. Е. Тепломассообменные акустические процессы и аппараты.— М. : Машиностроение, 1973,—223 с.
9. Мандельштам Л. И.Лекции по колебаниям. М.Изд-во АН СССР, 1955.503 с.
10. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. 18с.
11. Synergetics. A Workshop / Ed. by H. Haken. 3rd ел. B. etc, 1977. 277 p.
12. Synergetics far from equilibrium/Ed. by A. Pacault, C. Vidal. B. etc, 1978 143p.
13. Кафаров В.В., Дорохов И. Н. Системный анализ процессов химической технологии (основы стратегии).— М. : Наука, 1976.— 499 с.
14. Кафаров В. В. Принципы создания безотходных химических производств, — М. : Химия, 1982,— 288 с.
15. Легасов В. А., Сафонов М. С. Гибкая химическая технология. — Хим. пром-ть, 1985, N8—С. 471—477.
16. Нагиев М. Ф. Теория рециркуляционных процессов в химии,— М. : АН СССР, 1962.- 460 с.
17. Разработка аппаратов на основе унифицированных модулей для высокоэффективных химико-технологических процессов/В, В. Кафаров, В. П. Мешалкнн, Г. И. Манко, В. М. Задорский // Информ, бюл. Химич. пром, СЭВ, 4 {107}, 1984.—с. 36—38

18. Рамм В. М, Абсорбция газов. — М. : Химия, 1976,— 656 с,
19. Розовский А.Я. Гетерогенные химические реакции, М, Наука, 1980.— 323 с,
20. Системное проектирование химико-технологических комплексов / Г. А, Статюха, И, М, Кисиль, И. И. Браславский; Под ред. И, Д. Зайцева. — К, : Техніка, 1983,— 120 с,
21. Dynamic of synergetic systems/ Ed. by H. Haken. B. etc., 1980. 271 p.

Глава 2. Определение и свойства технических систем. Основы системного анализа.

2.1. Определение технической системы.

Техническая система – это искусственно созданные объекты, предназначенные для удовлетворения определенной потребности, которым присущи следующие основные свойства:

- возможность выполнения не менее одной функции,
- многоэлементность,
- иерархичность строения,
- множественность связей между элементами,
- многократность изменения состояний и многообразие потребительских качеств.

К техническим системам относятся отдельные машины, аппараты, приборы, сооружения, ручные орудия, их элементы в виде узлов, блоков, агрегатов и др. сборочных единиц, а также сложные комплексы взаимосвязанных машин, аппаратов, сооружений и т.п. Технические системы относятся к самому большому классу технических объектов и существуют в трех модусах (проявлениях):

1) как изделие производства;
2) как устройство, потенциально готовое совершить полезный эффект;
3) как процесс взаимодействия с компонентами окружающей среды (источником внешней энергии, потребителем и т.д.), в результате которого и происходит эксплуатация (функционирование) технической системы и образуется полезный эффект.

1-й модус раскрывается в предметной декомпозиции технической системы, в выявлении всех ее неделимых, условно монолитных деталей и сборочных единиц; 2-й - в функциональной декомпозиции, в выявлении одно- и многофункциональных элементов; 3-е, рабочее состояние технической системы раскрывается в генерируемых процессах (сменах состояний) и рабочих циклах, включающих взаимосвязанные процессы. Ни один из функциональных элементов не может быть воспроизведен непосредственно, а существует благодаря дополнительным деталям, устройствам и сборочным единицам, которые по отношению к ним выступают в качестве предметов – носителей материальных и энергетических потоков. Эти устройства, непосредственно участвующие в создании полезного эффекта технической системы, ответственны за степень совершенства рабочего процесса и ресурс работы. Для обеспечения ресурса часто используются специальные элементы, демпфирующие колебания, устройства охлаждения, разъемы, устройства крепления деталей и т.д., которые во время эксплуатации технической системы сказывается на ее надежности.

2.2. Особенности химико- технологических систем (ХТС).

Строение технической системы и параметры среды, с которой она взаимодействует, предопределяют все параметры и показатели функционирования технической системы, проявления ее состояния, характеристики и качества. Функционирование технической системы раскрывается через средства (процессы) достижения полезного эффекта и управления этими процессами.

Создание полезного эффекта обусловлено составом и порядком действия основных функциональных элементов, от которых зависит рабочий цикл технической системы; на фактический результат влияют затраты энергии от внешнего источника и свойства других компонентов среды. Под управлением происходящими в технической системе процессами подразумевается преднамеренное изменение или сохранение характера и интенсивности взаимодействия с компонентами среды. При полном раскрытии характеристик технической системы отражают связи между входными и выходными параметрами функционирования (например количество, состав, температура входных и выходных потоков в ХТС), так и о показателях, позволяющих отличить анализируемую техническую систему от других. Об уровне технической системы свидетельствуют максимально достижимые значения ее потребительских качеств (выходных параметров).

ХТС обычно рассматривают как совокупность взаимосвязанных технологическими потоками и действующих как одно целое аппаратов, в которых осуществляется определенная последовательность технологических операций. При таком подходе из рассмотрения, однако, исключается широкий круг задач оптимизащш ХТС для тех случаев, когда в аппаратах одновременно осуществляются параллельные химические реакции, или совмещенные реакционно-массообменные процессы. Между тем использование некоторых методов интенсификации, в частности совмещение химических процессов с противоположными тепловыми эффектами и организация совмещенных реакцнонно-массообменных процессов во многих случаях позволяют упростить ХТС и по-новому сформулировагь задачу ее оптимизации ввиду необходимости учета взаимного влияния совмещенных процессов. В связи с этим в дальнейшем под ХТС будем понимать совокупность взаимосвязанных технологическими потоками аппаратов, где последовательно или параллельно (одновременно) происходят технологические операции обработки реагентов.

Ввиду сложности, разветвленности ХТС целесообразно провести декомпозицию по горизонтали н рассматривать ХТС как совокупность подсистем элементарных технологических процессов (ЭТП) (ректификация, теплообмен, экстракция и т. п.) и по вертикали, рассматривая процессы на различных уровнях иерархии. I — молекулярном (М), II — контактного устройства (КУ), III — контактной ступени (КС) и, наконец, IV — аппарата (А). Вся ХТС в целом представляет собой V уровень.

Рассмотрим вопрос соответствия объекта «ХТС» понятию система. Для отнесения ХТС к техническим системам она должна обладать (и обладает) следующими основными свойствами:

- быть одновременно целостной и декомпозируемой на составляющие элементы,
- иметь устойчивые связи между элементами или (и) их свойствами, превосходящие по силе связи с элементами, не входящими в систему (связи характеризуются физическим наполнением, направленностью, мощностью, оцениваемой коэффициентом чувствительности и ролью в системе); иметь определенную организацию, проявляющуюся в снижении энтропии системы.

Структуру ХТС характеризует устойчивая упорядоченность в пространстве и во времени элементов и связей системы, В пространстве различают плоские и объемные, рассредоточенные и сосредоточенные структуры. Во времени —экстенсивные структуры, когда происходит рост числа элементов системы во времени, и интенсивные, когда количество элементов не изменяется, а растет число и мощность связей между ними. Согласно общепринятому в системотехнике определению «элемент системы — это часть системы, выполняющая определенное функциональное назначение

и не подлежащая дальнейшему расчленению без потери способности выполнять это функциональное назначение. Поэтому элемент рассматривают как условно неделимую часть.

Рассмотрим с позиций системотехники место ХТС в общей классификации систем. По субстанциональному признаку системы подразделяют на три класса: естественные, концептуальные, или идеальные, и искусственные. ХТС относится к последнему классу систем, созданных человеком .

По сложности, т. е. в зависимости от числа элементов и связей между системами, а также сложности технологических процессов, ХТС могут быть отнесены как к «простым», так и к «сложным» и даже «очень сложным» системам. По степени организованности различают казуальные (определяемые причинно-следственными связями) и целенаправленные (способные к выбору сведения в зависимости от внутренне присущей цели) системы. Рассматриваемые ХТС относятся к казуальным, хотя для отдельных элементов системы характерной является способность к адаптации, что можно отнести также к целенаправленности, По характеру функций различают специализированные, многофункциональные и универсальные системы. Рассматриваемые ХТС могут быть как специализированными, так и многофункциональными (тогда их следует называть «гибкими технологическими системами» — ГТС). Кроме того, ХТС могут быть универсальными, если при их создании заложена способность к трансформации структуры в зависимости от назначения.

Изучение объектов и явлений как систем вызвало формирование системного подхода, являющегося конкретно-научным методом диалектико-материалистической методологии, имеющим общенаучное значение. Для системного подхода характерны принципы системности, т. е. принадлежности к одной из форм познания, связанной с исследованием и созданием объектов как систем; иерархичности познания, требующей трехуровневого изучения предмета (собственно предмета, его же — как элемента вышестоящей системы и, наконец, его же — как части нижестоящего уровня иерархии); интеграции как направленности на изучение интегративных свойств и закономерностей систем, раскрытия механизмов интеграции целого; формализации, т. е. нацеленности на получение количественных характеристик, получение не концепций, а конструктивных методов анализа, синтеза и оптимизации систем.

Последнее характерно для системного анализа, являющегося сегодня технологией системного подхода. Основой системного анализа является построение математических моделей, позволяющее получить количественную оценку различных свойств, характеристик и факторов. Важной особенностью системного анализа является широкое использование вычислительной техники. Работы по синтезу оптимальной ХТС целесообразно начинать на I иерархическом (молекулярном) уровне, когда определяют наиболее удачный вариант синтеза, кинетические особенности химического процесса, возможность совмещения химических стадий с тепломассообменными и взаимное влияние совмещенных процессов. Изучение этих процессов позволяет в первом приближении с использованием методов функциональной декомпозиции и эвристических принципов синтеза наметить вариант ХТС, пригодный для создания опытной установки (ХТС ОУ). Следует сразу заметить, что этот этап синтеза оптимальной ХТС не всегда удается формализовать с использованием современного математического аппарата, и результат во многом определяется опытом, техническим кругозором, интуицией разработчиков.

Анализ процессов на II-—IV уровнях позволяет выявить лимитирующие стадии и сформулировать основные требования к конструкционным и технологическим параметрам ХТС, а также определить целесообразность использования тех или иных методов повышения качества их функционирования.

Итак, на I этапе синтеза оптимальной ХТС проводят декомпозицию создаваемой ХТС по горизонтали на ЭТП и по вертикали на подуровни, соответствующие различному масштабу объекта, а также анализ процессов на различных уровнях с целью выявления лимитирующих уровней и стадий процесса. Дальнейшую работу проводят преимущественно на этих лимитирующих уровнях — определяют возможность уменьшения размерности ХТС, т. е, уменьшения количества подсистем но горизонтали путем, например, исключения или направленного совмещения отдельных ЭТП.

На молекулярном уровне I эвристический синтез неотделим от анализа ХТС и исследовании ЭТП на физических моделях, на которых изучают взаимное влияние совмещаемых процессов, определяют наиболее целесообразные методы интенсификации ЭТП на лимитирующих уровнях.

Предлагаемый студентам комплексный подход к синтезу ХТС, базирующийся на принципах системного анализа и опирающийся на единство технологии и аппаратурного оформления процессов, гибкое сочетание аналитических методов с экспериментальными и эвристическими, позволил выработать общую стратегию, включающую следующие основные этапы: декомпозиция задачи синтеза ХТС на подзадачи синтеза предварительного ее варианта, пригодного для создания опытной установки и получения математической модели (ХТС ОУ)— первый этап; синтез проектируемой ХТС — второй этап; идентификация модели и обеспечение эффективности функционирования ХТС — третий этап.

В рамках решения конкретных задач синтеза эти основные этапы нашли различные практические воплощения. К примеру, для ХТС, предназначенных для получения особо чистых веществ, общая стратегия имеет следующий вид:

1) декомпозиция задачи синтеза оптимальной ХТС на подзадачу обеспечения качества получаемого продукта (подзадача 1) и подзадачу обеспечения максимальной производительности ХТС при заданных ограничениях по качеству производимого продукта (подзадача 2);
2) проведение исследований макрокинетики процессов химической реакции и массообмена в лабораторных условиях;
3) получение аналитическим путем математической модели основного реакционно - массообменного аппарата;
4) введение в математическую модель корректировочных выражений, учитывающих взаимосвязь и взаимовлияние процессов химической реакции и массообмена;
5) синтез оптимальной технологической топологии ХТС, обеспечивающей необходимое качество;
6) создание опытно-промышленного реакционно- массообменного аппарата, физически моделирующего одну секцию основного аппарата;
7) проведение эксперимента на опытно-промышленном аппарате и определение по данным эксперимента значений коэффициентов в выражениях, учитывающих совмещение процессов химической реакции и массообмена;
8) определение с помощью скорректированной модели оптимальных технологических режимов н конструктивных размеров основного аппарата.

2.3. Основные законы технических систем. Некоторые общие принципы интенсификации и синтеза оптимальных ХТС.

Теория технических систем основывается на следующие законах технической системы, в том числе для ХТС:

1) закон противоречия в развитии, описывающий возникновение, обострение и разрешение противоречий в процессе развития технической системы;

2) закон повышения степени идеальности, описывающий развитие тех. системы как повышение степени ее идеальности, т.е. рост отношения суммы выполняемых системой полезных функций к сумме факторов расплаты за выполнение этих функций - материальных и энергетических затрат;
3) закон перехода на микроуровень и к использованию полей, описывающий тенденцию все большего использования глубинных уровней строения материи и различных полей при развитии технических систем;
4) закон повышения динамичности и управляемости, описывающий повышение в процессе развития технической системы их способности к целенаправленным изменениям, обеспечивающим возможность их адаптации к меняющимся требованиям к технической системе со стороны человека, других систем, внешней среды и т.п., переход систем к самоуправлению и самоорганизации;
5) закон повышения полноты тех. системы, описывающий тенденцию ко все более полному выполнению тех. системой, ранее выполнявшихся другими техническими системами, внешней средой или человеком, сопровождающуюся поэтапным вытеснением человека из функционирования тех. системы как исполнителя и все возрастающим втягиванием его в функционирование как потребителя;
6) закон развертывания - свертывания, описывающий повышение идеальности технической системы;
7) закон согласования - рассогласования, описывающий развитие технологической системы с позиций, включающих: последовательное согласование технической системы с другими системами, обеспечивающее наилучшее прохождение необходимых потоков энергии, вещества, информации; рассогласование, обеспечивающее уменьшение и прекращение прохождения ненужных потоков; сдвиг согласования, обеспечивающий отбор части полезного или вредного потока для выполнения дополнительных полезных функций; динамическое согласование - рассогласование, при котором параметры системы изменяются управляемо, обеспечивая регулирование потока так, чтобы параметры тех. системы принимали оптимальные значения в зависимости от условий работы; 8) закон этапного развития, описывающий типовую последовательность развития тех. системы и графики изменения главных эксплуатационных характеристик в зависимости от "возраста" системы, представляющие собой логистические (S-образные) кривые, имеющие три четко выраженных участка: период медленного начального роста; быстрый лавинообразный рост; резкое замедление роста, стабилизация, а иногда и падение. Каждый из законов раскрывается через линии развития, показывающие направления развития.

Теория технических систем – развивающаяся наука, поэтому, кроме этих законов, появляются новые, отражающие новые свойства систем и их составляющих элементов (подсистем). В данном пособии, к примеру, автором предложены новые законы, положенные в основу концепции развития систем:

- наличие в каждой иерархической системе, прежде всего, ХТС, лимитирующего иерархического уровня, на котором расположена подсистема, определяющая основные показатели всей системы,
- управление всей системой и ее развитие наиболее эффективно осуществлять на лимитирующем уровне.
- параметры воздействия на ХТС на лимитирующем уровне должны соответствовать, быть в гармонии с базовыми характеристиками этого уровня и др.

Несмотря на бурное развитие системного анализа, все реже появляются принципиально новые химико-технологические процессы, и в последнее время внимание разработчиков обращено на синтез высокоэффективных ХТС путем логического соединения уже известных элементарных процессов. Однако в подавляющем большинстве случаев образующиеся при этом ХТС далеко не соответствуют требованиям, предъявляемым техникой.

По мнению автора этого пособия, при создании новых ХТС стадии синтеза, анализа и оптимизации не следует рассматривать как строго последовательные. В данную «триаду» следует, по-видимому, включить в качестве полноправного члена стадию «экспериментальные исследования», так как проведение последних не до синтеза и не после оптимизации, а в процессе создания новой ХТС

позволяет, во многих случаях, предложить совершенно новую топологию ХТС, использовать другие методы интенсификации, выбрать оптимальные унифицированные модули для комбинированного аппарата, обеспечить наиболее полное соответствие конструкции аппарата требованиям технологического процесса. Как показывает опыт, целесообразно проводить итерации теперь уже «тетрад» до тех пор, пока не будет достигнуто требуемое значение комплексного обобщенного параметра оптимизации на уровне ХТС.

При выборе методов интенсификации целесообразно использовать принцип соответствия (как мы назвали его выше, гармонии), согласно которому масштаб и частота выбранного метода воздействия должны соответствовать масштабу и преобладающей частоте собственных колебаний системы на том лимитирующем уровне, где это воздействие реализуется.

К примеру, обратную технологическую связь — рециркуляцию можно организовать как на V уровне (внешний рецикл), так и на IV уровне (внутренний рецикл на уровне аппарата); на III уровне (рециркуляция жидкости в каждой ступени контакта) и на II уровне (рециркуляция жидкости через контактные устройства, например, эжекционного типа). Однако кратность рециркуляции должна быть в этих случаях соизмерима со временем пребывания жидкости соответственно в ХТС, аппарате, ступени контакта, контактном устройстве В противном случае эффект от использования обратной технологической связи окажется незначительным. Нецелесообразным будет и использование циклических низкочастотных режимов обработки (наложение макропульсаций), если основными лимитирующими будут I—III уровни, и, наоборот, нецелесообразным будет использование ультразвуковых микропульсаций при лимитирующих процессах на IV— V уровнях.

Принцип соответствия необходимо соблюдать также при выборе параметров оптимизации на каждом уровне, «Масштаб» параметров оптимизации должен соответствовать масштабу соответствующего уровня. При переходе от I к V уровню необходим переход от техническнх к технико-экономическим и, наконец, на высоких уровнях к чисто экономическим параметрам оптимизации и к индексам устойчивости развития на самых высоких уровнях (регион, страна). Заметим, что при этом сохраняется преемственность параметров оптимизации, происходит как бы их обогащение при движении снизу вверх. Заметьте, что масштаб параметров оптимизации находится в гармонии (соответствует) масштабу лимитирующего уровня иерархии.

При наличии нескольких возможных критериев оптимальности и необходимости многокритериальной оптимизации используют поисковые методы, принципы линейного, нелинейного и динамического программирования. В литературе приведено звшчнтельное количество алгоритмов оптимизации ХТС, освещение которых не входит в задачи данного пособия и курса ТТС. Замечу только, что, по мнению автора, наибольший интерес представляет подход, основанный на предположении об эквивалентности всех критериев оптимизации и на решении отдельных оптимизационных задач при использовании в качестве целевой функции каждого из возможных критериев и поиске компромиссного решения.

Принцип соответствия (гармонии) необходимо соблюдать также при выборе объекта, на котором проводят исследования при синтезе ХТС. На низких уровнях обычно используют физические модели, на более высоких — математические, все более усложняющиеся и одновременно увеличивающие степень обобщения по мере повышения уровня.

Таким образом, сформулирован ряд общих принципов интенсификации и синтеза оптимальных ХТС, которыми мы будет руководствоваться далее. ***Это комплексный подход, основанный на системном анализе и заключающийся в одновременной реализации, сочетании методов***

интенсификации на различных уровнях иерархии ХТС; обеспечение единства технологии процесса н его аппаратурного оформления; выявление в иерархической лестнице лимитирующих уровней и интенсификация оборудования с их учетом; обеспечение принципа соответствия технических параметров выбранных методов интенсификации и параметров оптимизации масштабу соответствующего уровня, а также соответствия объекта исследования масштабу лимитирующего уровня.

2.4. Критерии оценки технической системы.

Основные показатели, которые на протяжении длительного исторического времени в процессе смены моделей и поколений технической системы имеют тенденцию к монотонному улучшению. Технические критерии осознаются как мера совершенства и прогрессивности и оказывают сильное влияние на развитие данного класса технических систем и техники в целом. Технические критерии делятся на четыре класса: функциональные критерии технических систем - количественная характеристика основных показателей реализации изделия. Список технических критериев обычно включает критерии производительности (скорость движения и обработки, степень механизации и автоматизации труда, непрерывность процесса обработки), критерии точности (точность обработки, измерения, попадания в цель), критерии надежности (безотказность, долговечность, ремонтопригодность); технологические критерии - показатели экономии живого труда при изготовлении изделия и подготовке его к эксплуатации. Список критериев для технических систем обычно включает критерии: трудоемкости изготовления, стандартизации и унификации, использования материалов, расчленения тех. системы на элементы и др. Технические критерии определяют экономию живого труда в жизненном цикле изделия; экономические критерии техники - показатели экономической эффективности технических систем, к которым относятся: критерий расхода материалов, равный отношению массы изделия к его главному показателю эффективности; критерий расхода энергии, одним из частных случаев которого является коэффициент полезного действия: критерий затрат на информационное обеспечение, определяемый как отношение затрат на подготовку и обработку информации к главному показателю эффективности изделия; критерий габаритных размеров, т.е. отношение произведения габаритных размеров изделия к его главному функциональному критерию эффективности изделия; антропологические критерии техники - показатели соответствия и приспособления технических систем, к человеку, снижения дискомфорта и повышения положительных эмоций, уменьшения или исключения вредных и опасных воздействий техники на человека. Список критерий обычно включает критерии эргономичности, красоты, безопасности, экологичности. антропологические критерии оказывают сильное возрастающее влияние на прогрессивную эволюцию техники. Это влияние будет возрастать в связи с формированием гармоничной ноосферы как в отдельных странах, регионах и городах, так и в мире в целом.

Для конкретного класса систем список критериев эффективности может совпадать со списком потребительских качеств (основные критерии и показатели технической системы, которые играют решающую роль при выборе нужного изделия покупателем или пользователем из нескольких альтернативных изделий с одинаковыми или близкими функциями) или быть шире направленны, включать технологические критерии. Выбор критериев для конкретного класса тех. систем должен удовлетворять следующим условиям: условие измеримости, обеспечивающее количественную оценку критерия; условие сопоставимости, позволяющее сопоставлять тех. системы разных времен и стран, для чего наиболее приемлемы безразмерные и удельные значения критерия; условие постоянного существования критерия на протяжении всей истории развития тех. системы.

Остановимся только на двух критериях оптимальности – для самого высокого уровня – индексы устойчивого развития - и уровня ”аппарат” – интенсивность, прежде всего ввиду их важности вследствие высокой информативности, а также потому, что они практически никогда не являются предметом рассмотрения других инженерных спецкурсов.

2.4.1. Критерий интенсивности химико – технологических аппаратов.

Интенсификация многочисленных процессов, проводимых в гетерогенных системах, в частности, при контактировании газа и жидкости, дает возможность увеличить производительность аппаратов при уменьшении их габаритов, металлоемкости, стоимости и соответствующем сокращении необходимых производственных площадей и уменьшении эксплуатационных расходов. Кроме того, интенсификация технологических процессов зачастую позволяет получить новые эффекты, соизмеримые и даже превосходящие по значимости основные целевые эффекты (уменьшение инкрустации на внутренних поверхностях аппаратов или осмоления перерабатываемых веществ, увеличение селективности химических процессов, улучшение качества продукции, уменьшение энергетических затрат).

Известно значительное количество традиционных и сравнительно новых способов интенсификации технологических процессов, протекающих, в частности, в газожидкостных системах. Их строгая классификация весьма затруднена, однако условно методы интенсификации можно разделить на два класса: комплексные, при которых к установке подходят как к единому целому, и декомпозиционные методы, при которых ВЫЯВЛЯЮТ и интенсифицируют отдельные лимитирующие стадии процесса или элементы его аппаратурного оформления. Ввиду сложности процессов, протекающих в гетерогенных системах, предпочтительным методом их интенсификации является декомпозиционный.

Под интенсивностью I любого технологического аппарата понимают отношение одной из его целевых колнчественных характеристик (например, производительности или количества перенесенного тепла) к основной, чаще всего геометрической характеристике (V, F) рассматриваемого объекта (например, объему рабочей зоны или площади теплообмена). Для химического реактора интенсивностью является количество продукции, получаемое в единицу времени и отнесенное к объему аппарата, для теплообменного аппарата — количество тепла, переданное в единицу времени через 1 м2 поверхности теплообмена, для массообменного аппарата — масса вещества, переданная единицей объема аппарата в единицу времени, для доменной печи — съем чугуна с I м3 рабочего объема печи в единицу времени, а для мартеновской — съем стали с 1 м^2 пода печи в единицу времени.

Таким образом, интенсивность — это величина количественная, размерная. Тогда процесс интенсификации производства можно рассматривать как деятельность, направленную на повышение показателя интенсивности технологического оборудования, В этой связи общепринятое выражение «интенсификация технологического процесса» нельзя признать удачным. Правильнее говорить об интенсификации оборудования, мерой которой является его четкая количественная характеристика — интенсивность.

Для теплообменяого аппарата

$$i = \frac{Q}{F\tau} = \frac{KF\tau\Delta t_{\text{т}}}{F\tau} = K\Delta t_{\text{т}} = K\frac{\Delta t_{\text{н}} - \Delta t_{\text{к}}}{2{,}3\lg\frac{\Delta t_{\text{н}}}{\Delta t_{\text{к}}}} =$$

$$= \frac{\Delta t_{\text{н}} - \Delta t_{\text{к}}}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \sum\frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}\right)2{,}3\lg\frac{\Delta t_{\text{н}}}{\Delta t_{\text{к}}}},$$

(2.1.)

где К — коэффициент теплопередачи; F — поверхность теплообмена; τ — время; $\Delta t_{\text{т}}$ — среднелогарнфмическая разность температур; $\Delta t_{\text{н}}$, $\Delta t_{\text{к}}$ - разность температур между теплоносителями на входе и выходе из аппарата; α_1, α_2 — коэффициенты теплоотдачи; δ_i — толщина стенки, осадка; λ_i — теплопроводность стенки, осадка,

Эту зависимость можно использовать для составления наглядной схемы действий конструктора или разработчика по интенсификации конкретного теплообменного аппарата, обозначив $\uparrow$ — необходимость увеличения и $\downarrow$ — необходимость уменьшения того или иного параметра. Тогда зависимость (1.1.) можно записать в виде

$$i\uparrow = \Delta t_{\text{н}}\uparrow,\ \Delta t_{\text{к}}\downarrow,\ \alpha_1\uparrow,\ \delta_i\downarrow,\ \lambda_i\uparrow,\ \alpha_2\uparrow. \quad (2.2)$$

Такая схема наглядно показывает направление изменения тех или иных параметров процесса или конструктивных характеристик аппарата для интенсификации процесса теплообмена. Действительно, необходимо увеличивать движущую силу в начале процесса коэффициенты теплоотдачи α_1, α_2 для обоих теплоносителей, теплопроводность материала аппарата и инкрустаций λ_i; нужно уменьшать движущую силу в конце процесса и толщину стенки тепло передающих поверхностей и загрязнений δ_i. Таким образом, выражение (2.2) является краткой формой записи алгоритма интенсификации теплообменного аппарата. Анализ процесса и выявление лимитирующего уровня в соответствии с изложенным выше алгоритмом синтеза оптимальной ХТС позволяет отобрать из формулы (2.2) факторы, соответствующие по масштабу лимитирующему уровню. Если это окажется уровень М, то такими факторами будут,

видимо, α_1, α_2. Для определения дальнейшего направления интенсификации обратимся к уравнениям теплопереноса и используем одно из известных выражений для α_1, α_2 в виде критериальной зависимости

$$\alpha = \frac{\lambda}{l} A\,\mathrm{Re}^{0{,}8}\,\mathrm{Pr}^{0{,}33}\,(\mathrm{Pr}/\mathrm{Pr}_{\text{ст}})^{0{,}25}. \quad (_2.3)$$

Откуда, не учитывая $(\mathrm{Pr}/\mathrm{Pr}_{\text{ст}})^{0{,}25}$, получаем

$$\alpha = A\lambda^{0{,}67}W^{0{,}8}l^{-0{,}2}\gamma^{0{,}8}C_{\text{р}}^{0{,}33}\mu^{-0{,}47}. \quad (2.4)$$

Здесь λ — теплопроводность теплоносителя; l — определяющий линейный размер (например, толщина слоя теплоносителя); $\mathrm{Re} = Wl\gamma/\mu g$ — критерий Рейнольдса; $\mathrm{Pr} = \mu Cg/\lambda$ — критерий Прандтля;

критерий Прандтля; w — скорость; $a = \lambda/C\gamma$ — коэффициент температуропроводности; γ - плотность; C_p—теплоемкость. Тогда формула {1.4) примет вид

$$i = \Delta t_н \uparrow \Delta t_к \downarrow \delta_{ст} \downarrow \lambda_{ст} \uparrow \lambda_{загр} \uparrow \delta_{загр} \downarrow \lambda_1 \uparrow W_1 \uparrow \gamma_1 \uparrow \times$$
$$\times C_p \uparrow l_1 \downarrow \mu_1 \downarrow \lambda_2 \uparrow W_2 \uparrow \gamma_2 \uparrow C_{p_2} \uparrow l_2 \downarrow \mu_2 \downarrow. \qquad (2.5)$$

Индексы 1 и 2 относятся к характеристикам потоков двух потоков теплоносителей.

Программа интенсификации (1.5) включает как режимно-технологические, так и аппаратурно-конструктивные характеристики теплообменного процесса на различных уровнях иерархии.

Рассмотрим пути интенсификации массообмепной аппаратуры.

Если использовать основное уравнение процесса массопереноса, то для наиболее распространённых тарельчатых массообменных аппаратов фактор интенсивности можно определить по формуле

$$i = M/V = KF\Delta C/V, \qquad (2.6)$$

где М — масса вещества, перенесенного в единицу времени; $V = n\,(V_б + V_с) = nF\,(H_б + H_с)$ — объем тарельчатого аппарата; n число секций в аппарате; |/б, V, — соответственно объем рабочей (например, барботажной) и сепарациокной зон одной секции аппарата; Р — поверхность полотна тарелки; $H_б$, $H_с$ — соответственно высота барботажной и сепарационой зон; К — коэффициент массопередачи, отнесенный к 1 м^2 полотна тарелки; ΔC — разность концентраций (движущая сила процесса).

Для противоточного аппарата, считая коэффициент массопередачи не зависящим от концентрации, запишем:

$$i = K\Delta C/[n\,(H_б + H_с)]. \qquad (2.7)$$

Из формулы (2.7) видно, что на величину фактора интенсивности оказывают влияние параметр характеризующий кинетику массообмениого процесса, параметры ΔC и n, тесно связанные со статическими характеристиками процесса, в частности, с равновесием между фазами, определяемым термодинамическими свойствами компонентов системы, а также параметры $H_б$ и $H_с$. Последние зависят в основном от конструктивных особенностей аппарата и физико-химических свойств перерабатываемых продуктов. Если использовать понятие эффективности ступени контакта, то

$$i = \eta K\Delta C/[n_т\,(H_б + H_с)], \qquad (2.8)$$

где $n_т$ — число необходимых теоретических ступеней контакта. Тогда алгоритм интенсификации массообменного аппарата можно записать так:

$$i \uparrow = \eta \uparrow K \uparrow \Delta C \uparrow n_т \downarrow H_б \downarrow H_с \downarrow. \qquad (2.9)$$

Если анализ показывает, что лимитирующим является уровень М, то необходимо искать пути увеличения коэффициента массопередачи К, при этом можно использовать многочисленные

эмпирические зависимости для определения К в колонной аппаратуре различного типа и получить более полное выражение для I.

2.4.2. Уровень реализации концепции устойчивого развития (КУР) как интегральный критерий реформирования систем.

КУР – это система взглядов на управление с целью повышения качества жизни ныне живущих и будущих поколений людей на основе комплексного решения социальных, экологических и экономических проблем и сбалансированного планирования с учетом интересов и в сотрудничестве государства, общественности и предпринимателей. Он был принят на саммите в Рио де Жанейро примерно четверть века назад руководителями около 200 стран и стал для большинства из них основным критерием успешности их развития. К сожалению, Украина до сих пор не имеет национальной концепции устойчивого развития, что не позволило ей также определить национальную идею, объединяющую ыесь народ страны.

С появлением КУР человечество пришло к необходимости управления состоянием окружающей среды. Все более очевидным становится необходимость поиска новых путей и подходов к минимизации антропогенного воздействия. Основным из таких путей сокращения техногенного воздействия в развитых странах мира стало развитие экологически эффективного бизнеса и экологического менеджмента.

КУР учитывает реалии сегодняшнего дня:

- Бедность,
- Деградацию окружающей среды,
- Рост народонаселения,
- Военные угрозы,
- Терроризм

и их причины:

- Неограниченный рост производства и потребления,
- Углубление экономического и социального неравенства,
- Эксплуатация биосферы.

КУР удовлетворяет потребности настоящего времени, но не ставит под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности. («Наше общее будущее», 1987).

Устойчивое развитие включает два ключевых понятия: понятие потребностей, в том числе приоритетных (необходимых для существования беднейших слоев населения) и понятие ограничений, накладываемых на способность окружающей среды удовлетворять нынешние и будущие потребности человечества.

Концепция устойчивого развития основывается на пяти основных принципах:

1. Человечество действительно способно придать развитию устойчивый и долговременный характер.
2. Имеющиеся ограничения в области эксплуатации природных ресурсов относительны.
3. Необходимо удовлетворить элементарные потребности всех людей и всем предоставить возможность реализовывать свои надежды на более благополучную жизнь.
4. Необходимо согласовать образ жизни тех, кто располагает большими средствами с экологическими возможностями планеты.

5. Размеры и темпы роста населения должны быть согласованы с меняющимся производительным потенциалом глобальной экосистемы Земли.

Экологически устойчивое развитие – развитие, при котором благополучие людей обеспечивается сохранением источников сырья и окружающей среды. Стратегия устойчивого эколого-экономического развития предполагает отказ от экстенсивного экономического роста, базировавшегося на представлении о неисчерпаемости природных ресурсов и неограниченности возможностей природной среды к самовосстановлению по принципу «максимального эффекта с минимальными затратами».

Экономное, хозяйственное использование природных ресурсов включает:

- всемерную рационализацию производства;
- его комплексность;
- минимизацию отходов;
- ликвидацию потерь;
- широкое применение вторичного сырья.

2.5. Стратегия и тактика УР.

Видение автором методического пособия стратегии и тактики УР целиком укладывается в следующую формулу:

Концепция устойчивого развития направлена на решение экономических, экологических и социальных проблем на основе системного подхода за счет развития среднего и малого бизнеса и превращения его в технологический бизнес путем инновационного наполнения, использования рыночных механизмов хозяйствования, современных информационных технологий, проектного менеджмента с формированием проектных кластеров.

При этом основные тактические средства реализации концепции устойчивого развития на базе системного анализа следующие:

- Экологизация производства и индустриальный симбиоз.
- Развитие среднего и малого бизнеса с инновационным наполнением в технологический бизнес.
- Адаптация и реабилитация населения к техногенным перегрузкам.
- Использование рыночных механизмов хозяйствования и информационных технологий.

С учетом триединого принципа КУР конкретно для крупного промышленного города, например, мегаполиса г.Днепропетровска, основные тактические приемы, средства и методы реализации КУР могут быть представлены в виде трех главных блоков:

Экономический блок : интеграция субъектов среднего и малого бизнеса в кластеры технологического бизнеса с инновационным наполнением. Главной текущей задачей для этого блока является реализация антикризисного менеджмента. При этом важно использовать не дальнейшее сокращение производственных мощностей, а диверсификацию имеющихся производств за счет реализации инновационных проектов в сфере, прежде всего, энергосбережения, ресурсосбережения, экологизации производства, перехода от сырьевой экономики к инновационной. Важно также использовать прогрессивные индустриальный и индустриально – аграрный симбиоз, постепенную замену нынешних устаревших технологий более чистыми и менее энерго- и ресурсоемкими (экологизация производства), замену невозобновляемых видов сырья

возобновляемыми, реализацию синергетических принципов, повышение энергоэффективности за счет использования вторичных энергоресурсов, возобновляемых источников энергии, и, наконец, едва ли не самое главное - преобразование непроизводственного среднего и малого бизнеса в производственный технологический бизнес путем его инновационного наполнения на основе микрокластеров технологического бизнеса.

Экологический блок: экологизация производства и агропромышленного комплекса. Экологическая политика и устойчивое развитие. Невыполнение основных положений КУР, решение экологических задач по остаточному принципу, неконтролируемая приватизация, коррупция, отсутствие контроля со стороны властных структур уже приводят к серьезным нарушениям экологической обстановки и усугублению социальных проблем во многих регионах. Пути решения экологических проблем - реализация конкретных рыночно – ориентированных экологических программ, к примеру, программы "Экологизация производства", в которой экологизацию предложено проводить одновременно с реструктуризацией и диверсификацией за счет средств предприятий.

Социальный блок : адаптация и реабилитация человека к техногенным нагрузкам, в частности, реализация программ выживания и экологии жилища. Эти стратегия и тактика не ориентированы на бюджетное финансирование, а, прежде всего, на использование рыночных механизмов реализации. Решение социальных проблем в свете КУР включает в себя реализацию программы выживания населения в условиях техногенного прессинга. Для обеспечения выживания человека концепцию экологизации следует сочетать с двумя другими: адаптацией человека к условиям жизни в экологически неблагоприятных условиях, и применение систем жизнеобеспечения человека в среде его обитания. Адаптация человека предполагает разработку и реализацию методов профилактики и реабилитации населения, основанных на современных достижениях науки. Экология жилища рассматривает мало исследованные аспекты выживания, связанные с экологией жилища. Следует обратить внимание на средства и методы, которые позволяют существенно улучшить ситуацию с устранением следующих угроз: радоновая угроза, радиация, состояние атмосферного воздуха, безопасность строительных и отделочных материалов, аллергены, микроклимат, ионный состав воздуха, геопатогенные зоны, торсионные поля, электромагнитная безопасность.

2.6. Индикаторы устойчивого развития как критерии оптимизации технических систем.

Вопрос об индикаторах устойчивого развития и об обязательном их использовании субъектами всех ветвей власти является чрезвычайно важным ввиду антикоррупционного характера этих индикаторов. Именно их использование при предварительной экспертизе любого проекта или закона позволяет уменьшить вероятность коррупционных сделок, прежде всего, по лоббированию проектов, не отвечающих требованиям КУР. Численные индикаторы устойчивого развития в подавляющем большинстве стран, взявших КУР на вооружение, стали рабочим механизмом не только контроля содержания тех или иных проектов или законов, но и рычагом государственного управления.

В различных странах используют различные ИУР. Однако, большинство стран используют в качестве одного из основных индикаторов индустриальной экономики все тот же ВВП (валовой внутренний продукт). Подход к этому индикатору неоднозначен. Считают, что не в его пользу абсолютизация экономического роста. К примеру, сейчас во многих странах наблюдается рост ВВП, но эксперты отмечают, что он не устойчив без новых радикальных изменений в модели развития. Ведь, рост ВВП может происходить на фоне деградации человеческого, физического и

природного капиталов, может маскировать социальные и экологические проблемы (бедность, разрыв доходов, здоровье). Для стран с большим природным капиталом – часто наблюдается рост ВВП на базе сверхэксплуатации и истощения природных ресурсов. В то же время ВВП не охватывает все аспекты устойчивого развития. Ведь, устойчивость невозможна без социального и экологического качества роста.

По мнению экспертов в области КУР для Украины современные тенденции экономического развития являются скорее «антиустойчивыми», формируется и закрепляется на будущее неустойчивый тип развития экономики страны. Отмечают:

- Отрицательные величины макроэкономических показателей, в которых учитывается фактор устойчивости;
- Структурные сдвиги в экономике, увеличивающие удельный вес природоэксплуатирующих и загрязняющих отраслей;
- Рост показателей природоемкости по сравнению с дореформенным периодом.

Можно отметить два подхода к построению ИУР в различных странах:

1) построение интегрального, агрегированного индикатора, на основе которого можно судить о степени устойчивости социально-экономического развития. Агрегирование обычно осуществляется на основе трех групп показателей:

- эколого-экономических,
- эколого-социально-экономических,
- собственно экологических.

Ниже примеры интегральных ИУР:

- Наличие агрегированного (интегрального) эколого-экономического индикатора на макроуровне является идеальным для лиц, принимающих решения. По одному такому показателю можно было бы судить о степени устойчивости страны, экологичности траектории развития - своеобразный аналог ВВП, ВНП, национального дохода, по которым сейчас часто измеряют успешность развития, экономическое благосостояние.
- Индекс скорректированных чистых накоплений (adjusted net savings).
- Система интегрированных экологических и экономических национальных счетов (a System for Integrated Environmental and Economic Accounting).
- Индекс развития человеческого потенциала (Human Development Index).
- Индекс «живой планеты» (the Living Planet Index).
- Индекс давления на природу (Ecological Footprint).

2) построение системы индикаторов, каждый из которых отражает отдельные аспекты устойчивого развития. По сравнению с интегральными индикаторами устойчивости этот подход более широко распространен в мире.

Чаще всего в рамках общей системы выделяются следующие подсистемы показателей:

- экономические,
- экологические,
- социальные,
- институциональные.

Примеры систем индикаторов:

- Методология Комиссии ООН по устойчивому развитию (КУР) (1996, 2001).
- Всемирный Банк: индикаторы в рамках ежегодного доклада Всемирного Банка "Индикаторы мирового развития" ("The World Development Indicators").
- Система индикаторов ОЭСР, разработанная на основе структуры «давление-состояние-реакция».
- Среди разработок отдельных стран следует отметить системы США и Великобритании.

5. Немного о российском опыте оценки развития с помощью ИУР.

Россия гораздо активнее других стран занимается разработкой и использованием ИУР. Вот, хотя бы, проект Всемирного Банка и Минэкономразвития - были предложены несколько систем индикаторов устойчивого развития для России. Есть стремление Правительства РФ к разработке широкого спектра социальных, экономических и экологических показателей для целей бюджетного планирования на федеральном и региональном уровнях. Например, скорректированные чистые накопления : GS = GNS - Dh + CSE – DNR – CD – PD, где: GNS - валовые внутренние накопления, Dh - потребление основного капитала, CSE - текущие расходы на образование, DNR - истощение природных ресурсов, CD - ущерб от выбросов CO2, PD - ущерб от выбросов твердых частиц.

1. Измерение человеческого развития - используется специальный индекс развития человеческого потенциала (Human Development Index) (ИРЧП), отражающий важные социальные аспекты. В целом Россия находится ниже среднего уровня ИРЧП по странам Центральной и Восточной Европы и СНГ. Страна уступает многим опередившем ее государствам, прежде всего, по уровню долголетия, при этом часто превосходя их по показателям образования и материального благосостояния.

2. Агрегированный индекс:долголетие,
3. достигнутый уровень образования,
4. уровень жизни, измеряемый на базе ВВП на душу населения на основе паритета покупательной способности.

В России отмечаются попытки преодолеть экономическую однобокость традиционных экономических показателей прогресса, прежде всего ВВП. Проводят, к примеру, ранжирование уровней качества жизни человека - отличие от места страны или региона на основе показателя ВВП. Интересно появление в России ИУР с учетом формулирования целей развития тысячелетия (ЦРТ):

1. Сокращение бедности
2. Повышение доступности и качества образования
3. Обеспечение гендерного равенства
4. Снижение материнской смертности
5. Борьба с ВИЧ/Спидом, туберкулезом и другими заболеваниями
6. Обеспечение экологической устойчивости
7. Участие в глобальном сотрудничестве, отвечающем национальным интересам.

Для каждой ЦРТ разрабатывается индивидуальные ИУР. К примеру, для Цели развития тысячелетия 7 «Обеспечение экологической устойчивости» предложены 3 задачи и 8 индикаторов:

- Включить принципы устойчивого развития в страновые стратегии и программы и предотвращать потери природных ресурсов,
- Обеспечить население чистой питьевой водой,
- Обеспечить улучшение качества жилищных условий населения.

Необходимо решить две главные проблемы для обеспечения экологической устойчивости:

1) снизить воздействие человека на окружающую среду и исчерпание им природных ресурсов;
2) улучшить экологические условия для развития человека, уменьшить экологические угрозы для его безопасности, здоровья и проживания.

Индикаторы ЦРТ 7:

- Процент территории с лесным покровом.
- Процент охраняемой территории для поддержания биоразнообразия наземной среды.
- Энергоемкость.
- Выбросы двуокиси углерода (тонн).
- Численность населения, проживающего в особо загрязненных городах.
- Доля жилищного фонда, обеспеченного водопроводом (город, село).
- Доля городского и сельского населения, имеющего доступ к канализации.
- Доля ветхого и аварийного жилищного фонда.

Использование индикаторов устойчивости позволяет россиянам оценить наиболее острые проблемы развития страны. К примеру, достаточно внимательно относятся наши северные соседи к индикаторам человеческого развития и здоровья (ИЧРЗ). По оценке российских экспертов огромное негативное влияние на человеческое развитие оказывает фактор, связанный с низким долголетием российских граждан, особенно мужчин. Это важная причина низкого ИЧРЗ страны и ее невысокого международного рейтинга.

Интересен индикаторный подход России к проблеме “Здоровье и экология”. Можно выделить по крайне мере четыре группы индикаторов, связывающих здоровье населения с загрязнением окружающей среды:

- уровни заболеваемости и смертности по причине загрязнения окружающей среды;
- косвенные индикаторы, связанные с воздействием на здоровье (ЦРТ 7);
- прямой экономический ущерб здоровью населения от загрязнения окружающей среды;
- экономическая оценка готовности населения платить за качество окружающей среды и предотвращение заболеваемости.

Ущерб от загрязнения для здоровья оценивается индикаторами:

- по проекту Всемирного Банка и МГУ для Минэкономразвития ущерб для здоровья населения России от загрязнения окружающей среды составляет 3-6% ВВП
- по модели Экосенс ущерб для здоровья в регионах выше – около 8% ВВП (Кемеровская, Свердловская, Челябинская области).

Отношение в России к ценности жизни: Для российского общества, особенно в нынешних условиях агрессии ао отношению к нашей стране, остро стоит принципиальный вопрос о пересмотре отношения к человеческой жизни. Это сложнейший вопрос, решение которого предполагает кардинальные сдвиги в мировоззрении и мироощущении людей. Эксперты отмечают, что исторически в стране отдельная человеческая жизнь никогда не обладала высокой ценностью ни с позиций государства, ни в глазах отдельного человека. В результате такого отношения к жизни и здоровью страна входит в число стран с самой высокой смертностью из-за несчастных случаев, насилия, курения, алкоголизма и других подобных причин, непосредственно не связанных с болезнями. Ежегодно по этим причинам гибнет треть млн.чел. Отмечают внемедицинские» причины смертности: смертность из-за травм вследствие дорожно-транспортных происшествий ежегодно составляет около 40 тыс.чел. (также 175 тыс. получают ранения и травмы), курение. В

стране ежегодно выкуривается свыше 230 миллиардов штук сигарет, что позволяет отнести Россию к числу пяти стран, лидирующих в мире по потреблению табака. В последние годы страна вышла на одно из первых мест в мире по уровню потребления алкоголя и достигла показателя 12-15 литров чистого этанола на человека в год. До 40 тыс. ежегодно умирают от отравления алкоголем. Проблемой национальной безопасности становятся наркотики. В пределах России ежегодно отмывается от 2,5 до 7,0 млрд. долл. наркоденег. Наркобизнесом в России занимаются порядка 1600 организованных преступных групп, объединяющих около 6 тысяч человек. При сохраняющейся тенденции число лиц, употребляющих наркотические средства и психотропные вещества, может превысить 3 миллиона человек.

Индикаторный анализ заострил проблему “Молодежь и самоубийства”. Показано, что отсутствие позитивных ценностей и приоритетов в жизни молодых людей, как и для людей старшего возраста, приводят к высокому числу самоубийств, особенно среди мужчин. Согласно исследованиям ЮНИСЕФ коэффициент смертности по этой причине молодых людей в России в возрасте 15-19 лет вырос в 1,6 раза по сравнению с 1990 г. и превосходит в среднем в 2-3 раза данный показатель у стран-соседей в СНГ и Восточной Европе.

Думаю, нам в Украине тоже давно пора принять Национальную концепцию устойчивого развития, освоить методы индикаторного анализа устойчивости развития нашей страны. Это крайне необходимо особенно сейчас при реформировании страны.

Контрольные вопросы по главе 2

1. Перечислите свойства технических систем.
2. Дайте определение химико-технологической системы (ХТС)
3. Какие виды ХТС вы знаете?
4. Что такое декомпозиция ХТС по подуровням?
5. Какае законы ХТС вы знаете?
6. Какие новые законы и принципы работы ХТС предложены учеными кафедры ОХВ УДХТУ?
7. Что вы знаете о лимитирующем иерархическом уровне системы?
8. С чем должны быть в гармонии параметры воздействия на ХТС ?
9. Какие вы знаете критерии оценки технических систем?
10. Дайте определение критерию интенсивности для ХТС.
11. Размерность параметра “интенсивность” для теплообменного аппарата?
12. Можно ли рассчитать параметр «интенсивность” ждя химико-технологической установки?
13. Основные принципы концепции устойчивого развития (КУР)?
14. Какие три направления являются определяющими для КУР?
15. Формула стратегии и тактики устойчивого развития.
16. Что главное в КУР – решение экологических, экономических задач или социальных проблем?
17. Какие индикаторы устойчивого развития вы запомнили?
18. Почему расчеты индикаторов УР важны для нашей страны?
19. В чем антикоррупционный характер КУР?

Литература

1. Задорский В. М. Интенсификация газожидкостных процессов в химической технологии, — Киев: Техника, 1979. — 198 с.
2. Задорский В. М., Фокин А. П., Яковенко М. М. К вопросу оптимального конструирования оборудования для технологических процессов получения химических реактивов. // Тр ИРЕА, выпуск 44, —М., 1982, — С. 185—200.

3. Системное проектирование химико-технологических комплексов / Г. А, Статюха, И, М, Кисиль, И. И. Браславский; Под ред. И, Д. Зайцева. — К, : Техніка, 1983,— 120 с,
4. Кафаров В.В., Дорохов И. Н. Системный анализ процессов химической
5. технологии (основы стратегии).— М. : Наука, 1976.— 499 с.
6. Кафаров В. В. Принципы создания безотходных химических производств, — М. : Химия, 1982,— 288 с.
7. Легасов В. А., Сафонов М. С. Гибкая химическая технология. — Хим. пром-ть, 1985, N8—С. 471—477.
8. Розовский А.Я. Гетерогенные химические реакции, М, Наука, 1980.— 323 с.

Глава 3. Еще немного о системном анализе - начале начал.

3.1. Основные определения

Недавно редакция одного достаточно авторитетного научного химического журнала не в первый раз отклонила мою с аспирантом научную статью. Нет - нет, не из-за плагиата, а потому, что явно ретроград, учёный химик (рецензент), да и вся редакция просто не представляют себе, как можно во много раз ускорить химический процесс, не изменяя его химизм и не используя традиционные у химиков игры с изменением давления, температуры, заменой катализатора, а только осмысленным использованием все ещё мало распространённого в химии инструмента – синергии с позиций системного анализа. Уж так вышло, что синергией я занялся достаточно давно, когда Хакер ещё не написал свою знаменитую книгу об этой науке, да и названия такого ещё не придумали. Смотрите сами, работая на химзаводе, задолго до того, как увлёкся наукой, я уже пытался использовать при поиске решений по совершенствованию того или иного объекта принцип взаимосвязи, да чего там взаимосвязи – неразрывного единства химической технологии и оборудования, в котором она реализуется, и все мои первые патенты были основаны на этом. Механик по образованию, я выполнил ещё один дипломный проект и стал инженером – технологом. На этом единстве была основана моя кандидатская диссертация, затем первые книги. Кафедру, которой долго заведовал, переименовал в кафедру химической техники, имея в виду, что понятие “техника” отвечает единству понятий “оборудование” и” технология”. Докторская диссертация была вообще по двум этим специальностям. Впрочем, в ней даже слова “синергия” не было, но идеи системного похода, синергии и даже диссинергии были ее основой.

Отдавая дань этой, может быть, и не очень традиционной науке (скорее великолепной инженерной концепции), пишу эту книгу, в которой попытаюсь, не злоупотребляя излишней математизацией при изложении, прежде всего, при математическом моделировании, не прибегая к злополучным концепциям ”чёрного ящика” и построенным по нескольким точкам столь любимым химиками полиэкстремальным кинетическим кривым, по возможности, простым языком, понятным и начинающему ученому и инженеру, написать о средствах и методах синергии, использованных при совершенствовании самих различных химических производств, в большинстве своем разработанных автором или при его участии и тем или иным способом реализованных или апробированнных в реальных производствах с позитивными результатами.

Проработав более полувека в высшей школе, убедился, что информация легче усваивается при оживлённом диалоге, а у нас студенты, к сожалению, основное время все ещё тратят на написание не всегда совершенных конспектов лекций (и это в эпоху компьютерных и информационных технологий!), выполнение архаичных, зачастую просто бестолковых курсовых и лабораторных работ. Многие под давлением этой сложившейся в позапрошлом веке системы образования теряют интерес к учёбе и стремятся лишь получить зачёт и сдать экзамен, а по окончании обучения -

диплом, который зачастую используют как визитную карточку при поступлении на работу, к сожалению, не по специальности.

Думаю, человечеству нужен новый тип мышления - креативный. Формирование человека креативного типа предполагает освоение им принципиально новой культуры мышления, суть которой, в конце концов, заключается в развитии интеллекта человека с помощью нетрадиционных технологий обучения. В таких технологиях акцент делается не столько на организацию и переработку знаний, сколько на их порождение. Этот вопрос тесно смыкается с технологиями порождения интеллектуальной собственности, которые являются предметом озабоченности человечества очень давно. Здесь также системный анализ в сочетании с эффективным средством его реализации - синергией занимают не последнее место.

Прежде, чем перейти к ознакомлению с этой сравнительно недавно появившейся наукой синергией, еще раз вспомним (не удивляйтесь, если я повторю некоторые сведения, изложенные в предыдущей главе. Это крайне необходмо, так как именно на эти сведения опирается все дальнейшее иложение в этом пособии) хотя бы самые общие свойства систем и приёмы системного анализа, одним из основных средств реализации которого, собственно, и является синергия.

Наше время характеризуется постоянным нарастанием комплексных проблем, требующих для своего разрешения все больше информации и участия специалистов различных областей знаний. Все острее ощущается потребность в специалистах широкого спектра знаний, умеющих эти знания обобщать. По мере усложнения типов производств усложняются и отношения во всех сферах человеческой деятельности. Возникают задачи, решение которых невозможно без использования понятия комплексного системного подхода. Для обобщения дисциплин, связанных с исследованием и проектированием сложных систем, чаще используется термин «системные исследования». В настоящее время системный подход используется и подвергается осмыслению философами, биологами, кибернетиками, физиками, инженерами, социологами, экономистами и другими специалистами. Системный подход вошёл в современную теорию организации управления как особо востребованная методология научного анализа и мышления. Способность к системному мышлению стала одним из требований к современному руководителю, особенно, к проектному менеджеру. Системное мышление — не дело свободного выбора, а производственная необходимость. Без него практически невозможно сегодня заниматься оптимизацией любых сложных систем, в том числе, технических.

Центральным понятием системного анализа является понятие “система”. Суммируя многочисленные определения, приведённые в литературе, получим: Система есть совокупность элементов (подсистем). При определённых условиях сами элементы могут рассматриваться как системы, а исследуемая система – как элемент более сложной системы. Связи между элементами в системе превосходят по силе связи этих элементов с элементами, не входящими в систему. Это свойство позволяет выделить систему из среды. Для любой системы характерно существование интегративных качеств (свойство эмерджентности), которые присущи системе в целом, но не свойственны ни одному ее элементу в отдельности: систему нельзя сводить к простой совокупности элементов; система всегда имеет цели, для которых она функционирует и существует.

Итак, под системой обычно понимают множество находящихся в отношениях и связях между собой и реализующих единую цепь элементов, которое образует определённую целостность, единство. Любой элемент системы может рассматриваться как система более низкого порядка, а сама система

— как элемент системы более высокого уровня. При анализе или синтезе систем применяют понятие иерархичности, полагая, что отдельные уровни системы обусловливают аспекты ее поведения, а функционирование всей системы является результатом взаимодействия всех уровней иерархии. Наличие отношении и связей между элементами, образующими систему, не мешает ей выступать в качестве единого целого во взаимоотношениях со средой. В то же время свойства отдельных элементов, так называемые интегративные связи внутри системы, определяют, в конечном счёте, ее свойства в целом.

В соответствии с общими принципами системного анализа, его стратегией и иерархической структурой химического производства каждый процесс формализуется как сложная физико-химическая система. Сущность системного анализа определяется его стратегией, в основе которой лежат общие принципы, применимые к решению любой системной задачи. К ним можно отнести: чёткую формулировку цели исследования; постановку задач по реализации этой цели, описание задач в общем виде, определение критерия эффективности их решения; разработку развёрнутого плана исследования и последовательное продвижение по всему комплексу взаимосвязанных этапов и возможных направлений; организацию последовательных приближений и повторных циклов исследований на отдельных этапах; принцип нисходящей иерархии анализа и восходящей иерархии синтеза в решении составных частных задач. Сначала описывается функция системы, затем функции подсистем. Если на этом уровне не находится допустимого решения, то декомпозиция происходит дальше.

Системный подход представляет собой определённый этап в развитии методов познания, методов исследования и конструирования, способов описания и объяснения природных или искусственно созданных объектов. Наиболее широкое применение системный подход находит при исследовании сложных развивающихся объектов — многоуровневых иерархий, как правило, самоорганизующихся биологических, психологических, социальных, экономических и других систем.

Часто возникает вопрос о соотношении системного подхода и системного анализа. Оба эти словосочетания встречаются в специальной литературе и завоевали право на жизнь. На основании вышеизложенного можно сформулировать следующее определение системного подхода — это методологическое направление в науке, основная задача которого состоит в разработке методов исследования и конструирования сложноорганизованных объектов — систем разных типов и классов. Можно встретить двоякое понимание системного подхода: с одной стороны, это рассмотрение, анализ существующих систем, с другой — создание, конструирование, синтез систем для достижения целей. Таким образом, системный подход шире системного анализа: системный подход — это направление, методология, которая немыслима без первой его стадии - системного анализа. Системный анализ используется как один из важнейших методов в системном подходе, как эффективное средство решения сложных, обычно недостаточно чётко сформулированных проблем. Соответственно, системный анализ сводится к уточнению проблемы и ее структуризации в серию задач, решаемых с помощью, чаще всего, математических методов, нахождению критериев для их решения, детализации целей. Системный анализ можно считать дальнейшим развитием идей кибернетики: он исследует общие закономерности, относящиеся к сложным системам, которые изучаются любой наукой. Итак, системный анализ — совокупность методов и средств исследования и конструирования сложных объектов, прежде всего методов обоснования решений при создании и управлении техническими, экономическими, социальными и другими системами.

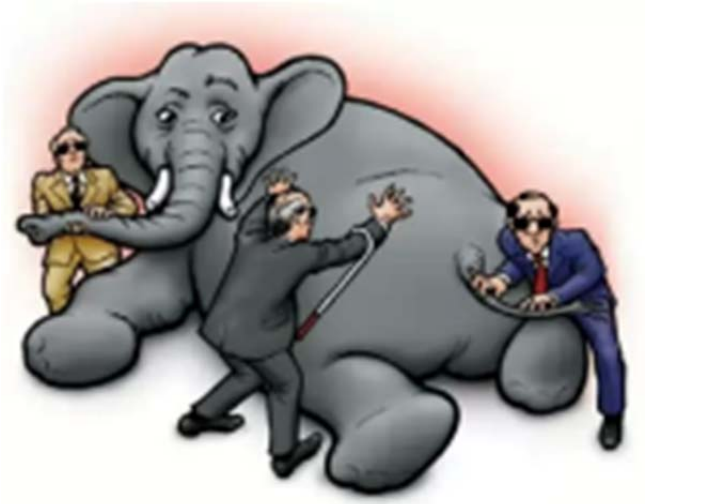
Успехи в анализе и конструировании систем могут быть условно представлены как постепенное замещение «черных ящиков» «белыми ящиками». Если быть честным, к сожалению, до этого обычно дело не доходит.

Кроме этого, даже большие любители системного анализа пишут, что, как правило, для сложных организационных систем он никогда не может быть доведён «до конца» в силу постоянно изменяющихся внешних или внутренних условий». Короче, приехали к тому, что «суждены нам благие порывы, но свершить ничего не дано”. Все ограничивается благими намерениями получить модель системы, с помощью которой можно было бы исследовать свойства и прогнозировать поведение системы, которую редко кому удаётся получить даже для самых простых объектов. В то же время, любое представление об объекте (системе), любое обобщение, любая модель имеют свою область применимости. И за ее пределами использование достигнутого обобщения вполне может оказаться неверным. Поэтому многие наши проблемы возникают не потому, что мы пользовались неправильной моделью, а потому, что мы ее применяли не там, где она может работать. С построением мысленных моделей окружающего связана ещё одна интересная вещь. Уже давно было замечено, что одно и то же явление можно описать по-разному, построить разные модели, но ни одна из них не будет исчерпывающей. Мало того, в разных случаях удобными могут оказаться разные модели одного и того же явления, в зависимости от задачи исследования. Системное мышление требует нового взгляда на модели: не может быть отображена реальность (сложная система) единственно правильной моделью системы. И в разных случаях, в разных ситуациях мы сможем применять ту модель, какая лучше будет отражать данное явление.

Итак, традиционно системный подход и системный анализ выступают в качестве методологии исследования сложных объектов посредством представления их в качестве систем, моделирования этих систем и их анализа. Соответственно системный анализ сводится к уточнению сложной проблемы и ее структуризации в набор задач, решаемых с помощью математических методов, детализации целей, нахождению критериев оптимизации, конструированию эффективного решения для достижения целей. Такой подход к системному подходу и анализу существенно снижает эффективность и даже возможности их использования.

3.2. Основные свойства систем (повтор наиболее важной информации).

Попробуем сжато рассмотреть основные свойства систем. К сожалению, мышление человека несистемное: люди не успели в процессе эволюции выработать системное видение мира. Наше воображение создаёт усечённый образ всего объекта, который требуется изучить, исследовать с целью его изменения или усовершенствования. Человек как бы видит изображение объекта на одном экране, причём зачастую недостаточно полно. Для пояснения этого обстоятельства повторю еще раз старую притчу о трёх слепых индусах, которые по распоряжению раджи выясняли,



что представляет собой слон. Каждый из них для этого ощупывал часть слона и рассказывал о своих впечатлениях. Первый слепой протянул руку и коснулся бока слона: «Какой гладкий! Слон похож на стену». Второй слепой протянул руку и коснулся хобота слона: «Какой круглый! Слон похож на змею». Третий слепой протянул руку и коснулся хвоста слона: «Какой тонкий! Слон похож на верёвку». Завязался спор, поскольку каждый слепой считал своё описание слона правильным. Раджа, разбуженный шумом, вышел на балкон. «Слон — это большое животное», — сказал он. — «Каждый из вас прикоснулся лишь к одной его части. Вам придётся сложить все части вместе, чтобы узнать, на что похож слон». Просветлённые мудростью раджи, слепые пришли к согласию: «Каждый из нас знает только часть истины. Чтобы найти истину целиком, мы должны сложить все части вместе». Они не смогли по характеристике частей системы сложить правильное представление о всей системе – слон. Итак, первое свойство системы – по части системы нельзя охарактеризовать всю систему.

Системный подход ориентирует исследователя на раскрытие целостности объекта, на выявление многообразных типов связей в нем и сведение их в единую теоретическую картину. В настоящее время под системным подходом понимают направление методологии научного познания, в основе которого лежит рассмотрение объектов как систем. Соответственно, суть системного подхода заключается в представлении об объекте как о системе. Кроме этого, системный подход представляет любую систему как подсистему (иерархический уровень): над любой системой есть надсистема, которая находится на более высоком уровне иерархии систем, и под каждой системой есть подсистема на более низком уровне иерархии. Итак, каждый иерархический уровень связан с вышележащим и нижележащим прямыми и обратными связями и выступает как бы в двух ипостасях одновременно – вышележащего и нижележащего уровня. А в целом система уровней образует как бы иерархическую лестницу взаимосвязанных уровней. Это второе фундаментальное свойство системы.

Мы попытались решить совершенно нестандартную задачу – можно ли использовать системный подход без стадии моделирования системы (по принципу" умный в гору не пойдёт, умный гору обойдёт"). Мы обратили внимание на некоторые свойства систем, прежде всего технических, на которые не обратили внимание сторонники классического подхода. Итак, продолжим рассматривать свойства систем уже с новых позиций – отказа от математического моделирования. Прежде всего, необходимо отметить, что в технике системный анализ проводят не из любви к искусству, а с целью вполне конкретной и рыночной задачи – оптимизации системы. При решении этой утилитарной задачи мы обратили внимание на то, что любая многоуровневая техническая система (а других и не бывает!) с точки зрения оптимизации может быть охарактеризована на одном, лимитирующем, определяющем все свойства системы иерархическом уровне. А тогда незачем заниматься оптимизацией всей системы, чем часто занимаются начинающие учёные и не только в технике, но и в экономике, политике, при решении социальных проблем. Достаточно сформулировать и решить задачу на этом лимитирующем уровне, и это гораздо проще и дешевле. А, главное, как будет показано ниже, вполне возможно обойтись без малополезного в этом случае процесса математического моделирования. И наличие лимитирующего уровня – важное третье фундаментальное свойство любой иерархической системы.

И ещё одно важное четвёртое свойство, которое обязательно необходимо отметить. Мы живём в мире колебаний. Каждый иерархический уровень имеет собственные колебания с резонансной частотой и амплитудой. Пятое свойство, которое нам также потребуется, заключается в том, что амплитудно - частотные характеристики собственных колебаний на каждом уровне определяются его так называемыми характеристическими размерами. Вспомним хотя бы о

низкочастотных циклах Кондратьева, которые имеют большую амплитуду, так как совершаются на самых высоких иерархических уровнях системы с большими характеристическими размерами. А также вспомним о том, что температура любого тела определяется высокочастотными колебаниями его молекул, имеющих чрезвычайно малые определяющие размеры.

И, наконец, шестое свойство, которое мне придется привести, заключается в том, что параметры оптимизации системы на каждом ее иерархическом уровне различны по масштабу и определяются также его амплитудно – частотными характеристиками. В самом деле, на самых верхних иерархических уровнях работают глобальные параметры – индексы устойчивости развития, о которых я уже писал ранее, на нижерасположенных уровнях – экономические параметры, ниже – технико- экономические параметры, затем - чисто технические и, наконец, на самых низких иерархических уровнях – кинетические (к примеру, константа скорости химической реакции или коэффициент массопередачи).

Вот теперь я могу, наконец, раскрыть тайну моих более четырёх сотен изобретений и патентов, а также причину нескромных заявлений о том, что я с моими учениками могу достаточно быстро оптимизировать любую техническую систему, не сильно переживая по поводу отсутствия математической модели процесса. Пусть вас вдохновит на дальнейшее чтение этой статьи тот факт, что алгоритм оптимизации, который я вам предложу, ранее не был опубликован и удивит вас своей простотой и результативностью, ибо все самобытное просто. Итак, алгоритм оптимизации на этом этапе изложения по упрощённому до безобразия системному подходу прост:

1. Декомпозиция системы и получение многоуровневой иерархической лестницы. Исследование системы на этапе анализа (определить границы исследуемой системы, определить все надсистемы, определить основные черты и направления развития всех надсистем и роль исследуемой системы в каждой надсистеме, выявить состав системы, уточнить структуру системы, определить функции компонентов системы. выявить причины, объединяющие отдельные части в систему, в целостность, определить все возможные связи системы с внешней средой, рассмотреть систему в динамике, в развитии).
2. Определение лимитирующего уровня системы. Это самая трудная творческая часть системного анализа, которая, собственно, и является моим основным ноу – хау. Пока отмечу только, что мы используем имеющиеся кинетические данные о процессе, протекающем в технической системе, иногда приходится при ограниченности данных получать некоторые дополнительные данные о кинетике по оригинальным упрощённым методикам (чаще всего нам не нужны точные значения, а лишь тенденции их изменения).
3. Определение амплитудно – частотных характеристик собственных колебаний системы на лимитирующем уровне. Наложение внешних возмущений с близкими параметрами колебаний вызывают резонансные явления в объекте оптимизации на лимитирующем уровне. Это явление мы назвали принципом соответствия или гармонии. В дальнейшем мы используем не только гармонизацию налагаемых возмущений по колебаниям, но и по другим не менее важным параметрам.
4. Подбор в созданных нами базах данных режимно- технологических (РТ) и аппаратурно – конструктивных (АК) методов оптимизации, близких по амплитудно – частотным характеристикам к характеристикам колебаний объекта на лимитирующем уровне.
5. Проверка значимости и результативности принятых решений на физической модели или непосредственно на системе. Цель проведения этого этапа заключается в проверке выполнения поставленной задачи.

3.3. Ещё о некоторых особенностях системного подхода.

Итак, мы живём в мире систем. Это не только технические, но и биологические, политические, социальные и др. Можно считать системы способом существования окружающего нас мира. В общем случае любая система - это множество отдельных объектов со связями между ними. Преимуществом взгляда на мир с позиций системного подхода является не только возможность расширить и углубить представления о механизмах взаимодействия объектов (подсистем) в системе, изучения и, возможно, открытия ее новых свойств, но и повышение эффективности ее функционирования.

Осталось написать о системном анализе совсем немного. Прежде всего, выполню обещание подробнее рассказать о принципе соответствия (гармонии). Он, в самом деле, является фундаментальным для предложенного алгоритма оптимизации. Суть его станет сразу понятной, если снова вернуться к тому же слону, с которого я начал данную книгу. Заболел у него зуб. Ревёт слон, больно ему. Вызвали слоновьего дантиста. Он отказался даже подойти к разъярённому от боли слону, побоялся, потребовал его усыпить. Обычно спрашиваю у слушателей, куда и как ввести слону снотворное. Ясно, что инъекцией, а вот куда – в хобот – страшно, “долбануть” хоботом или бивнями может, сзади – чего доброго, хвостом достанет или ногой придавит. Задумываются слушатели… А задача простая - диаметр инъекционной иглы в десятки раз меньше, чем поперечные размеры нервов у слона. Значит, боль от укола слон просто не почувствует (вот где принцип соответствия в действии). Я мог бы привести много примеров решения конкретных задач оптимизации и коммерциализации промышленных объектов с помощью этих подходов, но, боюсь, что и так замучил техницизмами. Конечно, читать прогнозы об ожидаемых колебаниях курса доллара гораздо увлекательнее. Замечу только, что если бы мы всерьез занялись техническим перевооружением наших угробленных украинских производств с использованием изложенных выше подходов, курс доллара перестал бы колебаться, а уверенно пошел бы в нужную нам сторону в полном соответствии с системным подходом.

Теорию систем и системный анализ или системный подход все чаще используют практически в любой решаемой человеком задаче. Дело, видимо в том, что "пока лишь небольшая часть проблем, стоящих перед человечеством, поддается математической формализации и описанию на языке математики". (Н.Н.Моисеев), а системный подход в такой формализации не нуждается. Взамен, прежде всего, пытаются скрупулёзно разложить систему по полочкам, ступенькам (их называют часто уровнями иерархии). В науке любят это действие называть “декомпозицией элементов системы по вертикали” в противовес созданию композиции, например, в музыке, когда композитор синтезирует любую мелодию всего из семи нот.

Рассмотрим пример такой “иерархической ” декомпозиции на примере химико-технологической системы,

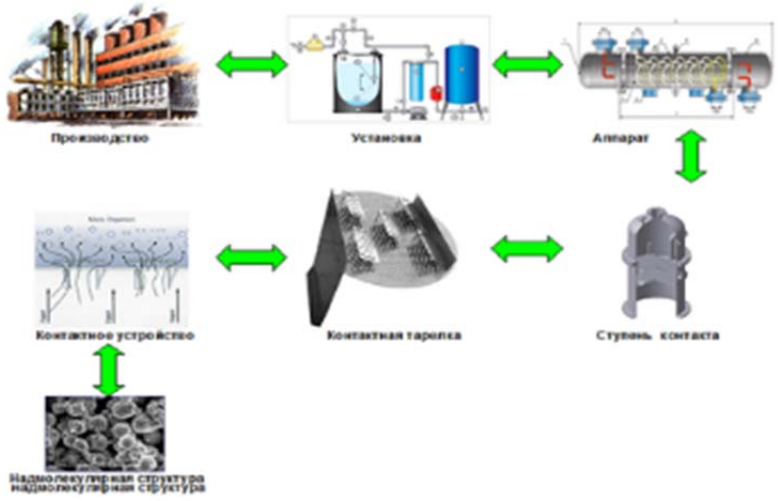


Рис.3.1. Иерархическая цепь в химическом производстве.

о которых преимущественно будет идти речь в этой книге. Ее можно представить виде цепочки (лучше вертикальной иерархической лестницы), в которой производство состоит из установок, которые в свою очередь, состоят из аппаратов различного назначения, включающих ступени контакта, состоящие из контактных терелок, обеспечивающих взаимодействие между контактирующими веществами на уровне надмолекулярных структур. Между всеми иерархическими уровнями существует прямая и обратная иерархическая связь. Поэтому каждый уровень, как уже отмечалось, как бы выступает в двух ипостасях- вышележащего уровня для уровня, расположенного ниже, и подчиненного, нижележащего – для вышерасположенного. Итак, все эти уровни тесно связаны между собой прямыми и обратными связями. И, наконец, каждый уровень имеет, по крайней мере, два характерных, определяющих для него параметра - определяющий размер и амплитуду собственных колебаний. Это важно знать для выбора методов воздействия на систему. Важно, что и здесь работает, так называемый, принцип соответствия, согласно которому амплитудно – частотные характеристики воздействия соответствуют амплитудно – частотным характеристикам собственных колебаний на обрабатываемом уровне. Тогда работают резонансные эффекты усиления колебаний. Важное замечание: не только системный анализ, но и теория принятия оптимальных решений рекомендуют использовать те или иные методы воздействия не на различных иерархических уровнях, а, прежде всего, на определяющем, лимитирующем для данной системы уровне. Определить этот уровень – наиболее сложная задача системного анализа.

Вот теперь мы уже знаем основные свойства систем и некоторые таинства системного анализа и можем определить порядок, алгоритм работы по решению задач управления системами. Повторим его ещё раз - он достаточно прост: декомпозиция систем по вертикали и по горизонтали (когда рассматриваются одновременно несколько подсистем), определение лимитирующего уровня (чаще всего методами экспертных оценок), определение амплитудно - частотных (либо других) характеристик лимитирующего уровня, подбор методов воздействия на объект на лимитирующем уровне с учётом принципа соответствия (гармонии), анализ результатов.

3.4. Анализ жизненного цикла систем. Немного об их инвестировании и макросистемах.

Кроме изложенного алгоритма, стоит разобраться с динамикой развития системы с тем, чтобы учесть и ее при выборе эффективных средств и методов воздействия на систему. Для этого целесообразно использовать анализ так называемого жизненного цикла системы.

На рис.3.2. приведена кривая жизненного цикла (левая кривая, ее участки отмечены цифрами), форма которой оказалась справедливой практически для любой системы - технической, биологической, экономической, социальной и др.

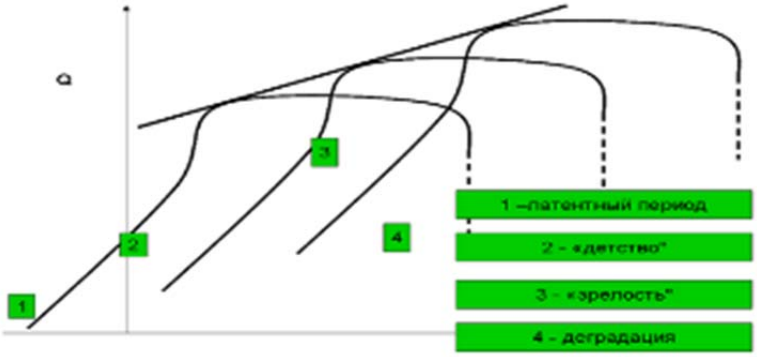


Рис.3.2. Анализ жизненного цикла системы.

Рассмотрим левую кривую. Можно четко выделить на ней 4 участка развития системы:

1. Латентный период (когда системы нет ещё в явном виде, но фактически она уже есть – к примеру, латентный период заболевания или беременности, промышленной установки ещё нет, но по ней идет проектирование, ведутся исследования и др.),
2. Детство (отрочество, юность), когда система бурно развивается, растет,
3. Зрелость, когда система успешно функционирует,
4. Деградация, смерть - печальный период жизни системы, когда она завершает свой жизненный цикл.

Не все так печально. Где-то в середине жизненного цикла (общее время существования системы) в ее недрах зарождается новая система. К примеру, у человека (а это - сложнейшая система) рождается дитя, жизнь которого развивается по тем же системным законам, по такой же линии жизни. Да, вот незадача, участок 3 у новой системы всегда расположен несколько выше, чем у первоначальной (т.е. дети почти всегда талантливее, умнее своих родителей, такова объективная реальность, которая не всем нравится). Далее процесс воспроизводства систем повторяется, и можно провести наклонную касательную линию ко всем этим кривым, которую называют линией прогресса. Чем круче эта линия, тем быстрее совершенствуется, развивается система.

Казалось бы, какое отношение имеет написанное к химико-технологическим системам. Но, ведь, мы уже договорились, что описанные зависимости жизненного цикла подходят практически для любых систем, для любых проектов. Все эти рассуждения относятся к так называемому анализу жизненного цикла системы. Оказывается, такой анализ чрезвычайно удобен при определении тактики ее развития.

1. На каждом этапе жизненного цикла существует свой набор средств и методов воздействия. Действительно, если говорить о производственном объекте , то на первом участке большое значение приобретают такие направления работы, как поиск научной - технической и патентной информации, проведение исследований, разработка регламентов, поиск партнёров и инвесторов, создание информационного поля о проекте и т.д. На втором участке - реклама, продвижение на рынок, решение комплекса вопросов по созданию собственно производства, поиск инвесторов для текущих и последующих этапов жизненного цикла. На третьем участке, когда объект уже работает, дает отдачу, прошел критическую точку бесприбыльности (см. рисунок 1.3, где приведена линия прибыли – убытков в течении жизненного цикла), после которой он начинает давать отдачу, необходимо не только поддерживать его функционирование, но и обеспечивать его эволюционное развитие, совершенствование, продление его жизни за счет рекламы, совершенствования ресурсной базы и т.д. И, наконец, на последнем печальном участке нужно обеспечить достойную смерть объекта, позаботившись о его ”наследниках”.
2. Анализ жизненного цикла позволяет менеджеру проекта - системы, независимо от их иерархического уровня, обеспечить правильную политику при подборе партнёров проекта и выборе метода инвестирования проекта и конкретных инвесторов. Менеджеры инновационных систем все ещё мечтают о том, что их инвестором явится государство. Они упорно осаждают чиновников различного уровня со своими гениальными идеями по созданию и развитию или реконструкции системы. Чиновники не скупятся на обещания инвестиций, но требуют положить на стол бизнес – план проекта. Когда такового, конечно, не оказывается, чиновник

направляет алчущего денег в прикормленную им фирму для разработки бизнес плана (средняя стоимость 3-5 тыс. долларов США, ”откат” чиновнику от фирмы – разработчика бизнес – плана – примерно половина стоимости). Дальше, обычно в конце года, увесистая стопка бизнес планов перерабатывается в красивые книжки” Инвестиционные программы того или иного города”, которыми чиновники и отбиваются от надоедливых просителей денег. Что-то не слышал ни разу, чтобы хоть по какому-то из объектов, включённых в подобную программу, дали хоть одну гривну.

.

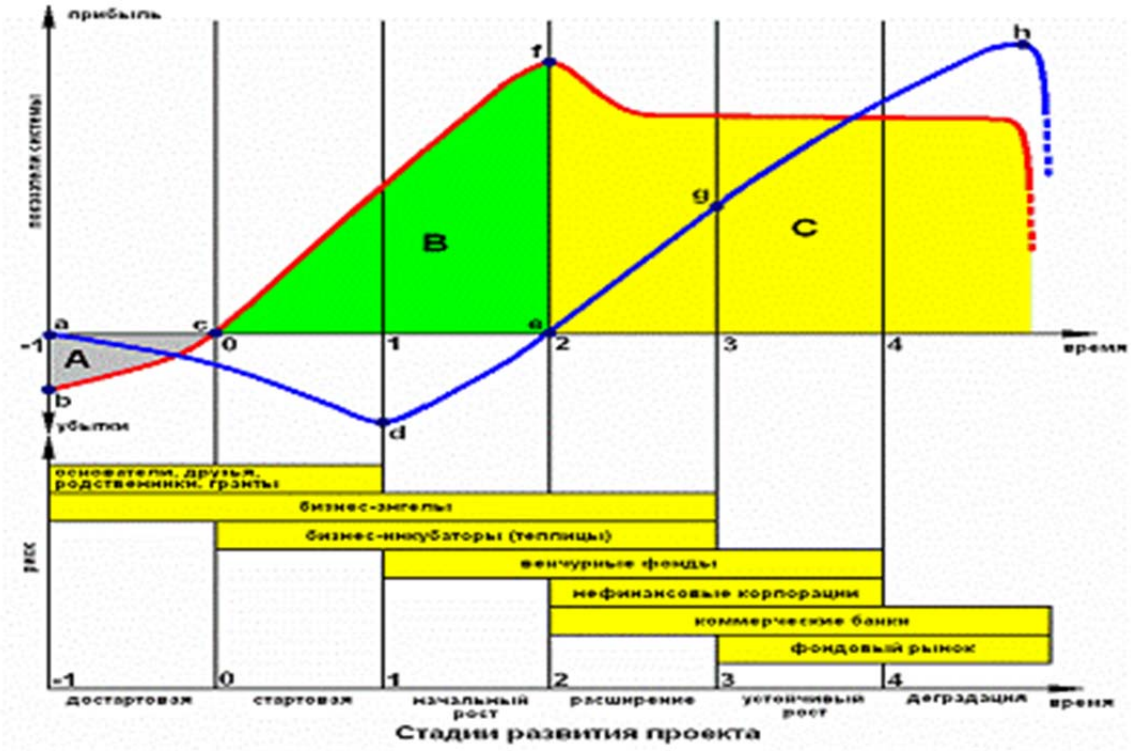


Рис.3.3. Связь жизненного цикла развития системы с финансовым обеспечением ее жизнеспособности и развития

Следует обратить внимание на то, что в латентном периоде жизненного цикла системы вплоть до точки безубыточности 2 инвестируют лишь основатели проекта – системы, друзья, бизнес ангел, внешние инвесторы, выделяя гранты, бизнес ангелы, бизнес – инкубаторы. Те финансовые структуры, которые, собственно созданы для инвестирования, предлагают свои услуги лишь тогда, когда проект уже пошёл и потребность в инвестициях существенно уменьшается, и риск по проекту становится минимальным. Вот почему интегральные мировые показатели по доле инвестирования таких инновационных проектов – систем, показанные на Рис. 3.4. (данные немецких специалистов), столь разительны.

На рис. 3.4. приведены данные о доле вкладов различных инвесторов в СМБ в мире. Прежде всего, можно обратить внимание на то, что именно из-за высокого уровня риска на первом латентном периоде жизни системы инвестиции можно ждать только от основателей проекта, друзей (и тогда очень часто дружба распадается), родственников (и тогда родственные связи зачастую быстро ослабевают или тоже распадаются). Можно обратиться за помощью к многочисленным международным организациям и попытаться “выбить” из них так называемый грант (невозвращаемые, но жестко отчетные инвестиции), если тема проекта общественно полезна и интересна почему-то грантовладельцу. Впрочем, это происходит все реже, ибо Украину во всем мире называют "грантоедом", и уровень доверия к нам существенно снизился в последние годы ввиду коррупции страны. В последние годы в мире появились новые инвесторы, так называемые

"бизнес – ангелы", которые также инвестируют в проекты в начальный период развития. Большинство бизнес-ангелов – это успешные предприниматели, имеющие значительный опыт развития собственного бизнеса. Бизнес-ангелы являются важнейшим классом, в основном внутренних инвесторов, заполняющим разрыв между первоначальными вложениями собственников компаний и последующими источниками финансирования, такими как традиционный венчурный капитал, банковское финансирование, размещё ние акций на бирже и т.д. Они получили свое имя потому, что мало кто, кроме них, решается вкладывать деньги в рисковые проекты, которые не имеют достаточного обеспечения. Как видно из рис.1.4, их доля среди инвесторов достаточно высока сегодня в мире, но не в Украине. В нашей стране они только начинают появляться.

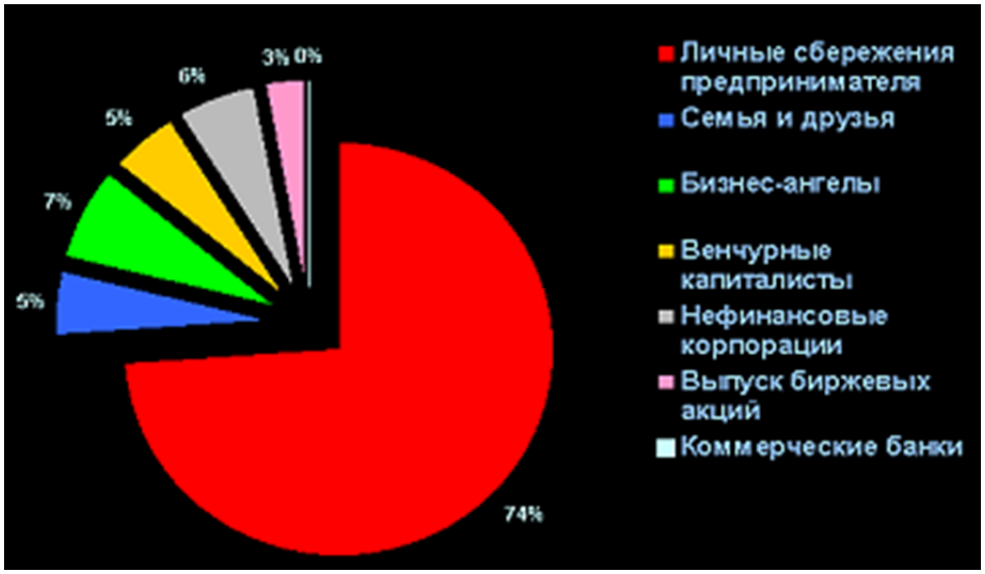


Рис. 3.4. Доля вклада различных инвестиций в развитие систем

Посмотрите информацию о развитии сетей бизнес – ангелов в Украине. Уверяю, вы узнаете много нового и поймёте, чем, в первую очередь, нужно заниматься сегодня всем нам и, главное, власти для преодоления кризиса. Иерархическую лестницу уровней подсистем можно продолжать на разумную величину вверх и вниз. Если вниз значительно увеличить количество иерархических ступеней не удастся (в лучшем случае придётся ограничиться уровнем надмолекулярных структур или молекулярным), то вверх можно расширить анализ жизненного цикла и на глобальные межгосударственные системы, если в этом появится необходимость.

Табл. 3.1. Свойства систем на различных иерархических уровнях.

Элементы системы	Свойства элементов	Факторы влияния	Субъекты влияния	Оценка воздействия	Ключевые позиции
Украина	Потенциал в мире	Концепция Устойчивого Развития	Политики Законодатели	Индексы устойчивого развития	КУР Гармония Власть народа
Ресурсы	Качество Объемы	Программы использов.	Исполнит. Власть	Эффективн. Использования	Энерг. Труд. Матер. Интел.
Народное хозяйство	Экономич.	Бюджет Рыночн.м-мы	Топ-Менеджеры	Статистические показатели	Инд-аграрный Симбиоз
Предприятие	Экономич. Экологич.	Прибыль Конкуренция	Менеджеры	Уровень техники	Рециркуляция
Производство	Экономич. Экологич.	Технология Оборудован	Специалисты: техн., экон.	Техн.-эконом. показатели	Локальная очистка
Установка	Экономич.	Технология Оборудование	Технологи Механики	Технические Показатели	Модульность Гибкость
Оборудование	Интенсивн. Эффективн.	РТ и АК методы	Механики	Эффективн. Энергопотр.	Адаптивность
Элементы оборудов.	Прочность Надежность	РТ и АК методы	Механики	Долговечность надежность	Материалоемкость Трудоемкость
МУ	Кинетич. Характерист.	Темп. Давл. Катал. Совм..	Физики Химики	Кинетика Термодинам..	Наиболее результативн

Нельзя не обратить внимания на то, что иерархия соблюдается не только в левом столбце, где, как всегда, отражены иерархические уровни иерархии самой системы, но и во всех столбцах справа.

Одной из наиболее важных проблем системологии является определение форм и методов передачи информации от одних подсистем к другим, характера координации низших уровней системы со стороны элементов более высоких уровней и количественных характеристик степени их воздействия друг на друга.

При проведении исследований новых методов интенсификации на различных ступенях иерархии ХТС учитывалось, что не только объект исследования, но и сам процесс исследования выступают как сложная система, задача которой, в частности, состоит в соединении в единое целое различных моделей исследуемого объекта.

Для решения вопросов локальной оптимизации отдельных процессов необходимо глубокое проникновение в физико-химическую сущность функционирования каждого элемента системы не каждом уровне. Наряду с этим обеспечение оптимального взаимодействия элементов ХТС и соответствие условий проведения процессов на различных уровнях иерархии оптимальным условиям функционирования всей ХТС является одной из основных общесистемных задач. ХТС обычно рассматривают как совокупность взаимосвязанных технологическими потоками и действующих как одно целое аппаратов, в которых осуществляется определённая последовательность технологических операций. При таком подходе из рассмотрения, однако, исключается широкий круг задач оптимизации ХТС для тех случаев, когда в аппаратах одновременно осуществляются параллельные химические реакции, или совмещённые реакционно-массообменные процессы. Между тем, использование некоторых методов интенсификации, в частности совмещение химических процессов с противоположными тепловыми эффектами и организация совмещённых реакционно-массообменных процессов, как показано ниже, во многих

случаях позволяют упростить ХТС и по-новому сформулировать задачу ее оптимизации ввиду необходимости учета взаимного влияния синергически совмещённых процессов. В связи с этим в дальнейшем под ХТС будем понимать совокупность взаимосвязанных технологическими потоками аппаратов, где последовательно или параллельно (одновременно) происходят технологические операции обработки реагентов.

Ввиду сложности, разветвлённости ХТС целесообразно провести декомпозицию по горизонтали н рассматривать ХТС как совокупность подсистем элементарных технологических процессов (ЭТП) (ректификация, теплообмен, экстракция и т.п.) и по вертикали, рассматривая процессы на различных уровнях иерархии: I — молекулярном (М), II — контактного устройства (КУ), III — контактной ступени (КС) и, наконец, IV — аппарата (А) Вся ХТС в целом представляет собой V уровень.

Рассмотрим вопрос соответствия объекта «ХТС» понятию «система» Для отнесения ХТС к техническим системам она должна обладать (и обладает) следующими основными свойствами: должна быть одновременно целостной и декомпозируемой на составляющие элементы, иметь устойчивые связи между элементами или (и) их свойствами, превосходящие по силе связи с элементами, не входящими в систему (связи характеризуются физическим наполнением, направленностью, мощностью, оцениваемой коэффициентом чувствительности и ролью в системе); иметь определенную организацию, проявляющуюся в снижении энтропии системы Н (S) в сравнении с суммой энтропий системообразующих факторов Н (F):

$$H(S)<H(F)<K^{-1} \ln na\gamma blt, \qquad (3.1)$$

где К = 1,38 $Ю^{-16}$ эрг , $К^{-1}$ — постоянная Больцмана; n — число элементов системы; а — число свойств элемента; у — число существенных связей, которыми может обладать элемент; b—число системозначных свойств связей; l — число квантов пространства; t — число квантов времени. ХТС должна иметь интегративные качества, присущие системе в целом, но не присущие ее элементам в отдельности.

Структуру ХТС характеризует устойчивая упорядоченность в пространстве и во времени элементов и связей системы, В пространстве различают плоские и объёмные, рассредоточенные и сосредоточенные структуры. Во времени —экстенсивные структуры, когда происходит рост числа элементов системы во времени, и интенсивные, когда количество элементов не изменяется, а растёт число и мощность связей между ними.

Согласно общепринятому в системотехнике определению “элемент системы” — это часть системы, выполняющая определённое функциональное назначение и не подлежащая дальнейшему расчленению без потери способности выполнять это функциональное назначение. Поэтому элемент рассматривают как условно неделимую часть.

3.5. Место ХТС в общей классификации систем с позиций системотехники.

По субстанциональному признаку системы подразделяют на три класса: естественные, концептуальные, или идеальные, и искусственные. ХТС относится к последнему классу систем, созданных человеком.

По сложности, т. е. в зависимости от числа элементов и связей между системами, а также сложности технологических процессов, ХТС могут быть отнесены как к «простым», так и к «сложным» и даже «очень сложным» системам.

По степени организованности различают казуальные (определяемые причинно- следственными связями и целенаправленные (способные к выберу -сведения в зависимости от внутренне присущей цели) системы.

По характеру функций различают специализированные, многофункциональные и универсальные системы. Рассматриваемые ХТС могут быть как специализированными, так и многофункциональными (тогда их следует называть «гибкими технологическими системами» — ГТС). Кроме того, ХТС могут быть универсальными, если при их создании заложена способность к трансформации структуры в зависимости от назначения.

Для системного подхода характерны принципы системности, т. е. принадлежности к одной из форм познания, связанной с исследованием и созданием объектов как систем; иерархичности познания, требующей трёхуровневого изучения предмета (собственно предмета, его же — как элемента вышестоящей системы и, наконец, его же — как части нижестоящего уровня иерархии); интеграции как направленности на изучение интегративных свойств и закономерностей систем, раскрытия механизмов интеграции целого; формализации, т. е. нацеленности на получение количественных характеристик, получение не концепций, а конструктивных методов анализа, синтеза и оптимизации систем.

Последнее характерно для системного анализа, являющегося сегодня технологией системного подхода. Основой системного анализа является построение математических моделей, позволяющее получить количественную оценку различных свойств, характеристик и факторов, Важной особенностью традиционного системного анализа является широкое использование вычислительной техники.

Работы по синтезу оптимальной ХТС целесообразно начинать на I иерархическом (молекулярном) уровне, когда определяют наиболее удачный вариант синтеза, кинетические особенности химического процесса, возможность синергичного совмещения химических стадий с тепломассообменными и взаимное влияние совмещённых процессов. Изучение этих процессов позволяет в первом приближении с использованием методов функциональной декомпозиции и эвристических принципов синтеза наметить вариант ХТС, пригодный для создания опытной установки (ХТС ОУ). Следует сразу заметить, что этот этап синтеза оптимальной ХТС не всегда удается формализовать с использованием современного математического аппарата, и результат во многом определяется опытом, техническим кругозором, интуицией разработчиков,

Анализ процессов на II — IV уровнях позволяет выявить лимитирующие стадии и сформулировать основные требования к конструкционным и технологическим параметрам ХТС, а также определить целесообразность использования тех или иных методов повышения качества их функционирования.

Итак, на I этапе синтеза оптимальной ХТС проводят декомпозицию создаваемой ХТС по горизонтали на ЭТП и по вертикали на подуровни, соответствующие различному масштабу объекта, а также анализ процессов па различных уровнях с целью выявления лимитирующих уровней и стадий процесса.

Дальнейшую работу проводят преимущественно на этих лимитирующих уровнях — определяют возможность уменьшения размерности ХТС, т. е, уменьшения количества подсистем по горизонтали путём, например, исключения или направленного совмещения отдельных ЭТП. На молекулярном уровне эвристический синтез неотделим от анализа ХТС и исследовании ЭТП на физических моделях, на которых изучают взаимное влияние совмещаемых процессов, определяют наиболее целесообразные методы интенсификации ЭТП на лимитирующих уровнях.

Такой комплексный подход к синтезу ХТС, базирующийся на принципах системного анализа опирающийся на единство технологии и аппаратурного оформления процессов, гибкое сочетание аналитических методов с экспериментальными и эвристическими, позволил выработать общую стратегию, включающую следующие основные этапы: декомпозиция задачи синтеза ХТС на подзадачи синтеза предварительного ее варианта, пригодного для создания опытной установки и получения математической модели (ХТС ОУ),— первый этап; синтез проектируемой ХТС — второй этап; идентификация модели и обеспечение эффективности функционирования ХТС — третий этап, В рамках решения конкретных задач синтеза эти основные этапы нашли различные практические воплощения. К примеру, для ХТС, предназначенных для получения особо чистых веществ, алгоритм процесса синтеза систем, разработанный и, в ряде случаев, реализованный нами, имеет следующий вид:

1. декомпозиция задачи синтеза оптимальной ХТС на подзадачу обеспечения качества получаемого продукта (подзадача 1) и подзадачу обеспечения максимальной производительности ХТС при заданных ограничениях по качеству производимого продукта (подзадача 2);
2. проведение исследований макрокинетики процессов химической реакции и массообмена в лабораторных условиях;
3. получение аналитическим путем математической модели основного реакционно-массообменного аппарата;
4. введение в математическую модель корректировочных выражений, учитывающих взаимосвязь и взаимовлияние процессов химической реакции и массообмена;
5. синтез оптимальной технологической топологии ХТС, обеспечивающей необходимое качество;
6. создание опытно-промышленного реакционно- массообменного аппарата, физически моделирующего одну секцию основного аппарата;
7. проведение эксперимента на опытно-промышленном аппарате и определение по данным эксперимента значений коэффициентов в выражениях, учитывающих совмещение процессов химической реакции и массообмена;
8. определение с помощью скорректированной модели оптимальных технологических режимов и конструктивных размеров основного аппарата.

К сожалению, все реже появляются принципиально новые химико-технологические процессы, и в последнее время внимание разработчиков обращено на синтез высокоэффективных ХТС путем логического соединения уже известных элементарных процессов. Однако, в подавляющем большинстве случаев образующиеся при этом ХТС далеко не соответствуют современным требованиям.

Контрольные вопросы по 3 главе.

1. Почему для пояснения принципа соответствия автор снова использовал аналогию с лечением слона, у которого заболел зуб?
2. Можно ли воспользоваться системным подходом без стадии математического моделирования?
3. Алгоритм оптимизации системы на основании системного подхода.
4. Иерархическая декомпозиция типовой химико-технологической системы (можно на примере установки ректификации).

5. Жизненный цикл системы. Назовите участки цикла. Почему линия жизненного цикла начинается не в нулевой точке?
6. Охарактеризуйте латентный период цикла для технической и биологической системы.
7. Почему дети должны быть всегда умнее своих родителей? Для ответа используйте кривую жизненного цикла.
8. Что это за точка безубыточности на линии жизненного цикла? Можно ли управлять ее положением?
9. Где находится линия прогресса на графике жизненного цикла систем?
10. Методы управления жизненным циклом на его различных участках.
11. Поэтапное инвестирование жизненного цикла систем. Инвесторы по каждому этапу цикла.
12. Алгоритм синтеза ХТС для производства особочистых веществ.

Литература

1. Балашов М.И. Физико-химические основы и технологические принципы организации реакционно-ректификационных процессов. Автореф. Дис. докт. техн. наук. -М.-1980 - 46 с.
2. Майков В.П. Методика сравнения эффективности контактных массообменных устройств. - Теор.осн.хим.техн., 1972, т.6, №2, с.269.
3. Федоткин И. М., Жарин Б. Н., Погоржельскин Б.Н. Интенсификация технологических процессов пищевых производств.— Киев : Техніка, 1984. I76 с.
4. Химико-технологические системы. Синтез, оптимизация и управление. Под ред.
5. И. П. Мухленова.— Л, : Химия, 1986.— 424 с.
6. Эмануэль Н. М., Кнорре Д, Курс химической кинетики. М. : Высш. шк., 1974— 395 с.
7. Николаев Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979. 512 с.
8. Задорский В. М. Интенсификация газожидкостных процессов в химической технологии, — Киев: Техника, 1979. — 198 с,
9. Задорский В. М., Фокин А. П., Яковенко М. М. К вопросу оптимального конструирования оборудования для технологических процессов получения химических реактивов. // Тр ИРЕА, выпуск 44, —М., 1982, — С. 185—200.
10. Кантарджян С. Л. Экономические проблемы оптимизации химико-
11. технологических процессов, — М. : Химия, 1980,— 119 с.
12. Рамм В. М, Абсорбция газов. — М. : Химия, 1976,— 656 с,
13. Розовский А.Я. Гетерогенные химические реакции, М, Наука, 1980.— 323 с,
14. Системное проектирование химико-технологических комплексов / Г. А, Статюха, И, М, Кисиль, И. И. Браславский; Под ред. И, Д. Зайцева. — К, : Техніка, 1983,— 120 с,
15. Кардашев Г. А., Михайлов П. Е. Тепломассообменные акустические
16. процессы и аппараты.— М. : Машиностроение, 1973,—223 с.
17. Мандельштам Л. И.Лекции по колебаниям. М.Изд-во АН СССР, 1955.503 с.
18. Задорский В. М. Интенсификация газожидкостных процессов в химической технологии, — Киев: Техника, 1979. — 198 с,
19. З а д о р с к и й В. М. Синергия в инженерной химии. Средства и методы. Просто о сложном. 2016. Palmarium Academic Publishing/ Germany/ с. 398

Глава 4. Принцип гармонии систем. Синергия. Бизнес – аспекты.

4.1. Общие сведения о синергии. Все началось с Мессинга.

Почти каждый из нас что-то коллекционирует, таково свойство натуры человеческой. Один копит деньги и уже не знает, зачем ему их столько, но продолжает набивать карманы, другой кичится многочисленными победами над женщинами, копит яхты, машины, банки, недвижимость, третий довольствуется собиранием крышечек от пивных бутылок, четвертый… Ладно, ясно к чему я клоню. Я коллекционирую знакомства с интересными людьми, встречи с ними. В моей памяти - сотни таких людей и встреч. Среди них - учёные, поэты, артисты, политики, философы, министры, общественные деятели, бизнесмены, даже чемпион Европы среди барменов есть (между прочим, мой бывший аспирант). Когда – нибудь, видимо совсем скоро, я найду в себе силы оставить работу профессора университета, которой я отдал уже пол – века и напишу об интересных людях и встречах с ними, по примеру незнакомого нынешней молодежи классика эпохи сталинизма Ильи Эренбурга. А пока дополню расскажу о встрече с интереснейшим человеком Вольфом Мессингом и однодневном общении с ним.

Было это в Казахстане, в г.Темиртау, где я начинал свою трудовую деятельность. Почему-то меня, никогда не отличавшегося особой активностью в пионерах и в комсомольцах тоже, выбрали председателем Совета молодых специалистов (нас было много, примерно 150, на пусковом первом в Казахстане заводе синтетического каучука) и по совместительству капитаном первой казахской команды КВН. Резвились мы от души, проводили много массовых мероприятий. Поэтому я не удивился просьбе городских властей организовать творческий вечер – встречу с Вольфом Мессингом. Гость пришёл заранее ко мне в кабинет, чтобы, как он сказал, подготовиться к творческой встрече, хлебнув местного воздуха. Беседовали мы с ним часа три – четыре. Хочу еще дорассказать вам о некоторых моментах этой встречи, имеющих прямое отношение к специальности механика.

Первое, что меня удивило, Вольф Мессинг, внимательно посмотрев на меня, сказал, что я случайный человек на этом заводе (хотя я, вроде бы, очень активно продвигался по служебной лестнице) и не моё это дело, ибо я должен стать творческим наследником моего отца (отец был, как многие тогда говорили, учителем от бога, директором старейшей в городе школы, находившейся в самом хулиганском заводском районе). Многие из его бывших учеников - босяков до сих пор позванивают мне на его юбилеи, а двое из них оставили след своей любви к моему отцу на моей руке (немного порезали вечером в парке, а, узнав во мне сына своего директора, очень горевали о ”недоразумении”, перевязали и даже отвезли в травматологию. Так вот, Вольф Мессинг напророчил мне педагогическую деятельность, и моя жизнь подтвердила это его пророчество.

А дальше разговор пошёл совершенно не в ожидаемом мной направлении. Гость вдруг посмотрел своими какими-то неземными, так мне показалось, глазами куда-то глубоко в мои глаза и сказал, что я могу пойти по его пути, но он мне не советует этого делать, ибо не будет в моей жизни счастья от этого. Он спросил, часто ли я читаю мысли людей (был у меня такой грех, да и сейчас знаю почти все, что думает моя жена и могу говорить с ней, не произнеся ни слова), были ли у меня случаи предугадывания каких-то событий. Были, конечно, тогда, и я сказал ему об этом. Правда, в последние годы эта моя способность часто оборачивается ко мне боком. К примеру, я абсолютно на подсознании вкладывал все свои небольшие сбережения в банки, которые в скором времени обязательно лопались. Ребята на кафедре шутили даже, что я могу основать новую

профессию – делать банки банкротами по заказу конкурентов, вкладывая на счёт в них самую мизерную сумму.

И тут, самое главное, он сказал, что я могу прожить интересную жизнь и порекомендовал мне удариться в поиск нестандартных инновационных решений, учитывая мои особенности и профессию. Наверное, здесь он не ошибся, в чем я убедился, не только создав несколько сотен изобретений и патентов, но и после знакомства с другим, очень интересным человеком, автором знаменитой Теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) Генрихом Альтшуллером (люди постарше помнят его с детства как самобытного детского писателя Генриха Альтова, почему - то оказавшегося в бакинской тюрьме, и написавшего там свои великолепные книги по творчеству). Но о нем в этой книге расскажу позже, а творческая встреча темиртаусцев с Вольфом Мессингом таки была мною организована и прошла великолепно. Рассказываю обо всем этом не для того, чтобы похвастаться интересными знакомыми и встречами, а совсем для другой цели, имеющей прямое отношение к теме книги. Дело в том, что, сам того не ведая, Мессинг открыл для меня основной закон тогда еще мало известной науки, которая лишь через несколько лет очаровала многих ученых и получила название синергетики ли синергии, как уж больше нравится.

Вот как это случилось. Спросил меня Мессинг, чем конкретно занимаюсь я, механик производства, на заводе. Ответил ему, что ремонтирую оборудование. Иногда реконструирую с целью совершенствования. А дальше разговор пошёл в странном направлении:

М. А заменять исправным или новым не пробовали?
Я. Нечем, да и крупное оно, оборудование бывает.
М. А с непригодными деталями что делаете?
Я. Меняем, если есть чем, или ремонтируем. Часто приходится новые изготавливать.
М. А подходящий материал где для них берете?
Я. Да в мехцехе много материала валяется, подбирают ребята подходящий.

А дальше разговор пошёл странно.

М. Как подбирают ? Анализируют что ли?
Я. Нет. Интуитивно…
М. А как насчет гармонии детали с теми деталями, с которыми новой придется работать вместе? Может, с материалом не угадали? Беда может быть…

Удивился проницательности гостя, что-то сократовское было в его вопросах. И тогда честно рассказал ему о двух случаях из практики, подтверждающих обоснованность его опасений.

Случай 1. Был в одном из моих цехов (производство синтетического каучука) сырьевой насос, доставлявший механикам много забот - был там слабый узел – уплотнение вращающегося вала. Из него довольно часто начинал рекой литься мономер – стирол, отличающийся токсичностью (печеночный яд). При очередной аварии послал самого сильного (по прозвищу ”амбал”) и знающего слесаря, который перестарался и, затягивая так называемую уплотнительную “грундбуксу“, отломил от нее кусок. Пришлось в мехцехе вытачивать новую. Там не сильно раздумывали, взяли первый попавшийся кусок металла, и через час насос восстановили. Запустили, разъехались по домам (аврал был ночью). Но уже через пару часов, еще затемно нас вновь диспетчерские машины собрали вместе - из-за злополучного насоса случился пожар в цехе, к счастью без жертв, и с небольшим ущербом. Причина оказалась простой - ремонтники не

общались с Вольфом Мессингом и ничего не знали о необходимости гармонии материала злополучной неподвижной нажимной грундбуксы, охватывающей вращающийся вал насоса. Оказалось что новая неподвижная деталь была сделана из того же материала (сталь), что и вал, который она охватывала. Опытные механики знают, что нет и не может быть гармонии между двумя сопряженными деталями, из которых одна вращается, а вторая – неподвижна, если они сделаны из одинакового материала (возникают задиры, из-за высокого трения поднимается температура в зоне трения – вот и произошло загорание стирола в зоне трения, а затем – пожар в цехе). Сделали новую деталь из чугуна – он мягче стали, да и к трению спокойнее относится, и пожаров больше не было.

Случай 2. позже история, описанная в случае 1, имела продолжение. Решил модернизировать злополучный насос, реализовав появившийся тогда в новой бытовой электронике у японцев принцип ”защиты от дурака” (у нас чаще его называли “болваноустойчивостью”). Разработал новое тогда, так называемое, ”торцовое уплотнение” и заменил им старое уплотнение насоса. И снова пришлось вспомнить Мессинга. Оказалась в новой конструкции уплотнения одна маленькая зловредная деталь – резиновое уплотнительное кольцо на валу, материал которого никак не “гармонировал” с условиями его работы (вследствие разбухания любой марки резины при высокой температуре в среде стирола уплотнение работало всего 3-4 дня). Пришлось долго возиться и придумать, дабы обеспечить мессинговскую гармонию, новый композитный материал, добавив в сырой каучук в качестве наполнителя порошок самого инертного, теплостойкого полимера с низким коэффициентом трения - тефлона. Гармония оказалась обеспеченной, решение оказалось успешным.

Это было мое первое погружение, пока неглубокое, в глубины новой науки о гармонии в мире техники, которую почему-то назвали “синергией”, а часто и “синергетикой” (смысловое различие между этими двумя названиями уловить достаточно сложно).

4.2. Императив технологического преобразования экономики. Синергия как инструмент совершенствования систем.

Долго думал над алгоритмом развития Украины с учетом успешных результатов технологического совершенствования реальной экномики (т.е промышленного производства) других, более успешных, чем Украина, стран, не забывая и о своих некоторых успехах И вот, что я придумал, и что будет дальше в этом учебном пособии по теории технических систем и их оптимизации генеральной линией, от которой постараюсь не отклоняться.

Основной стратегической задачей Украины представляется реализация концепции устойчивого развития страны и технологического преобразования ее экономики путем синергичного решения экологических, экономических и социальных проблем за счет ориентации на развитие среднего и малого бизнеса, использования высокого инновационного потенциала и рыночных механизмов хозяйствования на базе системного анализа, проектного менеджмента и современных информационных технологий.

Фраза короткая, всего лишь одно предложение, но в нее я постарался включить все аспекты, стратегические и тактические, которые позволят на основе современных научных подходов с учетом опыта ученых и специалистов других стран, обеспечить восстановление и устойчивое развитие нашей страны. Советую сделать этот абзац своим императивом (что это значит, посмотрите в Википедии) и постараться реализовать его не только при обучении в университете, но и в практической деятельности после его окончания.

4.3. Что такое синергетика?

Автором термина «синергетика" является Ричард Бакминстер Фуллер — известный дизайнер, архитектор и изобретатель из США. Определение термина "синергетика", близкое к современному пониманию, ввёл Герман Хакен в 1977 году в своей книге "Синергетика". Удачное слово "синергетика", с легкой руки Германа Хакена, в 70-х годах быстро завоевало популярность. Сначала в него вкладывали простой и ясный смысл. Синергетика – это теория самоорганизации в системах различной природы. Она имеет дело с явлениями и процессами, в результате которых у системы – у целого – могут появиться свойства, которыми не обладает ни одна из частей.

Чем подход синергетики отличается "от того, что было раньше"? Ньютон, Лаплас, классики эпохи Просвещения смотрели на мир "с позиции Господа Бога". Это, с одной стороны, вера в глубину и совершенство замысла Творца и надежда, что простые универсальные законы существуют, познаваемы, а их использование будет исключительно полезным. Это вера в торжество разума, – как бы ни были сложны уравнения, следующие из этих законов, сколько бы их ни было, их удастся решить. Это глобальный детерминизм – уверенность в том, что можно, решив уравнения, заглянуть как угодно далеко в будущее и в прошлое.

Времени с тех пор минуло много. И на новом витке развития науки эти идеи и представления возродились в связи с быстрым ростом возможностей компьютеров. Но пределы обнаружились. И довольно быстро.

Синергетика предлагает новое видение, новые способы упрощать реальность. Эта "новая простота" помогает не "утонуть" в деталях и порой выглядит достаточно необычно. Например задачи и подходы "синергетической экономики" или "рефлексивной теории управления" кажутся странными и парадоксальными, с точки зрения традиционных подходов. Но именно эти синергетические подходы гораздо ближе к описанию многих явлений в новой реальности – глобальных финансовых кризисов, роста "новой экономики" (knowledge-based economy, как ее называют наши англоязычные коллеги). Поэтому, вероятно, нынешнему этапу развития синергетики созвучны образы и мировидение импрессионизма. Здесь и обостренное внимание к целому, к тому, что делает его большим, чем сумма слагающих его частей. Здесь и новое отношение к вечному и преходящему, акцент на переходных, переломных, ускользающих от неспешного наблюдения моментах. Это новые краски, образы. Из непохожести, уникальности здесь рождается волнующая гармония целого. Ощущение новизны, парадокса, удачи, характерное для О. Ренуара, ряда импрессионистов, типично и для "синергиков".

Синергия решила множество задач, в которых понято, каковы эти параметры для различных физических, химических или биологических систем, как искать связи между этими параметрами, как "на пальцах" пояснить происходящее, не выписывая каких-либо уравнений.

Однако, странно, что ученые мира до сих пор не пришли к единой терминологии, отражающей задачи и возможности этой сравнительно новой, развивающейся науки.

Смотрите сами. Гуманитарии говорят о синергизме (от греч. synergía — сотрудничество, содействие) - как о совместном и однородном функционировании органов (например, мышц) и систем. Медики также говорят при этом о комбинированном действии лекарственных веществ на организм… Вариант реакции организма на комбинированное воздействие двух или нескольких лекарственных веществ, характеризующийся тем, что совокупное действие лекарств превышает действие, оказываемое каждым лекарством в отдельности - то же, что синергия.

Технократы чаще отмечают, что синергия - прикладной инструмент для всего, что они вытворяют с объектами их деятельности.

Ну, а ученый люд – те любят обобщать, немного изменили термин и заявляют, что синергетика - теория и наука в современной жизни. И этимологию этого научного термина они дают несколько иную. Слово “СИНЕРГЕТИКА” по их мнению переводится как "энергия совместного действия" (от греч. «син» — «со-», «совместно» и «эргос» — «действие»). И этот термин чаще всего расшифровывают так: синергетика — созданное профессором Штутгартского университета Германом Хакеном междисциплинарное направление, которое занимается изучением систем, состоящих из многих подсистем различной природы (электронов, атомов, молекул, клеток, нейронов, механических элементов, органов животных, людей, транспортных средств и т.д.), и выявлением того, каким образом взаимодействие таких подсистем приводит к возникновению пространственных, временных или пространственно-временных структур в макроскопическом масштабе. Не правда ли, красиво, мудрено, но, видимо, правильно.

А другие ученые часто определяют синергетику как науку о самоорганизации. Последнее означает самопроизвольное усложнение формы, или в более общем случае структуры системы при медленном и плавном изменении ее параметров (ячейки Бенара). Можно дать третье определение: синергетика — наука о неожиданных явлениях. Это определение не противоречит, а скорее дополняет предыдущие. Действительно, все перечисленные явления на первый взгляд неожиданны. К примеру, при автоколебаниях: ритмический режим появляется "вдруг" при медленном плавном и монотонном изменении параметров. Можно сказать, что любое качественное изменение состояния системы (или режима ее работы) производит впечатление неожиданного. При более детальном анализе выясняется, конечно, что ничего "неожиданного" в этом нет. "Причиной" неожиданного, как правило, оказывается неустойчивость.

Синергетика представляет собой новую обобщающую науку, изучающую основные законы самоорганизации сложных систем. В нее входят такие области как нелинейная динамика, хаос, фракталы, катастрофы, бифуркации, волны, солитоны, полевые эффекты и т.д. Растущая в наше дни популярность синергетики объясняется тем, что она становится языком междисциплинарного общения, на котором могут друг друга понять математики, физики, химик, биологи, психологи и др.

Синергетика – развивающаяся наука. Мне показались чрезвычайно интересными и перспективными работы по ее равзитию, выполняемые школой Г.Г.Малинецкого. В последние годы эта школа выработала такие понятия, как русла, с помощью которых даже сложные удается описывать просто. И тут синергетика имеет и методы, и подходы, и успехи, и образцы для подражания. Но реальность может быть устроена и более сложно, с чем мы регулярно сталкиваемся. Русло кончается, (определить когда это происходит – отдельная важная задача) и число переменных, которые определяют ход процесса, быстро растет, горизонт прогноза уменьшается, мы не можем "просчитать ситуацию", появляется возможность резких изменений. Такие области в фазовом пространстве современная синергетика названы областями джокеров, а сами правила, по которым начинает вести себя система, – джокерами. Новой наукой за недолгое время ее существования накоплен огромный опыт упрощения и выделения главного. Синергетика помогла подойти к системному синтезу как к одной из важнейших черт живых систем, нашего сознания. Она поставила вопрос – как происходит этот важнейший процесс самоорганизации в пространстве признаков, возможностей, степеней свободы? Чудо, пока не доступное компьютерам, состоит в том, что человек может почувствовать или осознать, "нравится" ему что-то или нет. По-

видимому, интересно было бы понять, существуют ли универсальные методы системного синтеза, "подсмотреть" их у природы и далее использовать в компьютерных системах.

Синергетика уже научилась в простых ситуациях выделять параметры порядка и искать "русла" и учится сейчас работать с джокерами, с механизмами перехода от одних русел к другим. Готовых универсальных рецептов тут пока нет и их надо искать. Человек – замечательное существо, умеющее оперировать нечеткими, размытыми множествами. Но иногда в социальных системах это приводит к плачевным результатам.

Можно предположить, что одной из задач постсинергетики станет междисциплинарный анализ нашего незнания и целей, которые мы можем себе ставить. Поразительно, что до сих пор внимание практически не уделяется ключевой научной проблеме — осмыслению фундаментальной научной стратегии, ответам на вопрос, что мы можем, хотим, должны узнать. Какую цену мы готовы за это заплатить и как это изменит наш мир. Причем ценностный аспект здесь будет представляться не менее важным, чем целевой.

И, все же для студента важнее понять более простые вещи и обстоятельства практического использования синергетики в практике инженерной и другой деятельности. В этой связи на вопрос: "Что такое синергетика?" можно дать несколько ответов. Во-первых, буквальный. Речь пойдет о явлениях, которые возникают от совместного действия нескольких разных факторов, в то время как каждый фактор в отдельности к этому явлению не приводит. Например, каждый из факторов качества жизни, как и самого процесса жизни, имеет долю в суммарном процессе, а сама жизнь не может быть явлением разрозненных процессов и явлений, проявляя синергизм совместно взаимодействующих протекающих явлений и процессов на системном уровне — в процессе системогенеза; соединение (синергизм) двух и более кусков радиоактивного материала, при превышении критической массы в сумме дают выделение энергии, превосходящее излучение энергии простого суммирования отдельных кусков; знания и усилия нескольких человек могут организовываться таким образом, что они взаимно усиливаются; прибыль после слияния двух компаний может превосходить сумму прибылей этих компаний до объединения; каждый из факторов качества жизни, как и самого процесса жизни, имеет долю в суммарном процессе, а сама жизнь не может быть явлением разрозненных процессов и явлений, проявляя синерги́зм совместно взаимодействующих протекающих явлений и процессов на системном уровне — в процессе системогенеза; соединение (взаимодействие — синерги́зм) двух и более кусков радиоактивного материала, при превышении критической массы, в сумме дают выделение энергии превосходящее излучение энергии простого суммирования отдельных кусков; знания и усилия нескольких человек могут организовываться таким образом, что они взаимно усиливаются. Приблизительно об этом же говорит и второе понятие сверхаддитивный эффект — это положение вещей, обычно передаваемое фразой «целое больше суммы отдельных частей» (1+1=2x, где x>1); прибыль после слияния двух компаний может превосходить сумму прибылей этих компаний до объединения; целое больше простой суммы своих частей (Аристотель).

Под синерги́змом в биологии понимается совместное и однородное функционирование органов (например, мышц синергистов) и/или систем.

Под синерги́змом в медицине понимается комбинированное действие лекарственных веществ на организм, при котором суммированный эффект превышает действие, оказываемое каждым компонентом в отдельности.

Итак, наиболее часто используемое определение термина “Синергия” или “Синергизм” (В. - от греч. συνεργία Synergos — (syn) вместе (ergos) действующий, действие) — это взаимодействие двух или более факторов, характеризующееся тем, что их действие существенно превосходит эффект каждого отдельного компонента в виде их простой суммы. Впрочем, говорят, ничто не ново под луною. Еще Аристотель отмечал, что целое больше простой суммы своих частей. Как уже отмечалось, в технике к синергии близки понятия “эмерджентность”,”интерэктность”. В окружающем нас мире мы наблюдаем многочисленные подтверждения этому определению.

Из трех упомянутых выше терминов – названий рассматриваемой в этой главе пособия науки мне больше по душе именно термин ”синергия” , так как именно им чаще пользуются в инженерной среде – сфере практического использования этой науки. Предложил я и несколько иное определение и другой смысл для термина синергия - нет – нет, не принцип соответствия, а именно синергии - принцип гармонии – гармонии во всем - систем и подсистем, технических, экономических, биологических, социальных сегментов… Это определение как-то больше отвечает моим взглядам, в особенности при поиске решений креативных задач, где синергийные подходы окачались чрезвычайно успешными. Главную причину в том, что большинство распространенных ранее методов поиска нестандартных творческих решений так или иначе было и использованием аппарата насилия, к примеру, выявление и борьба с выявленным противоречием. ***Я предложил использовать синергию как противоположный насилию гуманный прием креативного творчества, пригодный не только для технических объектов, но и при проведении экономических, политических, социальных реформ, при реализации принципа народовластия - ”власти над властью” и др.***

В этом пособии все примеры, в том числе, по использованию синергии, в своей основе имеют патенты и изобретения автора. Кроме того, в основе монографии лежит использование идеологии системного анализа. Основное внимание обращено не только на дальнейшее развитие его теории, но и на разработку и практическое использование его средств и методов и, прежде всего, наиболее эффективного метода - синергии, вошедшей в нашу жизнь совсем недавно, но, к сожалению, пока так и не ставшей рабочим инструментом в большинстве сфер человеческой деятельности. Впервые я попытался показать возможности синергии как инструмента, средства и метода обеспечения гармонии за счет использования предложенного мною принципа соответствия в реальной экономике, политике, бизнесе, вообще, в нашей многообразной жизни.

Такой подход позволил мне предложить, развить и всесторонне использовать новую синергическую концепцию креативности, которая основана не на случайном поиске решений методом проб и ошибок, не на плагиате у Природы ее решений (“Синектикс”), не на выявлении, а потом разрушении, преодолении, устранении, уничтожении противоречий (подход ТРИЗа), а на концепции объединения, взаимодействия, создания и усиления гармонии технических систем. В результате удалось использовать не только известные средства и методов синергии, но также предложить и реализовать ряд новых. На этой основе мне удалось создать принципиально новую технологию изобретательства и разработать новую концепцию и эффективную технологию креативного образования, в течении более 10 лет достаточно успешно используемую при обучении студентов. Убежден, что пособие может быть полезным учёным, специалистам инженерного профиля, предпринимателям, тяготеющим к технологическому инновационному бизнесу и, главное, креативным студентам, определяющим свой жизненный путь.

Необходимо отметить, что термины “синергия” и ”синергетика являются двумя родственными, но не совсем тождественными понятиями, однако, можно сказать, что они стали родоначальниками

целого понятийного механизма ряда ключевых понятий, используемых в современной науке – синергетический подход, синергетический метод исследования, синергетическая парадигма, синергетическая концепция понимания, познания мира и жизни. С помощью этих понятий современные учёные продолжают объяснять те или иные явления, поведение различных систем с меньшей степенью противоречивости. С другой стороны, подтверждение практикой теоретических моделей синергии позволяет распространять ее на все другие сферы человеческой деятельности.

Для закрепления вышеизложенного дальше привожу, как мне кажется, интересные, но не мои наблюдения, связанные с понятием “синергия”:

- Каждый из факторов жизни, имеет долю в суммарном процессе, а сама жизнь проявляет синергизм совместно взаимодействующих протекающих явлений и процессов на системном уровне — в процессе системогенеза;
- Что может сделать человек "одной правой" или "одной левой"? А что он может сделать обеими руками? Например, сколько раз человек отожмется от пола на одной руке? Сколько на двух? Во многих случаях это не просто намного более, чем вдвойне, это - радикально новое качество.
- Скрипач или гитарист "одной правой" или "одной левой" может либо зажимать аккорды, не издавая звука, либо издавать звук, но не музыку. Действуя же согласованно обеими руками, музыкант создаёт музыку.
- Даже чтобы просто забить гвоздь, нужно две руки. А наши органы чувств – зрение, слух, речь, обоняние и осязание? По-отдельности они работают, но лишь синергично соединившись вместе, они дают нам полную картину мира. А соединившись ещё и с мозгом - его понимание.
- Сейчас в ходу шутки от Константина Чернозатонского на тему ”Что такое синергия?”. Мол, пьяный бизнесмен в одиночку не может пройти и трех метров – беднягу мотает из стороны в сторону. Ему тоскливо и одиноко. А вот если он обнимется с другим таким же бизнесменом, то вместе они смогут не только прогуливаться, поддерживая друг друга, но и распевать "Без меня тебе, любимый мой, летать с одним крылом!..." Иными словами, синергия – это когда за счет слияния усилий двух активных людей эффективность их деятельности не просто вырастает намного больше, чем в два раза, но и получает дополнительную прибавку в виде душевной песни.
- Если говорить об Искусстве, то музыка – это не сумма нот, а картина – это не сумма красок. Дальше можно не продолжать...
- Соединение (взаимодействие — синергизм) двух и более кусков радиоактивного материала, при превышении критической массы, в сумме дают выделение энергии, превосходящее излучение энергии простого суммирования отдельных кусков;
- Знания и усилия нескольких человек могут организовываться таким образом, что они взаимно усиливаются. Приблизительно об этом же говорит и второе понятие – ”сверхаддитивный эффект” — это положение вещей, обычно передаваемое фразой «целое больше суммы отдельных частей» (1+1=2x, где x>1);
- Под синергизмом в биологии понимается совместное и однородное функционирование органов (например, мышц синергистов) и/или систем;
- Под синергиизмом в медицине понимается комбинированное действие лекарственных веществ на организм, при котором суммированный эффект превышает действие, оказываемое каждым компонентом в отдельности.

Родившись в области точных наук, синергетика начала распространятся на все сферы жизни. Феноменом этого распространения стало представление нашей жизни в целом и отдельных областей в виде определённой модели мира. Эта модель может быть описана как энерго - информационная модель мира. Энергия и информация, заложенные в природное и социально - личностное программное обеспечение составляют нашу жизнь.

Сложилось мнение, что концепция жизни исходит из следующих предположений:

- Что мир, это система, которая есть и единое целое, и состоит из бесконечного множества взаимосвязанных и взаимозависимых открытых и закрытых систем.
- Элементы всех систем, в чем-то похожи друг на друга, информация в одном элементе содержит обо всей системе, при изменении в одном элементе происходит изменение и во всех других элементах системы.
- Элементы вместе с тем, имеют уникальные свойства, которые можно охарактеризовать как разные энергетические потенциалы, приводящие элементы и всю систему в целом к процессу постоянных изменений.

Система, связанная с жизнью, имеет три основных характеристики: жизнестойкость, функциональность и адаптивность. Если, к примеру, представить человека, как органическую систему, то его ***жизнестойкость*** выражается в следовании своему предназначению. ***Функциональность*** человека – заключается в развитии своей уникальности, того, в чем ты лучший настолько, чтобы это стало социально полезным для других людей (профессия, бизнес, политика). ***Адаптивность*** человека как третье свойство системы заключается в гармонии с самим собой с социумом и окружающей средой на протяжении всей жизни.

В то же время в технике, особенно в химической технике, как показано в наших работах по созданию совмещенных, в частности, хемосорбционных, а также реакционно – разделительных процессов и аппаратов, синергия и диссинергия во многих случаях оказалась чрезвычайно эффективными вариантами реализации многих проектов.

4.4. Синергические аспекты бизнеса.

В бизнесе прибыль после слияния двух компаний или поглощения одной компании другой может превосходить сумму прибылей этих компаний до объединения. Обычно, слияние — объединение двух равноправных компаний, а поглощение — выкуп одной компании другой (англ. mergers and acquisitions). Цель слияний и поглощений — достижение преимуществ от совместной деятельности, т.е. синергии. Существуют разные теории о том, что поглощения и слияния нацелены на то, чтобы устранить конкурентов и т.п., но они далеки от правды. Главная цель любого слияния или поглощения заключается в том, чтобы результат был больше, чем сумма слагаемых (т.е. 1+1=3). Иными словами, компании, которые участвуют в процессе, надеются сэкономить затраты, и увеличить КПД. Зачастую продуктивность новой/обновленной компании увеличивается именно за счёт уменьшения затрат. Термины «слияние» и «поглощение» часто путают, или употребляют как синонимы. Несмотря на то, что значения их очень близки и они всегда ходят парой, на самом деле слияния и поглощения описывают разные понятия. Из самих терминов понятно, в чем состоит разница: есть много различных способов слияний компаний. Эти типы слияний делятся на 2 основные группы: по отношениям между компаниями и по типу финансирования.

Диссинергия. Впервые этот термин появился в бизнесе, где частый случай - классический вариант «лебедя, рака и щуки». Специалисты пытаются делать работу вместе, взаимодействуют, но процесс осложняется амбициями, взаимонепониманием, уходом от основной темы работы, конфликтами, повторами. В результате работа затягивается, одни и те же вещи приходится переделывать по многу раз. К примеру, совещания проходят по типовому сценарию — в попытках примирить разные точки зрения, и заканчиваются ничем. Вся работа оказывается выполненной посредственно. В этом случае

результат меньше суммы составных частей (1+1+1+1=S, где S < 4). Второй вариант, как показывает практика, довольно редкий. Вклад каждого специалиста хорошо вписывается в общую картину, совместные усилия себя оправдывают, общий результат равен сумме вкладов всех специалистов. Так, если над заданием работают четыре специалиста, их результат работы равен результату, который могли сделать четыре специалиста, работай они по отдельности. Тут суммарный эффект (1+1+1+1=4). Третий вариант (синергический) в бизнесе встречается крайне редко в области создания интеллектуальной собственности. Искусство управления интеллектуальным капиталом состоит именно в том, чтобы умело объединять усилия нескольких людей и добиваться сверхаддитивного эффекта (1+1+1+1=S, где S > 4). Следовательно, выигрывают все участники синергического процесса — так как, в результате, доля каждого участника больше 1. Очевидно, что для объединения усилий требуется, чтобы векторы этих усилий были согласованы (направлены к одной цели). Итак, синергия в бизнесе – это выгода, полученная от комбинирования двух или более элементов (или бизнесов) таким образом, чтобы продуктивность полученной комбинации стала выше, чем сумма ее отдельных элементов (или бизнесов). При этом, бизнес – это не просто сумма функций управления, производства, финансов, маркетинга, продаж и пр. Бизнес похож на человека. Отделить финансы от корпоративных целей, стратегии, производства и маркетинга, все равно что отделить мускулы от мозга и рук.

Чтобы бизнес гармонично развивался, необходимо, чтобы в нем, как в человеке, все функции не были изолированы друг от друга, а гармонично и синергично соединялись воедино. Наиболее ярко взаимозависимость информационных технологий и экономики проявляется в такой сфере, как малый бизнес, который меньше испытывает эффект синергии чем средний. Это вызвано тем, что в малом бизнесе, часто это может быть семейный бизнес, нет необходимости координировать действия, формализовать бизнес-процессы, таким образом, чтобы они были синхронны. В среднем и крупном бизнесе, когда растет поток информации, организационная структура, если не адаптируется к внешним изменениям, довольно быстро становится тормозом в развитии компании. Основное призвание или предназначение информационных технологий и информационных систем - содействовать менеджменту в сохранении целостности бизнеса, как целостностии между основными и вспомогательными бизнес-процессами, между технологиями, оборудованием и обслуживающим их персоналом. Именно поэтому, важным направлением развития услуг информационных технологий является системная интеграция. С ее помощью менеджмент управляет человеческим, информационным, производственным и финансовым капиталом одной целостной системой. В управлении человеческими ресурсами также возможно проявление синергии. Когда в компании создаются сильные команды, построенные с учётом целей и задачей поставленных перед ними, то командный результат в конечном счёте является результатом синергии. Однако не всегда инструменты современной теории менеджмента, внедрённые в компанию, дают позитивный результат. Бывает, что из-за ошибок в менеджменте, вовремя незамеченных и не исправленных, положение в компании начинает ухудшаться, и, если вовремя не принять меры, то это оканчивается кризисом.

Видно, что, в отличие от науки и техники, специалисты по бизнесу достаточно умело и настойчиво используют преимущества синергической организации работы систем. Об этом же говорят их достаточно амбициозные планы дальнейшей эскалации этого процесса. Они собираются сконцентрировать внимание на следующих вопросах:

- Синергетические взаимоотношения операций партнёрство и конкуренция.
- Современные методы выбора/поиска партнёров.
- Превращение бизнес – ангелов в бизнес – дьяволов с позиции синергетики.

- Индустриальный симбиоз – практика синергических подходов.
- Индустриально – аграрный симбиоз с позиций синергетики.
- Объединение интеллектуальных и финансовых инвесторов с предпринимателями – основа технологического бизнеса.
- Кластерный подход и проектный менеджмент – основная тактика технологического бизнеса.
- Этика и культура технологического бизнеса в рыночных условиях.
- Бизнес – инкубаторы как школа синергии в современном бизнесе.
- От олигархического капитализма к народному – рекомендуемый мною лозунг синергии для бизнеса.

4.5. Синергия в интеграции интеллекта и бизнеса.

В условиях рыночных отношений интеллект и бизнес противоречат друг другу. Видимо, многие бизнесмены и не слыхали об интегративной эффективности синергии. Они, к сожалению, асинергичны, и у нас совсем немного бизнесменов, интеллектуально подготовленных к тому бизнесу, которым они занимаются. Понятие "интеллект" часто понимают как информированность в своей сфере деятельности. Но это не одно и то же. Интеллект и креативность - вот неразделимые понятия. Недостаточно иметь профессиональные и общие знания, и даже умение аналитически мыслить. Нужно еще и умение творчески переосмыслить полученные знания, генерировать эффективные идеи в нестандартных ситуациях, то есть мыслить креативно. Хотя в последнее время быть интеллектуалом стало модно. Ни для кого не секрет, что в Украине бизнесмен любой сферы деятельности может нанять изголодавшихся “дынеголовых” интеллектуалов и за деньги заказать – и тебе быстро сделают – дипломный проект для престижного вуза или диссертацию по престижной специальности и даже “натаскают” тебя к их защите, совсем недорого можно даже купить готовый диплом, и любую ученую степень.. Но, слушая или читая речи многих наших косноязычных “интеллектуалов” нового поколения, наблюдая за печальными результатами их деятельности не только в сфере науки и техники, но и в политике, экономике и управлении страной, мы давно уже поняли, что всего этого недостаточно, чтобы действительно быть интеллектуалом, креативно мыслящим человеком.

«Интеллект + бизнес» - уникальное сочетание для нашей страны. Во время прихода к нам рыночных отношений в начале 90-х, когда шел передел собственности, интеллект был не сильно нужен. Тогда востребованными были совсем другие качества, такие как наглость, оборотистость и даже склонность к преступлениям. Сегодня мы уже дошли до той стадии, когда ценятся интеллектуальные способности. Но до развитых стран нам еще далеко. Стране необходимо перейти на инновационный путь развития и альтернативы технологическому бизнесу для перехода Украины на инновационный путь развития нет. Это убедительно доказали многие развитые страны. И здесь, забрезжила новая идея - не просто интегрировать с бизнесом инновационных инвесторов (изобретателей, ученых, просто творческих людей), а “обженить”, опираясь все на ту же синергию, и тех, и других с финансовыми инвесторами и получить в результате этого симбиоза так называемый технологический бизнес.

Итак, технологический бизнес - это средний и малый бизнес, который включает в себя интеллектуальное наполнение. Интеллектуальная часть - одна из основных составляющих технологического бизнеса. Это атакующий бизнес, который быстро растет и развивается. Ведь время, рынок, законы конкуренции часто требуют модернизации или даже полной замены технологии и оборудования на современные, использующие революционные решения. В Украине на долю среднего и малого бизнеса (СМБ) по несколько противоречивым данным приходится от 6 до 10% ВВП. Во всем мире этот показатель достигает уровня 60-80%. Кроме того, в Украине

средний и малый бизнес - в основном недоразвитый, инновационно ненаполненный и непроизводственный, преимущественно торговый. Доля производственного малого и среднего бизнеса у нас составляет 6-7% (для сравнения: в Польше - 70%, в Китае - почти 100%). А производственным является большой бизнес. Однако последний научился обходить налоги, например, используя оффшорные зоны, и слабо наполняет государственный бюджет. Средний и малый бизнес, наоборот, наполняет бюджет. А если инновационными, интеллектуально наполненными станут и СМБ, и крупный бизнес, то они смогут вытащить страну из ямы и преодолеть кризис.

4.6. Технологический бизнес и кластерный подход.

К сожалению, мы, как всегда, вновь отстаем от других стран и с развитием технологического бизнеса. Во многих странах на базе ведущих технических университетов начато формирование национальных инновационных сетей и сейчас работы в этом направлении достигли большого размаха. Государства активно поддерживает новаторство и процесс его слияния с бизнесом. К сожалению, у нас – пока затишье. Как всегда, много слов, намерений, деклараций, а дела пока нет. В Украине существует несколько Государственных агентств по инвестициям и инновациям. По их инициативе время от времени проводятся конференции, форумы, посвященные этой тематике. Сейчас увлеклись, пока на словах, созданием так называемых "инновационных кластеров". Государственная концепция исходит из того, что львиную долю инноваций может внедрять государство. Средства должны поступать из госбюджета или в виде иностранных инвестиций. Но на практике все не так. Государство хронически не имеет средств. А иностранные инвесторы не верят нам - ни нашим руководителям, ни вообще нашей коррумпированной стране, где неизвестно, какие законы будут завтра. Таким образом, перевести экономику страны на инновационные реи "сверху" пока вряд ли представляется возможным.

Можно полностью согласиться со все более популярными идеями перехода от сырьевой экономики страны к экономике знаний, переходу на инновационный путь развития к инновационной, интеллектуально наполненной экономике. Да вот, жалуются, что условия для такого перехода не созданы, да и бюджет опустел и не в состоянии обеспечивать появление технопарков, зон свободной торговли и других так называемых "кластеров", которые, кажется, уже справедливо называют черными дырами в бюджете Украины. Как убрать коррупцию из технопарков и других кластеров? Предлагают использовать опять таки сильную власть – без нее, мол, не будет сильной экономики. И еще… сажать, без этого никак не смогут обойтись многие политики! Кстати, именно этот "метод" использовался при создании первых кластеров в СССР - секретных бериевских "шараг" с 1930 г (лагерь + НИИ + КБ + завод), да и сейчас наши тюрьмы с промышленными производствами и учебными заведениями при них также являются логическим продолжением "шараг". Впрочем, потом появились академгородки, технополисы, технопарки, политехнизированные средние школы с учебно – производственными мастерскими, институты НАНУ с опытными производствами, крупные промышленные предприятия с НИИ и КБ при них, к примеру, Южмаш, университеты с опытными производствами, заводы – втузы и др. Жалуются также, что мешает отсутствие элементарных инструкций по переходу на инновационный путь развития.

В зарубежной практике не меньшее внимание, чем стратегии, уделяют средствам и методам, т.е. тактике ее реализации. К сожалению, основная масса публикаций, к примеру, по кластерной тематике освещает, в основном, якобы целесообразность использования полностью соответствующим синергически концепциям кластерных подходов и позитивные результаты этого

использования. Практически совершенно не освещаются теоретические основы, стратегия и тактика, теория и практика кластеризации в экономике, в науке, в развитии инновационных направлений ее использования. Это серьезно обедняет кластерный подход, делает его примитивным, лишает научной обоснованности, "вульгаризирует". Раньше у специалистов и ученых в ходу был другой термин, почти эквивалентный термину “кластеризация”. Что изменилось оттого, что взамен "модульного подхода" стали употреблять термин "кластеризация”. Ведь, все равно, остался нерешенным вопрос - кого, с кем и зачем интегрировать, как, с кем и зачем потом кооперироваться образовавшимся кластерам? И, главное, каковы побудительные мотивы и механизмы этих процессов. Неужели опять пресловутая "регуляторная политика" и желание чиновников не без выгоды порулить новой игрушкой. Ясно только, что кластеризация – не панацея от всех наших “негараздів” и не самоцель, а всего лишь ОДНО ИЗ средств, один из методов

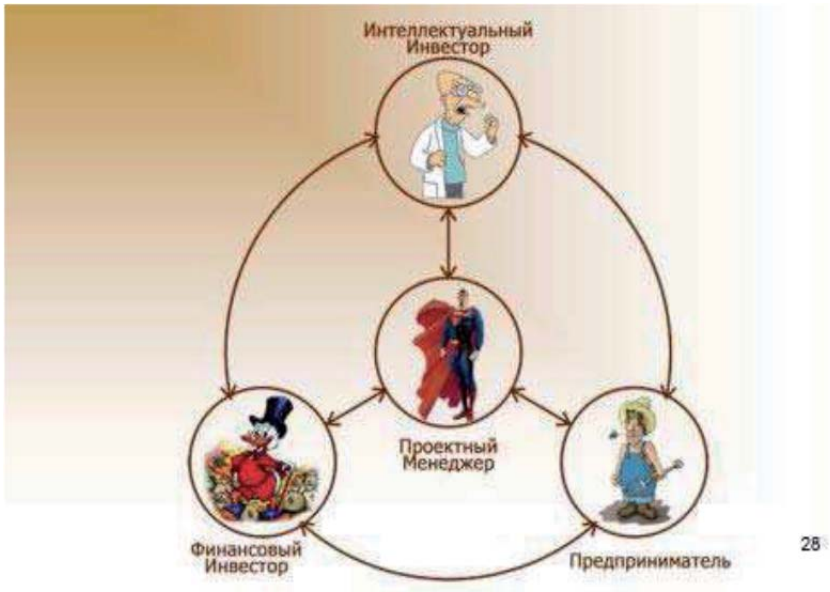


Рис 4.1. Кластер технологического бизнеса

проектного менеджмента, ставшего во всём мире основным методом реализации проектов на всех иерархических уровнях системы – от государства до предпринимательской структуры. Вот почему для каждого уровня иерархии существуют свои кластерные решения. На рис.4.1. показан вариант типового кластера для технологического бизнеса (средний и малый бизнес с инновационным наполнением). В нем интеллектуальный инвестор синергично связан прямыми и обратными связями с финансовым инвестором и предпринимателем, а всеми вместе в полном согласии с требованиями синергии управляет проектный менеджер.

Кластерный подход в Украине может получить быстрое развитие, если теоретические наработки и положительный практический опыт удастся перенести в область экономики и технологический бизнес. Дело за специалистами! А у проектного менеджмента, к которому пришли практически все страны при выборе тактики перехода на инновационный путь развития, есть, кроме кластеризации, много других тактических методов – диверсификация, симбиоз, системный подход, циклические воздействия, рециркуляция и др., в основе которых лежит все та же синергия. С чего необходимо начинать уже сегодня? Думается, с «низовой» экономики — с того же среднего и малого бизнеса (СМБ). И не только потому, что он острее чувствует «дно». Даже в периоды экономического подъема СМБ является индикатором перспективных направлений развития, оперативно и гибко реагирует на рыночную конъюнктуру. В периоды кризиса он становится «подушкой безопасности»

для множества людей, не задействованных крупным бизнесом, формирует экономически активную часть населения с соответствующей психологией, стимулирует структурные реформы. Он повышает деловую активность населения, не поглощая бесследно финансовые ресурсы, которые вбрасываются сегодня в олигархическую экономику, в рекапитализацию банковской сферы и т.д. Во всем мире СМБ работает преимущественно за счет финансовых вливаний частных внутренних инвесторов — “бизнес – ангелов”. Они не перекачивают свободные деньги без налогов на Кипр и возвращают (опять же без налогов) в виде инвестиций в Украину, а сразу дают их напрямую СМБ, если у него есть инновационное наполнение. Инновационный, интеллектуальный технологический бизнес находится на четвертом месте по прибыльности после наркобизнеса, торговли оружием и ... проституции.

4.7. Эскалация кластерного подхода как конкретного средства реализации идеологии синергии.

Сейчас в Украине начался период создания кластеров и развития кластерного подхода как формы реализации синергетической идеологии и проектного менеджмента. Кластерная терминология перекочевала в многочисленные публикации, посвященные вопросам развития (неважно чего - государства, региона, города, науки, техники, производства, системы водоснабжения или канализации и др.). Пишут о кластерах как о сетевых инновационных структурах, о системах инновационных промышленных кластеров, о локальных производственных системах на основе сетевых структур - кластеров и т.д., и т.п.

Если погрузиться в суть красивой терминологии, то можно сделать вывод о том, что "кластеризация" - это сочетание интеграции и кооперации, призванное конкурировать с глобализацией, где кластеры - синергичная форма интеграции субъектов. А кооперация - это форма взаимодействия этих интегрированных кластеров. Что касается собственно терминологии, то в Википедии читаем, что кластер (англ. cluster скопление) — объединение нескольких однородных элементов, которое может рассматриваться как самостоятельная единица, обладающая определёнными свойствами. Или: кластер — сконцентрированная на некоторой территории группа взаимосвязанных компаний: поставщиков оборудования, комплектующих и специализированных услуг; инфраструктуры; научно-исследовательских институтов; ВУЗов и других организаций, взаимодополняющих друг друга и усиливающих конкурентные преимущества отдельных компаний и кластера в целом. Примером такого кластера является Силиконовая долина в США. Но чаще всего этот термин употребляли раньше компьютерщики. Один из первых архитекторов кластерной технологии Грегори Пфистер (Gregory F. Pfister) дал кластеру следующее определение: «Кластер — это разновидность параллельной или распределённой системы, которая: состоит из нескольких связанных между собой подсистем. Пишут о кластерах как о сетевых инновационных структурах, о системах инновационных промышленных кластеров, о локальных производственных системах на основе сетевых структур - кластеров и т.д., и т.п.

Но за лингвистическими изысканиями пока практически совершенно не освещаются теоретические основы, стратегия и тактика, теория и практика кластеризации в экономике, в науке, в развитии инновационных направлений ее использования. В лучшем случае обсуждают целесообразность использования кластерных подходов и позитивные результаты этого использования. Это серьезно обедняет кластерный подход, делает его примитивным, лишает научной обоснованности, "вульгаризирует".

Между тем, кластеризация – отнюдь не новое направление менеджмента. Еще не забыты первые шаги в этом направлении в эпоху культа личности и деятельность первого ”кластеризатора” -

кровавого Лаврентия Берия. Это тогда появились: Академгородки, технополисы, технопарки с тюрьмами, с включенными в них промышленными производствами и учебными заведениями, секретные НКВД “Шараги”. Лишь через много лет после того, как показали свои достоинства, к сожалению, опирающиеся на репрессии, танковые, ракетные, авиационные, атомные и т.п. кластеры, появились иные формы проявления кластерной синергической политики, к примеру, политехнизированные средние школы с учебно – производственными мастерскими, большинство институтов НАНУ с опытными производствами, крупные промышленные предприятия с НИИ и КБ при них, университеты с опытными производствами и технологическими бизнес – инкубаторами при них, заводы – втузы (объединение вузов и производств) и др.

А в технике совершал свое победное шествие модульный подход – вариант кластерного, о котором мы поговорим позже. По крайней мере, частью Гибких Автоматизированных Производственных систем (ГАПСов) стали блочно – МОДУЛЬНЫЕ (кластерные) установки (БМУ). Без ложной скромности отмечу, что в химии первая отраслевая кластерная лаборатория ОНИЛ Блочно – модульных установок (ОНИЛ БМУ) была создана Минхимпромом СССР в 1979 г. в Днепропетровске (в ДХТИ) по моей инициативе. Именно эта лаборатория разработала не только конкретные химические БМУ, но и теоретические основы кластеризации. Дам лишь перечень теоретических разработок ОНИЛ БМУ в области кластеризации:

- теоретические основы системного подхода (тогда еще не было науки “синергия”) к созданию кластеров и синтезу кластерных систем,
- методы совмещения и основы синергии комбинированных модулей (кластеров),
- теория совмещения технологических процессов и создания гибких ХТС,
- основы эффектов эмерджентности и их использования в блочно - модульных системах,
- теоретические основы интерэктности при совмещении и комбинировании модулей,
- основы теории гибкости и адаптивности модульных (кластерных) объектов,
- методы оптимизации объектов с совмещенными технологическими процессами на основе системного анализа и др.

Не дремали и ”кластеризаторы” в других странах. Международный опыт продемонстрировал сразу четыре варианта кластерной политики власти в зависимости от роли государства:

1. **каталитическая** кластерная политика, когда правительство сводит заинтересованные стороны и обеспечивает ограниченную финансовую поддержку проекта;
2. **поддерживающая** кластерная политика, при которой каталитическая функция государства дополняется его инвестициями в инфраструктуру регионов, образование, тренинг и маркетинг для стимулирования развития кластеров;
3. **директивная** кластерная политика, когда поддерживающая функция государства дополняется проведением специальных программ, нацеленных на трансформацию специализации регионов через развитие кластеров;
4. **интервенционистская** кластерная политика, при которой правительство наряду с выполнением своей директивной функции перенимает у частного сектора ответственность за принятие решения о дальнейшем развитии кластеров и посредством трансфертов, субсидий, ограничений или регулирования, а также активного контроля над фирмами в кластере, формирует его специализацию.

В Украине больше озабочены другим направлением ”кластерного менеджмента”. Главное, чтобы при кластеризации власть вновь не использовала пресловутую "регуляторную политику". Ведь, как только власть начинает что-то регулировать, так все заканчивается ничем, как сейчас печально

заканчивается гибелью наш "зарегулированный" средний и малый бизнес. В то же время, в Украине, видимо всерьёз, занялись кластерами. Речь идет даже о немедленной разработке НАЦИОНАЛЬНОЙ Программы кластеризации Украины, о появлении НАЦИОНАЛЬНОЙ системы инновационных промышленных кластеров. Что это - очередное модное увлечение красивым термином, результат всплеска интеллектуальной деятельности у нашей элиты или в самом деле необходимость, вызванная жизнью? В работах С.Н.Соколенко делается упор на необходимость управления инновационной деятельностью. Но, ведь, не всякие инновации хороши, да и не является их реализация самоцелью, а только СРЕДСТВОМ решения конкретных задач, к примеру, устойчивого развития города, региона и т.д. Поскольку создание кластеров не является самоцелью, а лишь одной из эффективных организационных форм работы, бессмысленной является идея создания программы всеобщей "кластеризации" страны, ибо нельзя подменять задачу средством ее достижения.

4.8. Немного о тактике кластеризации.

Системный анализ и принципы синергии диктуют необходимость выполнения требований соответствия размеров кластеров масштабу уровня, на котором они формируются. Кластеры на государственном уровне не могут быть сопоставимы по масштабу с отраслевыми или региональными кластерами, а, тем более, с кластерами на уровне микроэкономики.

Управление кластерами должно использовать факторы (рычаги) воздействия, характеристики которых должны соответствовать амплитудно – частотным характеристикам уровней воздействия (так называемый “принцип соответствия” или гармонии).

Технологический бизнес – это средний и малый бизнес с инновационным наполнением, а микрокластер технологического бизнеса – форма интеграции субъектов технологического бизнеса (к примеру, инновационных инвесторов, финансовых инвесторов, предпринимателей, менеджеров).

Кооперационное объединение таких кластеров - это та самая сетевая инновационная структура, к которой так стремятся наши управленческие инноваторы. Какие субъекты микрокластеров технологического бизнеса уже определились? Категория Инновационных инвесторов включает в себя: инновационные предприятия, научные и учебные заведения, исследовательские центры, индивидуальных изобретателей, ученых и др. инноваторов. Финансовые инвесторы тоже не представлены в одиночестве. Здесь не только банки, но и частные инвесторы (которых называют еще "бизнес - ангелами"), инвестиционные компании, многочисленные фонды и субсидирующие организации и т.п.

Следовало бы сменить задачу массовой кластеризации страны на другую – обеспечения грамотного управление проектами с использованием отработанных механизмов проектного менеджмента. Украина приобрела статус страны с рыночной экономикой, где правит преимущественно не власть, а рынок. Кластеры в условиях рынка должны стать средством реализации рыночного механизма развития.

Много дискуссий все еще вызывает проблема роли власти в решении задачи кластеризации. Для специалистов важно не дать в руки чиновникам рычаги пресловутой регуляторной политики. Вместо этого власти следует свою энергию направить на:

- Формулирование задачи и ИНИЦИИРОВАНИЕ появления кластеров.
- Создание побудительных мотивов и механизмов кластеризации.

- Содействие созданию инфраструктуры - питательной среды (сетей частных предпринимателей - бизнес ангелов, технологических бизнес – инкубаторов, сервисных центров).
- Законодательное обеспечение технологического бизнеса.
- Стимулирование за получение положительных результатов.

Специфичны формы организации, координации и интеграции в синергичных кластерных образованиях. В зарубежной практике это, как правило, процесс идущий «снизу-вверх», от малого бизнеса, взаимоувязанного территорией, инфраструктурой, возможно, ресурсами, технологией или цепочкой создания стоимости.

По мнению автора, наиболее эффективным для страны вариантом перехода на инновационный путь развития будет опора на технологический бизнес, при котором создание кластеров является лишь ОДНИМ ИЗ эффективных средств проектного менеджмента. В этом случае следует начинать работу не на верхних эшелонах - уровнях системы, а на нижнем - на зарождающемся рынке технологического бизнеса, и двигаться по иерархической лестнице снизу вверх. При этом, не следует забывать о том, что интеллектуальная собственность – товар на этом рынке. Поэтому, не пресловутое внедрение, а коммерциализация (продажа или коммерческое утаивание) интеллектуального товара становится приоритетом в рыночной экономике. Тогда, защита, охрана интеллектуальной собственности становятся не самоцелью, а средством обеспечения устойчивого развития. Атакующие менеджмент и маркетинг при этом становятся основой современной стратегии коммерциализации.

Таким образом, в основе развиваемой концепции модульного (кластерного) синергичного технологического бизнеса лежит использование: системного анализа, проектного менеджмента, рыночных механизмов хозяйствования, опоры на средний и малый бизнес. Основной задачей деятельности при этом является содействие решению основной стратегической задачи в кризисных условиях - реализации принципов устойчивого развития с решением экономических, социальных и экологических проблем за счет ориентации на развитие среднего и малого бизнеса и превращения его в технологический бизнес, использования высокого инновационного потенциала и рыночных механизмов хозяйствования на базе системного анализа, механизмов синергии и современных информационных технологий.

Основными тактическими методами реализации этих задач являются: создание рынка технологического бизнеса в Украине и использование рыночных механизмов для перехода от сырьевой экономики к инновационной, содействие модернизации и технологическому развитию экономики, экспертиза и аудит инновационных проектов с целью определение объектов инвестирования, содействие коммерциализации отечественных инновационных технологий, поиск интеллектуальных и финансовых инвесторов и партнеров по реализации проектов, сервисное обслуживание среднего и малого бизнеса с целью его инновационного наполнения, консалтинг, информационное обслуживание при выработке тактики антикризисного менеджмента и определению направлений реструктуризации и диверсификации бизнеса, проведение тренингов в для субъектов технологического бизнеса, развитие международных связей и контактов.

Предлагаемый алгоритм работы основан на использовании методологии проектного менеджмента, когда:

- Исходными предпосылками проекта являются не инновации, а цели и задачи, исходя из концепции устойчивого развития, государственных и региональных программ развития и др.

- Определяется команда предпринимателей и менеджеров проекта,
- Они ищут и находят интеллектуальных инвесторов (для проекта почти всегда требуется несколько инновационных решений).
- Кластерный треугольник ищет финансовых инвесторов, которых также всегда несколько на жизненном цикле любого проекта, и создаёт кластерную пирамиду.
- Основным субъектом в кластере технологического бизнеса становится не инноватор, а менеджер или предприниматель.

Пока этот алгоритм очень трудно реализовать, прежде всего, из-за отсутствия квалифицированных специалистов и следующих негативных особенностей СМБ в Украине:

1. Зарегулированность СМБ органами власти. Разрешительная «регуляторная» деятельность стала инструментом коррупции. Принцип «единое окно» не реализован. Отсутствуют «рычаги» регуляторной политики.
2. Неинновационность СМБ. Менее 4% его имеют признаки инновационности.
3. Нищета и отсутствие у СМБ стартового капитала при перенаполненности деньгами рынка инвестиций.
4. Коммерческий характер СМБ, при котором в некризисную эпоху обеспечивались максимальные прибыли. Мало товаропроизводителей.
5. Низкий уровень профессиональной подготовки менеджеров СМБ.
6. Отсутствие экспертных, аудитных, консалтинговых организаций для сервиса СМБ.
7. Отсутствие сервисной системы оперативного повышения уровня профессионализма предпринимателей.

В то же время, можно предложить вполне конструктивные пути устранения отмеченных негативных особеностей СМБ (номера – те же, что и выше):

1. Отказ от «регуляторной» политики: единственный регулятор — рынок. Использовать и стимулировать гибкость и адаптивность среднего и малого бизнеса (СМБ). Интеграция СМБ и создание венчурного технологического бизнеса.
2. Создание синергичной сети центров технологического бизнеса.
3. Создание сетей технологических бизнес-инкубаторов, сетей бизнес-ангелов, Развитие инновационно-информационного сервиса.
4. Активизация перехода СМБ от коммерческой к производственной деятельности.
5. Разработка стратегии и тактики, средств и методов антикризисного менеджмента в СМБ применительно к украинским реалиям.
6. Создание сети профессиональных сервисных организаций (экспертиза, консалтинг, аудит, менеджмент, повышение квалификации СМБ).
7. Организация профессиональных тренингов (учить предпринимателей бизнесу, менеджменту, системному анализу, информационным технологиям, основам внешнеэкономической деятельности, фандрайзингу, принципам устойчивого развития и др.).

В Украине бизнес пока не понимает, что ему нужно наполниться интеллектом, использовать мощный интеллектуальный потенциал страны. А вот как используют его в иностранных компаниях. Несколько тысяч служащих компании «Sylvania» прошли 40-часовой курс творческого решения проблем. В результате компания на каждый потраченный на это доллар получила 20 долларов прибыли. А двухлетний курс по развитию творческого потенциала сотрудников «General Electric» привел к увеличению на 60% количества патентоспособных идей. В Украине этих возможностей, к сожалению, не понимают. Что необходимо сделать, чтобы стимулировать интеграцию инноваций в бизнес? Видимо, прежде всего, нужна программа развития государства.

Во всем цивилизованном мире, прежде всего, для этого принята и работает концепция устойчивого развития. В нашей стране за 20 лет так и не смогли создать подобную действенную программу. Такую, в которой не только написано, как должно быть, но и предложено, каким образом этого достичь. Во-вторых, в Украине чрезвычайно много чиновников, комитетов, комиссий и т.п. Они с помощью своей "регуляторной политики" могут лишь затормозить или запретить инновационные процессы. Надо не мешать, а помогать, создавать условия для развития технологического бизнеса. А регуляторную политику в стране рыночной экономики может и должен осуществлять рынок. В-третьих , нужен правильный подход к реализации инновационных проектов, основанный на мировом опыте. Не надо начинать с изобретения. Нужно воплощать проектный менеджмент, то есть создать грамотный проект, а уже под него опытный менеджер подберет и изобретения (инновационного инвестора!), и инвестиционного инвестора со всего мира. Да и о предпринимателе, который и будет реализовывать проект, не забудет. Т.е. на смену пресловутому и малоэффективному трансферту технологий должен прийти противоположно направленный технологический бизнес, основанный на получающем все большее распространение в мире проектном менеджменте. Вот и получится микрокластер технологического бизнеса, который позволит коммерциализировать достойные этого инновации без того, чтобы изобретатели выполняли совершенно несвойственные для них функции менеджеров проекта. Проект эффективен только тогда, когда каждый в микрокластере занимается своим делом.

4.9. Трансферт технологий или технологический бизнес?

Уверен, не всем понравится идея сделать главной движущей силой инновационного проекта при технологическом бизнесе не изобретателя, а топ – менеджера проекта. Патриотизм – дело хорошее, но, будем справедливы, как часто в основу важного, нужного для инновационного развития страны проекта положены случайные, не самые эффективные решения! Рынок есть рынок и нам придется всерьез заняться возрождением конкурентоспособности украинского инновационного потенциала. Для этого нам, прежде всего, необходимо вспомнить одну принципиальную особенность творческого процесса у наших изобретателей - мы вынуждены творить, принимая во внимание чрезвычайную скудость ресурсов не только для исследований, но и для реализации наших проектов. Среди моих более четырех сотен патентов и изобретений практически нет таких, где бы требовалась сложная дорогая автоматика для управления, уникальное оборудование высокого давления или вакуума, какие-то специальные конструкционные материалы и т.п. К примеру, серия моих изобретений по чрезвычайно распространенной обработке (чаще всего, пропитке) капиллярно – пористых тел (древесина, строительные материалы, картон, бумага, пористый графит, ткани при производстве композитных материалов и т.п.) позволяет реализовать подавляющее большинство технологий без использования высокого давления и глубокого вакуума. Это на порядок, а то и на два уменьшает стоимость оборудования, упрощает технологию, увеличивает скорость процессов. Вот почему, этими решениями заинтересовались в других странах. Там считают деньги и выбирают лучшие, конкурентоспособные решения, независимо от того, где они появились – в их странах, или в Украине.

Нам придется учиться делать наши изобретения конкурентоспособными и продвигать их на рынок интеллектуальной собственности, а там их обязательно заметят и коммерциализируют. Что ж, таковы рыночные правила игры… И еще один козырь за такую методику технологического бизнеса. Нет ни одного достойного проекта, где бы можно было менеджеру обойтись одним изобретением. Если это новое оборудование, то его использование обязательно повлечет за собой соответствующее изменение технологии – так учит нас синергия. И наоборот. Кроме того, бывает, что один проект может потребовать несколько новых позиций оборудования и технологических

решений. Если не трогать старую “совковую” систему, где генератором - инициатором проекта был изобретатель, тогда принципиально невозможными окажутся современные проекты, где требуется использовать комплекс решений. Как-то не представляется возможным, чтобы несколько изобретателей вместе создавали бы один объект – проект. Получится то же, что мы наблюдаем уже много лет у наших политиков. В случае технологического бизнеса роль топ – менеджера становится аналогичной роли президента государства.

Могу привести в качестве примера историю с водоугольным топливом (ВУТ) в нашей стране. Мало у нас своего газа и нефти, много угля, даже без Донбасса. Известны технологии изготовления из него ВУТ. Однако для широкой реализации необходимы энергоэффективные мельницы, флотаторы, гомогенизаторы, стабилизаторы, когенераторы энергии, реакторы пиролиза, пароводяной конверсии, аппараты газоочистки и т.д. И соответствующие технологии тоже потребуются. Мы практически полностью подобрали необходимые изобретения и патенты (кстати, не только наши, но и другие отечественные разработки). Их потребовалось около двух десятков. Что дальше? Ищем топ – менеджера, способного увязать и реализовать все это обилие интеллектуальной собственности в одном гармоничном проекте. Однако… пока не нашли. Кто возьмется?

Контрольные вопросы по главе 4

1. Вам повезло, вы нашли Мессинга. Где сегодня найти каждому своего Мессинга, который поможет определиться в жизненном пути?
2. Какова стратегическая задача Украины в связи с тотальным кризисом ее экономики?
3. Дайте определение синергии. Чем она отличается от синергетики?
4. Роль науки Синергия в технологическом преобразовании экономики.
5. В чем гуманность синергии при креативном творчестве?
6. Приведите примеры синергетического подхода в различных сферах жизни.
7. В чем смысл кластерного подхода? Составляющие кластера.

Литература.

1. Малинецкий Г.Г. Синергетика. Король умер, да здравствует король? МГУ, Синергетика. Труды семинара. Выпуск 1, Москва, 1998
2. Малинецкий Г.Г., Курдюмов С.П. Синергетика и системный анализ/ Синергетика и системный синтез. www.keldysh.ru/book/sinpr.html
1. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. 18с.
2. Synergetics. A Workshop / Ed. by H. Haken. 3rd ел. B. etc, 1977. 277 p.
3. Synergetics far from equilibrium/Ed. by A. Pacault, C. Vidal. B. etc, 1978 143p.
4. Кафаров В.В., Дорохов И. Н. Системный анализ процессов химической
5. технологии (основы стратегии).— М. : Наука, 1976.— 499 с.
6. Кафаров В. В. Принципы создания безотходных химических производств, — М. : Химия, 1982,— 288 с.
7. Легасов В. А., Сафонов М. С. Гибкая химическая технология. — Хим. пром-ть, 1985, N8—С. 471—477.
8. Нагиев М. Ф. Теория рециркуляционных процессов в химии,— М. : АН СССР, 1962.- 460 с.
9. Разработка аппаратов на основе унифицированных модулей для высокоэффективных химико-технологических процессов/В, В. Кафаров, В. П. Мешалкнн, Г. И. Манко, В. М. Задорский // Информ, бюл. Химич. пром, СЭВ, 4 {107}, 1984.—с. 36—38
10. Dynamic of synergetic systems/ Ed. by H. Haken. B. etc., 1980. 271 p.

Глава 5. Синергическая гармония технологии и оборудования.

Итак, в 4 главе мы разобрались с тактикой креативной деятельности и в особенностях синергического подхода к поиску инновационных решений, связанных с совершенствованием технических систем (ТС). Для химико-технологических систем (ХТС) целесообразна, прежде всего, синергическая гармония технологии и оборудования. Вот только специалисты пока четко не определились, какие факторы технологии и оборудования должны обеспечить эту гармонию.

Наше время характеризуется постоянным нарастанием комплексных проблем, требующих для своего разрешения все больше информации и участия специалистов различных областей знаний. Все острее ощущается потребность в специалистах «широкого спектра» знаний, умеющих эти знания обобщать. Мы не замечаем, что приход в рынок существенно меняет все аспекты нашей повседневной жизни. Меняется потребность в специалистах, меняются наши требования к работе, наши планы по карьерному росту. Но мы не заметили, как существенно изменяется содержание нашего образования, в особенности в высшей школе. И дело не в приходе пресловутой Болонской системы. Уверен, это случайная (а, может, и нет!) затея наших администраторов в области образования, ведь, она никак не влияет на содержание образование, а лишь формализует проверку и фиксацию знаний. Другой вопрос возникает, как высшая школа может обеспечить изменение требований к подготовке специалистов с учетом прихода рынка.

В связи с этим существенно изменился за последние годы необходимый объем знаний современного специалиста инженерного профиля (боюсь употреблять термин" инженер", ибо теперь украинская высшая школа прекратила их подготовку, впрочем, специалистов тоже). К примеру, еще не так давно инженер – механик в любом профильном университете готовился, прежде всего, как специалист по ремонту оборудования. В связи с изменением профиля его деятельности теперь от него требуются не только знания по ремонтопригодности оборудования, но и знания по технологии процессов, протекающим в оборудовании, которое он ранее только ремонтировал, по экологичности оборудования, его гибкости, интенсивности и др. Без таких знаний и, прежде всего, умения получить количественные оценки, соответствующие показателей для оборудования и технологии ХТС, невозможно заниматься совершенствованием производства. В то же время, серьезный вес приобретает не только количественная оценка того или иного показателя, но и их взаимного обоюдного влияния. Собственно, именно это является предметом особого внимания синергетики, которая является основным объектом в этой книге. Без учета этого не удастся обеспечить синергичную гармонию технологии и оборудования, о которой будет идти речь в этой главе.

Выбор характеристик оборудования и технологии, для которых нужно обеспечить гармонию, достаточно обширен. Из давно применяемых в любом каталоге оборудования можно назвать такие характеристики оборудования, как ремонтопригодность, удобство обслуживания, вес, стоимость, дизайн, коррозионостойкость, габариты и др. Однако, специалист заметит, что в последние годы на первые места в любом каталоге оборудования вышли совсем другие показатели: экологичность, энергосбережение, эффективность, гибкость, интенсивность. Изменились также и предпочтения при выборе технологических показателей работы ТС и ХТС. Интересно, что уже по каталогам можно понять, какие родственные показатели есть и у оборудования, и у технологии ТС. Многие такие показатели как бы «породнились" синергически, стали комбинированными, как бы подталкивая разработчиков и будущих покупателей технологий и оборудования заботиться о гармонии в аппаратурно – технологическом оформлении процесса в ХТС. Именно поэтому,

учитывая практическую невозможность унификации оборудования (пригодность для любого химического процесса), на рынке оборудования стали пропагандировать оборудование высокой гибкости и даже адаптивное оборудование, способно работать с высокими показателями эффективности при изменении в широких пределах рабочих нагрузок по реагентам и контактирующим фазам, сырья, температуры, концентрации и т.д. Здесь сказалось, видимо, влияние рыночных условий работы.

Наш опыт свидетельствует о том, что задачи оптимизации ХТС на синергических началах удобнее и наиболее результативно можно решать, воспользовавшись комбинированными критериями, учитывающими вклад как аппаратурных, так и технологических факторов. Наиболее употребительные из них приведены ниже.

5.1.Экологизация (повышение чистоты) производства.

Сначала несколько слов о термине ”экологизация – ecologization”. Когда я впервые использовал его в моих ежегодных докладах для участников научной программы НАТО по чистым производствам, реакция у коллег была отрицательной – ну нет такого термина в английском и баста! Только cleaner production – более чистые производства. Потом, правда притерпелись после моих ссылок на менталитет и на то, что одно слово лучше, чем два, или в русской версии три. Кроме того, мой термин характеризует деятельность, а традиционный – только результат этой деятельности. Руководили программой НАТО – американские специалисты, а они как раз сторонники активной деятельности и всегда требовали от меня не “совковой” обычной говорильни, а конкретные “tools and methods” – средства и методы обеспечения моих высоконаучных рекомендаций. Вот так и появился в ходу мой неологизм.

Раньше выпускники университетов Украины химического профиля, в основном, работали на химических и нефтехимических предприятиях (сегодня многие из них стоят или ликвидированы) и занимались ремонтом оборудования. Сегодня мы уже убедились, что зачастую выгодно не бесконечно ремонтировать, а приобретать и монтировать новое оборудование. Кроме того, на механиков на предприятиях чаще всего ложится вся тяжесть реструктуризации действующих производств, подбора, монтажа нового оборудования, реконструкция действующего оборудования с целью его оптимизации. Да и требования к аппаратурно - технологическому оформлению производств существенно изменились. Если еще не так давно подбирали оборудование с учетом требований по его стоимости (с учетом его потребительских качеств), эффективности, ремонтопригодности, дизайна и т.п. и именно эти показатели были положены в основу спецкурсов на выпускающих кафедрах, которые проводили “огранку” специалистов, то с приходом рынка стали важными совсем другие показатели оборудования, или, привычнее, параметры оптимизации: интенсивность, экологичность, не только технологическая, но и энергоэффективность оборудования, его гибкость (т.е. способность работать при переменных технологических показателях, производить изменения в номенклатуре выпускаемой продукции с учетом изменений конъюнктуры на рынке), его экологичности (повышенияе чистоты производства). В большинстве украинских университетов студентов пока не обучают тем ”премудростям”, которые необходимы, чтобы справиться с решением новых задач. Не учат их технологическому бизнесу, концепции устойчивого развития, индустриальному симбиозу и методам обращения с отходами. Этот перечень можно продолжать, но уже можно очертить проблему – жизненно необходимо оперативно вносить изменения в профессиональную подготовку специалистов с учетом вышеизложенного. А пока, сегодня высшая школа не готова оперативно реагировать на изменение рыночных требований к

содержанию подготовки специалиста, и это снижает его профессиональный уровень и готовность к работе в новых условиях. И никакая Болонская система здесь помочь не в состоянии.

В связи с серьезными изменениями экологической обстановки в стране в связи, в первую очередь, в силу прихода рыночных условий в сферу бизнеса, наиболее острой в последние годы стала проблема экологизации производств (за рубежом в ходу другая терминология - ’’cleaner technology” - более чистые производства), к сожалению, не только действующих, но и вновь создаваемых и реконструируемых производств. Ориентация на широкое внедрение оборудования для очистки токсичных выбросов не обеспечивает решения всех проблем взаимодействия человека и среды его обитания. Их решение возможно лишь на основе концепции экологизации техники как синергичного единства технологии и оборудования для ее реализации, основанной на системном анализе взаимодействия производства и среды. Такой анализ позволяет определить направление совершенствования технологических процессов, обеспечивающее снижение их отрицательного воздействия на окружающую среду. В этом случае удается рассмотреть взаимодействие природы и человека на основе комплексного системного подхода, основанного на сознании того факта, что техника является лишь частью системы. В связи с этим, необходимо учитывать не только влияние техники на психо - физическое состояние людей, но и ответные реакции- влияние этого состояния на производительность и качество труда, а, значит, и на все технико-экономические показатели производства.

Отсюда становится понятным стремление к гармонизации отношений природы и техники, при которой функционирование промышленных комплексов связывается не только с техногенной деятельностью человека и эксплуатацией объектов техники, но и с состоянием природной среды обитания. В идеале решением задачи является создание технических систем, обеспечивающих высокие технические показатели при благоприятной экологической обстановке. Дело за немногим - выбором тактики экологизации для конкретного объекта.

Системная экологизация иногда приводит к нетривиальным выводам даже при рассмотрении "затасканных" проблем. К примеру, не менее двадцати лет мы создаем катализаторы и устройства для дожигания выхлопных газов автомобилей. Но и сегодня в полном соответствии с системным подходом каждому пешеходу впору выдавать индивидуальный противогаз. А дело, оказывается, в том, что, пока химики пытались создать надежный катализатор дожигания выхлопных газов при использовании этилированного бензина, содержащего соединения свинца, качественный бензин в Украине стали массово "разбодяживать" ароматизированными отходами коксохимических заводов Украины. Автомобильные выбросы стали содержать не только неполностью сгоревший бензол, толуол, ксилол, но и продукты их неполного сгорания или окисления в цилиндрах двигателя. А это в большинстве своем токсичные продукты. Именно это, по мнению многих экспертов в области экологии, стало одной из причин резкого возрастания количества легочных заболеваний. Решить эту проблему путем создания новых катализаторов дожигания выхлопных газов вряд ли удастся ввиду уж больно широкого спектра токсичных веществ в выбросах. Видимо, выход в том, чтобы перейти на другой иерархический уровень системы и заставить нефтехимиков проводить более глубокую переработку нефти, смешанной с отходами коксохимических заводов с получением высокооктанового бензина без добавления соединений свинца.

Сегодня уже предложено достаточно много стратегических принципов, тактических средств и методов экологизации, определяющих решения для конкретных случаев. Некоторые из принципов имеют общетехнический характер (рекуперация, утилизация отходов и ресурсосбережение), некоторые из них предпочтительнее для перерабатывающих отраслей промышленности, в

частности, для химической, металлургической, пищевой. К примеру, к последним относится концепция обеспечения безотходности не только за счет утилизации отходов или ресурсосбережения, но и за счет повышения селективности, т.е. выхода именно целевого продукта. В конце концов, эта концепция сводится к стремлению не бороться с отходами, а вести процесс так, чтобы они образовывались в минимальном количестве.

Современная экологизация предусматривает также не обезвреживание выбросов "вообще" в смешанном жидком или газовом сбрасываемом потоке, а локальное обезвреживание выбросов по возможности покомпонентно как можно ближе к источнику их образования. Этот подход является альтернативным по отношению к принятому у нас принципу создания глобальных очистных сооружений для нейтрализации или утилизации всей гаммы вредных выбросов.

Локальная очистка, максимально приближенная к источникам выбросов, как показал мировой опыт, оказалась гораздо более эффективным направлением экологизации, особенно в сочетании с концепцией безотходности. Пришли как-то к нам на кафедру (тогда кафедру химической и экологической техники!) руководители химфармаавода, на котором закрыли одно из производств за превышение в выбросах предельно допустимых концентраций высокотоксичного акрилонитрила. Попросили порекомендовать им хороших разработчиков очистной установки и исполнителей оной установки в металле. Судили-рядили и выяснили, что даже в ценах застойных времен установка эта влетит в копеечку, а сейчас и подавно. Загрустили гости. Предложил им взглянуть на проблему с другой стороны, так сказать, идти от конечной цели. Ведь им нужна не установка сама по себе, а отсутствие акрилонитрила в воздухе. Почти очевидно, что вещество это в воздух вообще можно не пустить, если отойти от нашей гигантомании и ввести в технологическую цепочку, в нужном месте, обычный скруббер или адсорбер. И стоимость такой локальной очистной установки будет исчисляться цифрами со значительно меньшим числом нулей, чем могло бы быть, пойди мы на традиционную схему улавливания в конце процесса всех и всяких нехороших примесей. Дальше - больше. Оказалось, что и без скруббера можно обойтись, если посмотреть внимательнее сам процесс реагирования акрилонитрила с нетоксичным вторым реагентом. Подают их в реактор, как это принято у химиков, в соотношении, близком к стехиометрическому. Поэтому и не связываются они полностью (“нет в мире совершенства!” - в технике тоже). А кто мешает подать второй нетоксичный! реагент в количестве, превышающем требуемое по стехиометрии? И не на проценты, а может быть, даже в несколько раз, чтобы гарантировать от проскока ядовитого газа. Можно и вообще ничего не выбрасывать, а организовать рециркуляцию, вернув все, что выбрасывается, в начало процесса. Говорят, мол, экономически все это невыгодно. А многомиллионная стоимость очистки выбросов? Куда выгоднее вкладывать средства - в системы очистки, мониторинги, в лечение людей и Природы или в совершенствование производства, чтобы сделать его экологически безопасным? При такой постановке вопроса ответ вроде бы однозначен. Но, увы, еще и сейчас редко кто комплексно оценивает все аспекты производства с учетом того, что оно, производство, стало частью экологической системы.

Думаю, что именно такая стратегия комплексного подхода к синергично связанным проблемам технологии и природы должна бы стать заботой даже вечно плачущих гуманитариев. Конечно, вкупе с грамотными “технарями”, которые блоху, может, и не подкуют, но уж обеспечить экономически оправданный экологический уровень технологической установки - могут. И приемы знают те, что позволят работать, если не совсем чисто, то чище. Тут и упомянутые уже процессы, идущие при избытке нетоксичного реагента, и рециркуляция, и локальные установки очистки, максимально приближенные к месту образования токсичного вещества. Это, говоря высокопарно, основные направления инженерной защиты природы. Есть и другие, но о них чуть позже.

Разговоры о дороговизне экологизации оказываются несостоятельными, если принять во внимание затраты не только на производство продукции, но и на природоохранные мероприятия, в частности, на очистку выбросов от токсичных веществ, предотвращение ущерба окружающей среде и т.д. Следует заметить, что принятое еще в СССР раздельное финансирование и отдельное проектирование технологических установок и установок природоохранного назначения уже тогда было анахронизмом, приводившим к появлению промышленных объектов с "забытыми" установками очистки выбросов (вспоминаю такой из-за выбросов огромного количества вредных веществ в окружающую среду срытый бульдозером с лица земли французский завод фурфурола в нашей Днепропетровской области). Этому также способствует остаточный принцип финансирования природоохранных объектов. Ну" забыли" купить у французов установку очистки агримуса – токсичного отхода производства фурфурола - снесли с лица земли единственный в стране завод фурфурола. При современном подходе установки очистки или утилизации должны быть составной частью промышленного объекта, включенной в основную технологическую линию.

Одним из наиболее эффективных принципов экологизации является комплексность в решении задач уменьшения степени зарязнения окружающей среды промышленными установками. При этом подразумевается не только использование безотходных или малоотходных технологий, не только применение оборудование для локальной очистки газов и жидкостей, а, прежде всего - решение комплексной задачи по созданию экологической техники как единства технологии и оборудования. Таким образом, принцип комплексности в этой синергичной трактовке подразумевает одновременное решение вопросов оптимизации аппаратурного и технологического оформления процессов.

Все рассуждения о необходимости экологизации останутся словами, пока не установлены четкие количественные характеристики экологических показателей систем на различных иерархических уровнях. Без этого невозможно заниматься оценкой различных методов производства и техники очистки газов и жидкостей, невозможно сопоставлять варианты решений, предлагаемых для конкретных производственных задач, наконец, невозможно заниматься оптимизацией экологической техники. Итак, заниматься всерьез вопросами экологизации производств невозможно без количественной оценки степени экологичности промышленных объектов. Единого критерия для этого пока не придумано. Пришлось в качестве такого количественного показателя использовать либо экспертные оценки (что как-то не соответствует высокому уровню коррупции в стране), либо отношение суммарного показателя по удельным выбросам вредных веществ (на единицу производительности установки) к аналогичному показателю для "идеальной" установки того же назначения.

Кроме общих принципов экологизации, учеными определены наиболее эффективные приемы для их реализации, в частности, применительно к перерабатывающим отраслям производства. Среди них также следует разграничить две тесно связанные между собой группы методов- режимно - технологические и аппаратурно - конструктивные. Наряду с традиционными для любой области техники методами (замкнутость структуры и многофункциональность оборудования, интенсификация) особенности перерабатывающих отраслей предопределяют использование некоторых специальных методов экологизации. Среди них:

- минимизация времени обработки и избыток одного из реагентов, приводящие чаще всего к повышению селективности и уменьшению образования побочных продуктов,
- рекуперация, замкнутость потоков вещества и энергии, приводящие к "идеализации" режимов синтеза и значительному уменьшению скорости побочных реакций,

- совмещение синтеза и разделения, гетерогенизация, позволяющие существенно уменьшить образование побочных продуктов за счет отвода целевого продукта из реакционной зоны в момент его образования,
- адаптивность технологии и оборудования, позволяющая обеспечить надежную работу технической системы за счет "внутренних" резервов (гибкости) установки, что уменьшает возможность залповых выбросов вредных веществ или получения некондиционного продукта.

Основной принцип экологизации - системность положен нами в основу показанного ниже алгоритма экологизации типичного химического производства:

1. Вначале выполняется анализ исходной информации, включающий обследование производства, ознакомление с данными экологических паспортов и другой экологической документацией, отчетными данными, актами обследований, проектной документацией, регламентами и т.п. Цель этого этапа- получить необходимые данные, провести декомпозицию производства по типовым уровням иерархии (например, производство- цех- установка- аппарат- контактная ступень- молекулярный уровень) и выявить лимитирующие, с точки зрения загрязнения окружающей среды, уровни иерархии.
2. Выбор методов воздействия на систему на лимитирующем уровне, соответствующих по режимным и геометрическим параметрам масштабу лимитирующего уровня. Предполагается использование сформулированного нами принципа соответствия, согласно которому необходимо подбирать методы воздействия, соответствующие, например, по амплитудно-частотным характеристикам амплитудно-частотным характеристикам объекта на лимитирующем уровне.
3. Технико-экономический анализ выбранных направлений и методов экологизации с составлением расчетов, учитывающих не только затраты на экологизацию и ее результаты в сфере производства, но и платежи за ресурсы, платежи за сверхнормативные выбросы и другие эколого-экономические показатели.
4. Выбор экспертами эколого-экономически оправданного варианта экологизации.
5. Составление исходных данных на проектирование (технического задания) по выбранному экспертами варианту экологизации.
6. Составление бизнес-плана по реализации намеченной программы экологизации с решением вопросов инвестирования, размещения заказов на проектирование, поставку оборудования, строительство и т.д.
7. Повышение эффективности химической техники.
8. Вспомним об эффективности.

Трудно назвать более популярную характеристику как оборудования, так и технологии, использованных в ХТС, чем эффективность. Особые затруднения вызываются тем, что по до синергийным традициям для каждого технологического процесса учёные правдами и неправдами придумывали новые критерии оборудования, что делало невозможным реализацию комплексного подхода к совершенствованию ХТС на основе синергийного подхода. Решить эту задачу стало проще, когда стали считать все характеристики эффективности определять с учётом того, что эффективность, в конце концов, характеризует степень достижения равновесия или полноты завершения процесса. О методах определения характеристик эффективности как локальных, так и комплексных, написано много книг и статей. Ограничусь приведением ссылок на них в списке литературы конце книги.

Наряду с комплексностью синергического подхода, выполнение необходимые требований экологичности, эффективности, экономики и др. обеспечиваются за счет достаточного высокого уровня гибкости. Под гибкостью при этом подразумевается количественный показатель, отражающий возможность работы технологии и оборудования в широком диапазоне изменения

внешних и внутренних параметров установки с заданными значениями уровня образования побочных продуктов. Можно воздействовать на ХТС, прежде всего изменяя ее гибкость. Воздействовать на объект можно также достаточно результативно, используя принципы "многократность использования ресурсов и энергии" и "максимальная селективность синтеза и разделения", смысл которых ясен из их названия.

5.2.Стратегия и тактика энергосбережения.

Проблемы энергосбережения и поиска альтернативных источников энергии актуальны для большинства стран мира. Для Украины же они являются просто «больными». Вопросов — масса. К примеру, почему мы так много говорим о безотходных технологиях, а отходов у нас больше всех в мире? Или другой: в Украине появилось множество проектов и разработок по альтернативной энергетике — солнечной, ветровой, волновой, а используем мы в основном зарубежные, и то весьма редко. Почему? Ответ, думается, на поверхности. В нашей стране до сих пор остается нереализованным системный подход к решению проблем энергосбережения на основе принципов, которые уже хорошо себя зарекомендовали в мире, а у нас все еще не вышли из сферы осознания лишь узким кругом украинских «энергетических» специалистов. А ведь именно системный подход необходим для фундаментальной составляющей современной экономики, каковой является энергоэффективность. И охватывать он должен и моделирование процессов, и иерархичность структуры, и множественность связей элементов, и неопределенность состояний, и чувствительность к помехам, и многое другое. Видимо, необходимо просто поменять акценты. Реальный эффект может дать только та методология энергосбережения, которая основана на системном анализе и во многом совпадает с методологией экологизации, о которой я писал выше. Лишь такой анализ позволяет сформулировать основные стратегические принципы и определить тактические приемы реализации этих двух направлений оптимизации, являющихся основой устойчивого развития. И работать здесь должны правила логики и здравого смысла. Хотел бы остановиться лишь на нескольких таких стратегических принципах энергосбережения, сформировавшихся в последние годы и уже при первых опытах, доказавших свою высокую эффективность. Один из них, получивший широкое распространение на Западе, — принцип индустриального симбиоза. Это совмещение якобы несовместимых объектов, материальных и энергетических потоков в единый энерготехнологический комплекс, связываемый этими потоками в сложную многоуровневую систему. А в ней уже «работают» практически все отходы (энергетические и материальные) одних производств в качестве вторичного сырья техногенного происхождения для других производств.

При таком симбиозе появляется возможность реализовать также известный принцип рециркуляции, когда не добиваются полного использования исходного сырья или энергии, а обеспечивают наиболее выгодные режимы переработки при экономически оптимальной конверсии (так называют специалисты полноту превращения сырья в целевой продукт — обычно 20—30 процентов), выделяя после этого готовый продукт (вещество или энергию) и возвращая неиспользованные ресурсы в начало процесса.

Существует еще концепция обеспечения энергетической малоотходности не только за счет утилизации энергетических отходов или ресурсосбережения, но и путем повышения селективности — выхода высокопотенциального целевого продукта. Главное в том, что эта концепция сводится не к стремлению бороться с энергетическими низкопотенциальными отходами, а требует вести процесс так, чтобы минимизировать их образование.

Современная энергетическая оптимизация технологии предусматривает также локальную обработку выбросов по возможности как можно ближе к источнику их образования. Это своеобразная альтернатива принятому у нас принципу создания глобальных сооружений для утилизации отходов энергии. Мировой опыт уже показал высокую эффективность такого направления, особенно в сочетании с концепцией индустриального симбиоза. Дороговизна локальных установок оказывается кажущейся, если учитывать затраты не только на производство энергии, но и на природоохранные мероприятия. Принятое у нас раздельное финансирование и отдельное проектирование технологических установок и установок природоохранного назначения — это вообще анахронизм, приводящий к появлению промышленных объектов с «забытыми» установками утилизации и очистки энергетических низкопотенциальных выбросов. При современном подходе установки утилизации должны быть составной частью промышленного объекта, включенной в основную технологическую линию.

Еще один достаточно эффективный принцип — комплексность в решении задач уменьшения энергопотребления промышленными установками. При этом подразумевается прежде всего решение комплексной задачи по созданию энергосберегающей техники как единства технологии и оборудования. Принцип комплексности в такой трактовке — это одновременное решение вопросов оптимизации аппаратурного и технологического оформления процессов.

Одна из основных проблем энергосбережения, которая постоянно на слуху, — переход на возобновляемые и экономически выгодные источники энергии. Здесь ситуация та же: много слов — мало дела. Сегодня так называемых альтернативных источников энергии у нас немало. Беда в том, что мы очень нерационально их используем: в основном фотосинтез и энергию ветра, немножко — гидроэнергию. Все остальное в буквальном смысле слова пропадает. Приведу несколько примеров.

Странная ситуация с запасами угля. Мы привыкли его сжигать. Но сегодня уголь, тем более такой некачественный, как, например, у нас в Западном Донбассе, стараются не сжигать, а с успехом используют для синтеза газа, пригодного для применения взамен природного. Соответствующие установки в Украине тоже есть. Но у нас такие технологии пока не востребованы. А за рубежом их давно и вполне успешно используют.

Еще пример — разработка днепропетровского ООО «СЭТ» (Современные экологические технологии). Это, по информации разработчиков, экологически чистая компактная мобильная установка непрерывного действия для переработки изношенных шин и резиновых отходов производительностью до 7000 тонн сырья в год. Продукты переработки: мазут, технический углерод, сталь, тепло, горючий газ. Преимуществ множество: мобильность, энергетическая независимость, экологическая, пожарная и взрывобезопасность, безотходное производство, ликвидная продукция.

В Приднепровском регионе активно идет и работа по производству биодизеля, многое уже сделано. Это экологически чистый вид топлива, используемый для замены, а следовательно, экономии обычного дизельного топлива. Сырье для его производства — растительные масла: рапсовое, соевое, арахисовое, пальмовое, отработанные подсолнечное и оливковое (уже использованные, к примеру, при приготовлении пищи), а также животные жиры. Биодизель может использоваться в обычных двигателях внутреннего сгорания как самостоятельно, так и в смеси с дизтопливом и некоторыми растворителями без внесения изменений в конструкцию двигателя. И при этом целый ряд преимуществ: биодизель менее токсичен, практически не содержит серы и канцерогенного бензола; обеспечивает значительное снижение вредных выбросов в атмосферу при сжигании; имеет

высокую температуру воспламенения (более 100°С), что делает его использование относительно безопасным; его источником являются возобновляемые ресурсы. Кроме того, производство биодизеля легко организовать, в том числе в условиях небольшого фермерского хозяйства, используя при этом недорогое оборудование. Эта технология уже получила широкое распространение в Германии, Австрии, Чехии, Франции, Италии, Швеции, США... У нас есть и необходимое сырье, и разработки, и специалисты. Почему же биодизель в Украине до сих пор не работает?

Приведенные примеры показывают: сегодня нам есть из чего выбирать. Между тем доля угля, нефти, газа, атомной энергии — так называемых невозобновляемых источников — уменьшается в мире из года в год. И при этом увеличивается энергетический «вклад» возобновляемых: ветра, воды, солнца.. Но источники энергии и того, и другого вида имеют свои положительные и отрицательные стороны. Их необходимо учитывать при системном анализе, подбирая технологии в соответствии со свойствами объекта, который мы рассматриваем. Всегда можно четко определить, когда какие рациональнее применять. Современный энерготехнологический и экологический инжиниринг основан не только и не столько на дизайне современной технологии, сколько на искусстве выбора щармонично – синергично подходящего оптимального оборудования и метода воздействия на систему. Делать это необходимо на базе системного анализа, синергии, концепции устойчивого развития и использования современных информационных технологий.

Для успешного решения проблем энергосбережения в Украине необходим качественный, высокопрофессиональный менеджмент. В этой связи нельзя не отметить некоторую усложненность иерархической структуры в энергосбережении. На каждом ее уровне, будь то Украина, отдельный регион страны, город, предприятие, квартира, должны действовать свои средства и методы, соответствующие определенному масштабу. Существует и определенная иерархия лиц, принимающих решения. И не надо одному из бывших премьер-министров заниматься остеклением домов — не его это вопрос, не его уровень. В его компетенции — макроэкономические решения. А централизованной установкой стеклопакетов, если это вообще целесообразно, должен заниматься менеджер на уровне города. Каждый обязан делать свое дело. Системный подход позволяет все это разложить по полочкам.

Системные подходы к энергосбережению на сегодня четко сформулированы. Определены три основных глобальных принципа:

1. использование рециркуляции вторичного сырья техногенного происхождения;
2. работа на всех трех основных стадиях — производства, транспортировки и преобразования, потребления энергии;
3. наибольшая эффективность на стадии производства энергии, а не ее потребления.

Недостаточно эффективно задействованы в процессах энергосбережения рыночные механизмы, ибо в них практически не вовлечены предприниматели и субъекты малого и среднего бизнеса. А составляющие успеха в данном случае — сочетание среднего и малого бизнеса и инновационных технологий, что приводит к появлению качественно нового технологического бизнеса. Малый и средний бизнес в контексте энергосбережения достаточно полно представлен в одном из разделов недавно еще работавшего американского сайта, посвященного украинскому бизнесу. Там была сделанная нами большая база данных украинских проектов (100 с лишним работ), достойных выхода на международный рынок. Причем представлены они не так, как мы обычно излагаем: наши проекты самые лучшие в мире, потому что лучше не бывает. Мы освещали суть разработок по вопросникам Мирового банка реконструкции и развития. Оказалось, что эти проекты никому в

нашей стране не нужны. А из- за рубежа поступают запросы, потому что Украиной в мире сегодня все же интересуются.

Для решения задач энергосбережения сегодня необходим совершенно другой инновационный алгоритм. Начинать нужно не с бизнес-планирования своей работы, а с создания информационного поля, поиска объектов, партнеров, инвесторов. И только потом осуществлять бизнес-планирование по конкретному проекту. Это азы технологического бизнеса. Из всего вышесказанного следует вывод: очень многому нам сегодня нужно научиться. А где-то, что, наверное, еще сложнее, переучиться, переориентироваться, отойти от привычных стереотипов деятельности. Низкий профессиональный уровень субъектов украинского энергорынка, к сожалению, — объективная реальность. Только учиться нам нужно фактически новым для нас вещам: технологическому бизнесу, профессиональному менеджменту, фандрайзингу, умению пользоваться информационными технологиями. Нужно перейти от бесплодных разговоров и нашей обычной созерцательности к реальной деятельности по энергосбережению. Убежден, что ее основой могут стать только системный анализ и современные информационные технологии. А следовательно, реализовать эту концепцию способны будут только специалисты, овладевшие ими.

В связи с этим, особого внимания заслуживает Концепция устойчивого развития (КУР), которая полностью включает, использует концепцию энергосбережения и развивает ее. Дальнейшей задачей концепции является интеграция решений в области энергосбережения и защиты окружающей среды с усовершенствованием системы сбора данных и аналитических методов. Необходим комплекс методов оценки последствий решений в экономической, социальной и экологической сферах. Это необходимо не только на уровне отдельных проектов, но и на уровне политики и программ. Анализ должен включать в себя оценку затрат, выгод и рисков. При выполнении этого анализа основную роль должен играть аудит, который сейчас рассматривают как интеграцию экспертизы и консалтинга для каждого проекта. К сожалению, в Украине сложилась практика, когда, зачастую непрофессиональными аудиторами выполняется лишь первый этап аудита и совершенно игнорируется необходимость выдачи профессиональных рекомендаций по устранению обнаруженных недостатков. Кроме того, обычно проводят совершенно независимо энергетический, экологический и технологический аудиты. Между тем, методы исследования при аудите и, главное, предлагаемые решения задач совершенствования объекта в этих видах аудита чаще всего идентичны или, по крайней мере, близки. Всегда одновременно с совершенствованием технологии улучшаются экологические и энергетические показатели объекта. Поэтому, видимо, давно следует проводить не автономные независимые аудиты, а комплексные эколого - энерго-технологические аудиты. Это полностью соответствует синергической идеологии, позволит значительно сократить время аудита, расходы и, главное, повысить его результативность и эффективность.

Основой современного подхода к реализации концепции устойчивого развития и решения задач энергосбережения как одного из важных факторов устойчивости является системный анализ, являющийся по своей сути прикладной диалектикой, который исходит из того, что любая система, в том числе и природно-техническая, состоит из находящихся в иерархической зависимости под- и надсистем. Причем проблема обеспечения требуемых энергетических и экологических показателей на каждом иерархическом уровне носит частный характер, в то время, как для реализации общей цели необходимо установить основные определяющие компоненты системы, их внешние и внутренние связи, закономерности функционирования системы и связь частных параметров подсистем с общим интегральным показателем ее функционирования.

Рассматривая стратегические основы развития экономики страны или ее отдельной отрасли, нельзя не учитывать интегральные показатели - индексы устойчивости развития. Современная методология энергосбережения, в значительной степени определяющего устойчивость развития, основана на системном анализе и, как отмечено, во многом совпадает с методологией экологизации. Именно системный анализ позволяет сформулировать основные стратегические принципы и определить тактические приемы реализации этих двух смежных направлений оптимизации, являющихся основой устойчивого развития сложных технических и экономических систем.

Некоторые из этих принципов имеют общетехнический характер (ресурсосбережение, рекуперация, утилизация низкопотенциальных энерговыбросов) и имеют особое значение для перерабатывающих отраслей промышленности, в частности, для химической, металлургической, пищевой. К примеру, реализуется концепция обеспечения энергетической малоотходности не столько за счет утилизации энергетических отходов или ресурсосбережения, сколько за счет повышения селективности, т.е. выхода высокопотенциального целевого продукта или отходов. В конце концов, эта концепция сводится к стремлению не бороться с энергетическими низкопотенциальными отходами, а вести процесс так, чтобы они образовывались в минимальном количестве. Современная энергетическая оптимизация технологии предусматривает также не утилизацию или обезвреживание предварительно смешанных выбросов энергии, а локальную обработку выбросов по возможности как можно ближе к источнику их образования. Этот подход является альтернативой принятому у нас принципу создания глобальных сооружений утилизации или нейтрализации сразу всей смеси отходов энергии. Локальная обработка, максимально приближенная к источникам выбросов, как показал мировой опыт, оказалась гораздо более эффективным направлением, особенно в сочетании с концепцией индустриального симбиоза. Дороговизна локальных установок оказывается кажущейся, если принять во внимание затраты не только на производство энергии, но и на природоохранные мероприятия, в частности на утилизацию энергетических выбросов, предотвращение ущерба окружающей среде.

5.3. Интенсивность ХТС.

Одним из наиболее эффективных параметров оптимизации для реализации идеологии синергии при совершенствовании ХТС является фактор интенсивности. Интенсификация многочисленных процессов, проводимых в гетерогенных системах, в частности, при контактировании газа и жидкости, дает возможность увеличить производительность аппаратов при уменьшении их габаритов, металлоемкости, стоимости и соответствующем сокращении необходимых производственных площадей и уменьшении эксплуатационных расходов. Кроме того, интенсификация технологических процессов зачастую позволяет получить новые эффекты, со-измеримые и даже превосходящие по значимости основные целевые эффекты (уменьшение инкрустации на внутренних поверхностях аппаратов или осмоления перерабатываемых веществ, увеличение селективности химических процессов, улучшение качества продукции, уменьшение энергетических затрат).

Для удобства дальнейшего изложения определимся с терминологией, связанной с декомпозицией систем по вертикали (см. табл.5.1.)

Табл. 5.1. Уровни иерархии ХТС

Уровень Иерархии	Уровень иерархии ХТС	Вопросы, рассмотренные в соответствующих главах

I (М)	Молекулярный и надмолек.структур	Обосновано использование новых РТ- и АК-методов интенсификации, дана их классификация с позиций синергии
II (КУ)	Контактное устройство (КУ)	Показана связь гидродинамических и массообменных характеристик с конструктивными особенностями КУ и используемыми методами интенсификации
III (КС)	Котнактная ступень (КС)	Обоснованы аппаратурно- конструкти-вные методы интенсификации
IY(А)	Аппарат (А)	Показаны пути реализации новых методов интенсификации при создании аппаратов в том числе аппаратов на основе блочно-модульного подхода
Y(ХТС)	Химико-технологическая система (ХТС)	Приведены данные по созданию и реализации новых промышленно важных технологий и оборудования

Работы по синтезу оптимальной ХТС целесообразно начинать на I иерархическом (молекулярном) уровне,когда определяют наиболее удачный вариант синтеза, кинетические особенности химического процесса, возможность совмещения химических стадий с тепломассообменными и взаимное влияние совмещенных процессов. Изучение этих процессов позволяет в первом приближении с использованием методов функциональной декомпозиции и эвристических принципов синтеза наметить вариант ХТС, пригодный для создания опытной установки (ХТС ОУ). Следует сразу заметить, что этот этап синтеза оптимальной ХТС не всегда удается формализовать с использованием современного математического аппарата, и результат во многом определяется опытом, техническим кругозором, интуицией разработчиков.

Анализ процессов на II—IV уровнях позволяет выявить лимитирующие стадии и сформулировать основные требования к конструкционным и технологическим параметрам ХТС, а также определить целесообразность использования тех или иных методов повышения качества их функционирования.

Итак, на I этапе синтеза оптимальной ХТС проводят декомпозицию создаваемой ХТС по горизонтали и по вертикали на подуровни, соответствующие различному масштабу объекта, а также анализ процессов па различных уровнях с целью выявления лимширующих уровней и стадий процесса. Дальнейшую работу проводят преимущественно на этих лимитирующих уровнях—определяют возможность уменьшения размерности ХТС, т. е. уменьшения количества подсистем по горизонтали путем, например, исключения или направленного совмещения отдельных стадий. На молекулярном уровне I эвристический синтез неотделим от анализа ХТС и исследований ЭТП на физических моделях, на которых изучают взаимное влияние совмещаемых процессов, определяют наиболее целесообразные методы интенсификации на лимитирующих уровнях.

Известно значительное количество традиционных и сравнительно новых способов интенсификации технологических процессов, протекающих, в частности, в газожидкостных системах. Их строгая классификация весьма затруднена, однако условно методы интенсификации можно разделить на два класса: комплексные, при которых к установке подходят как к единому целому, и декомпозиционные методы, при которых выявляют и интенсифицируют отдельные лимитирующие стадии процесса или элементы его аппаратурного оформления. Ввиду сложности процессов,

протекающих в гетерогенных системах, предпочтительным методом их интенсификации является декомпозиционный.

Под интенсивностью i любого технологического аппарата понимают отношение одной из целевых количественных характеристик (например, производительности или количества перенесенного тепла) к основной, чаще всего геометрической характеристике (V, F) рассматриваемого объекта (например, объему или площади поперечного сечения рабочей зоны). Для химического реактора интенсивностью является количество продукции, получаемое в единицу времени и отнесенное к объему аппарата, для теплообменного аппарата — количество тепла, переданное в единицу времени через 1 $м^2$ поверхности теплообмена, для массообменного аппарата — масса вещества, переданная единицей объема аппарата в единицу времени, для доменной печи — съем чугуна с 1 $м^3$ рабочего объема печи в единицу времени, а для мартеновской — съем стали с 1 $м^2$ пода печи в единицу времени.

Таким образом, интенсивность — это величина количественная, размерная. Тогда процесс интенсификации производства можно рассматривать как деятельность, направленную на повышение показателя интенсивности технологического оборудования. В этой связи общепринятое выражение «интенсификация технологического процесса» нельзя признать удачным. Правильнее было бы говорить об интенсификации оборудования, мерой которой является его четкая количественная характеристика — интенсивность i.

Для теплообменного аппарата получим:

$$i = \frac{Q}{F\tau} = \frac{KF\tau\Delta t_\tau}{F\tau} = K\Delta t_\tau = K\frac{\Delta t_н - \Delta t_к}{2{,}3\lg\frac{\Delta t_н}{\Delta t_к}} =$$

$$= \frac{\Delta t_н - \Delta t_к}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \sum\frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}\right)2{,}3\lg\frac{\Delta t_н}{\Delta t_к}}, \qquad (2) \qquad (5.1)$$

где К — коэффициент теплопередачи; F — поверхность теплообмена; t — время; — среднелогарифмическая разность температур; $\Delta t_н$ и $\Delta t_к$ — разность температур между теплоносителями на входе и выходе из аппарата; $a_г$, a_2 — коэффициенты теплоотдачи; в — толщина стенки, осадка; —λ_i теплопроводность стенки, осадка.

Эту зависимость можно использовать для составления алгоритма действий конструктора или разработчика по интенсификации конкретного теплообменного аппарата.

Такой алгоритм наглядно показывает направление изменения тех или иных режимных параметров процесса или конструктивных характеристик аппарата для интенсификации процесса теплообмена. Уже в самом начале из выражения 5.1 видно, что для интенсификации необходимо увеличивать движущую силу в начале процесса, коэффициенты теплоотдачи α_1 и a_2 для обоих теплоносителей, теплопроводность материала аппарата и инкрустаций; нужно уменьшать движущую силу в конце процесса и толщину стенки теплопередающих поверхностей и загрязнений. Таким образом, выражение (5.1) является краткой формой записи алгоритма интенсификации теплообменного аппарата. Далее можно развернуть это выражение для более четкого алгоритма деятельности по интенсификации и даже для определения лимитирующего уровня

Было бы неверно думать, что именно по этой методике мы проводили наши многочисленные исследования Однако алгоритма, приведенного выше мы придерживались и использовали для целого ряда других практически важных технологических процессов и аппаратов. При этом в

зависимости от лимитирующего иерархического уровня приходилось менять уровень и содержание параметров оптимизации. В табл. 5.2. показан вариант их примерной иерархии.

Табл. 5.2. Иерархия параметров оптимизации

Уровень иерархии	Параметры оптимизации	Примеры
Y	Экономический, технико-экономический (групповые показатели), Технико-экономический (комплексные показатели)	Показатели технического уровня производства
IY	Приведенные затраты (комплексные показатели	Интенсивность аппарата
III	Технические, технико- экономические (сложные показатели	Экономическая эффективность ступени контакта
II	Технический (комплексный показатель)	Удельное сопротивление одной теоретической ступени контакта, ВЭТТ, ВЭТС, ВЕП, удельный коэффициент массопередачи
I	Технический (простой показатель)	Скорость химической реакции

Кроме того, постоянно пополнялись и обновлялись банки РТ и АК - методов. В табл.5.3 показаны классификация и область использования РТ методов интенсификации

Табл. 5.3. Классификация и область использования РТ - методов интенсификации

Метод интенсификации	Используемый физический эффект	Приемы использования метода в процессах и аппаратах
Импульсная обработка контактирующих фаз,	Нестационарности, пульсационный, кавитационный, кумулятивного воз-действия, термодекомпрессии, электрогидралический Юткина, Джоуля,Томсона, Ранка, ударных волн	Циклическая подача фаз, химическая рециркуляция, создание колебаний в рабочей зоне, создание автоколебаний в потоках контактирующих фаз, импульсное изменение температуры, концентрации, давления
Совмещение технологи-ческих процессов	Гетеротенизации, электрические явления при фазовых превращениях, Марангони, Рэлея, Соре, Дюфура, термодиффузии, диффузиофорез	Совмещение процессов: Химических, массообменных, тепло-массообменных

Введение дополнитель-ного вещества в рабочую зону	Гетерогенизация, адсорбция, трибоэффект, кавитация, эффект ударных волн, диффузиофорез, оптимизация режимно – технологических параметров	Дополнительное вещество: катализатор, стабилизатор, инициатор, поверхность-образующий твердый агент, промежуточный теплоноситель, паровая фаза одного из компонентов, рециркулят, агенты: разделяю щий, десорбирующий, высаливающий, температура, давление, степень превращения, состав

Одновременно с выбором РТ – методов оптимизации осуществляется выбор соответствующих АК - параметров из другой базы, часть которой представлена в следующей таблице 5.4. Это один из самых ответственных этапов оптимизации требующий серьезных профессиональных навыков.

Табл. 5.4. Классификация АК-методов интенсификации

Метод интенсификации	Используемый физический эффект	Приемы использования метода в процессах и аппаратах
Обеспечение многократ-ности воздействия на фазы	Концевой, входной, капиллярный, инверсии фаз	Секционирование, чередование (зон контаткта– сепарации), пропускание через капиллярно – пори-стое тело
Конструктивная оптимизация гидродинамического режима	Инверсия фаз, Крауссольда, Рейнольдса, турбулизация и срыв пограничного сля, многократная инверсия фаз	Ударно – струйное взаимодействие фаз, соударение потоков, пленочное движение с турбулизацией, ячеисто-пенный режим взаимодей-ствия
Использование энергии контактирующих фаз	Жуковского, Бернулли	Турбулизация, закручивание, взаимное эжек-тирование, осциллирование, автоколебательные режимы
Использование внешних источников энергии	Двойной электрический слой, термофорез, кави-тация, диффузиофорез	Поля: магнитные, электрические, перемешивающие устройства
Оптимизация конструктивных параметров		Форма, соотношение размеров, материал, распределение фаз
Совмещение аппаратов	Эмерджентность, интерэктность	Однотипное комбинирование, агрегатирование, блочно – модульный подход, трансформирование структуры
Совмещение функция аппаратов и их частей		

5.4. Повышение эффективности химической техники.

Трудно назвать более популярную характеристику как оборудования, так и технологии, использованных в ХТС, чем эффективность. Особые затруднения вызываются тем, что по до

синергийным традициям для каждого технологического процесса учёные правдами и неправдами придумывали новые критерии оборудования, что делало невозможным реализацию комплексного подхода к совершенствованию ХТС на основе синергийного подхода. Решить эту задачу стало проще, когда стали считать все характеристики эффективности определять с учётом того, что эффективность, в конце концов, характеризует степень достижения равновесия или полноты завершения процесса. О методах определения характеристик эффективности как локальных, так и комплексных, написано много книг и статей. Ограничусь приведением ссылок на них в списке литературы книги.

5.5. Повышение гибкости химической техники.

Наряду с комплексностью синергического подхода, выполнение необходимые требований экологичности, эффективности, экономики и др. обеспечиваются за счет достаточного высокого уровня гибкости. Под гибкостью при этом подразумевается количественный показатель, отражающий возможность работы технологии и оборудования в широком диапазоне изменения внешних и внутренних параметров установки с заданными значениями уровня образования побочных продуктов. Можно воздействовать на ХТС, прежде всего изменяя ее гибкость. Воздействовать на объект можно также достаточно результативно, используя принципы "многократность использования ресурсов и энергии" и "максимальная селективность синтеза и разделения", смысл которых ясен из их названия.

5.6. Примеры использования РТ и АК- методов интенсификации.

В заключение этой главы хочу привести хотя бы несколько примеров использования для обеспечения требований синергии при использовании современных РТ и АК – методов совершенствования химической техники. Некоторые из них пока не включены в базы, ибо набор средств и методов синергии гораздо больше, чем приведен в таблицах.

Эффективным РТ-методом интенсификации является введение дополнительного вещества. Некоторые вопросы, связанные с использованием этого РТ-метода, освещены в следующих главах книги. Здесь же в качестве примера рассмотрим использование конденсационных эффектов и диффузиофореза при очистке и анализе германийсодержащих газовых смесей. Очистка и анализ выбросных газов аппаратов улавливания германия (барботажных скрубберов) из абсорбированных газов установок получения и очистки полупроводникового германия является достаточно сложной технической и научной задачей. Германий в этих газовых системах находится преимущественно в виде аэрозоля двуокиси и паров тетрахлорида. Соотношение этих соединений на входе и выходе из скруббера следующее, %: $Ge0_2$ 15—20; $GeC1_4$ 80—85; $Ge0_2$ 85—90; $GeC1_4$ 10—15. Известно, что концентрация паров влаги очищаемого газа при определенных условиях может оказывать существенное влияние на эффективность осаждения частиц аэрозоля. Повышение последней осуществляется за счет захвата частиц аэрозоля под действием гидродинамического течения, направленного к поверхности образовавшейся капли или к поверхности конденсации; за счет укрупнения и утяжеления частиц при конденсации на них пара (вокруг частицы образуется микропленка из сконденсировавшейся влаги), а также вследствие создания благоприятных условий для захвата частицы поглотителем (особенно гидрофобных частиц). Положительные результаты использования эффекта диффузиофореза для интенсификации процесса отделения частиц аэрозоля двуокиси германия от анализируемой газовой смеси позволили найти оптимальные условия проведения процесса, при которых обеспечивается наиболее полное осаждение частиц, и предложить методику анализа содержания германия и очистки отходящих газов производства полупроводникового германия.

Оптимизация как метод интенсификации в равной степени относится к АК- и РТ-методам. Однако, если оптимизация температуры, давления и конверсии является задачей технологии и в той или иной мере решается применительно к конкретным процессам, то задачи оптимизации контактного устройства, контактной ступени, всего аппарата в плане обеспечения оптимальной схемы движения контактирующих фаз и их распределения по сечению оптимальной формы, геометрии и размеров ставятся и решаются очень редко. По-видимому, это связано с чисто техническими трудностями экспериментирования на моделях аппаратов или их частей. Между тем даже немногочисленные работы, посвященные вопросам аппаратурно-конструктивной оптимизации, свидетельствуют о ее чрезвычайно высокой результативности.

Для увеличения интенсивности массообменных аппаратов могут быть использованы, РТ- и АК-методы. Действительно, можно применять такие РТ-методы, как увеличение скоростей контактирующих фаз с целью турбулизации поверхности раздела, организацию соударения фаз, закручивание потоков, наложение низко- и высокочастотных пульсаций на контактирующие фазы и целый ряд других методов, использование которых влечет за собой конструктивные изменения и, естественно, сочетается с привлечением АК-методов.

Также предложен ряд РТ-методов, которые, однако, связаны с АК-методами в значительно меньшей степени. Это циклическая подача контактирующих фаз, изменение давления и температуры, применение разделяющих агентов (азеотропная, экстрактивная, солевая ректификация), совмещение массообменных процессов с химическими и др.

Для интенсификации процесса в газожидкостном реакторе необходимо вначале определить лимитирующую стадию процесса. Если таковой является массоперенос, то необходимо обратиться к соответствующим РТ- и АК-методам. Для интенсификации собственно реакционного процесса в жидкой фазе следует использовать те РТ-методы, которые оказывают влияние на скорость химической реакции (увеличение давления и температуры, применение катализаторов, совмещение химических реакций и др.).

Интенсификации процесса способствует также уменьшение газонаполнения смеси в каждой ступени контакта, для чего целесообразно осуществлять распределенный ввод газа по высоте аппарата, уменьшать размеры сепарационного пространства (последнее оказывает значительное влияние на газонаполнение ступени контакта), наконец, по возможности использовать прямоточные секционированные аппараты. Нами сделан вывод о необходимости увеличения концентрации реагентов в реакционной смеси. Наиболее эффективным для этого является диссинергийный процесс совмещения реакционного процесса с массообменным, обеспечивающим одновременное с химической реакцией разделение смеси (о таких процессах читайте в следующих главах). Действительно, при удалении из реакционной смеси продуктов реакции по мере их образования можно обеспечить постоянную и даже увеличивающуюся концентрацию исходных компонентов в ступенях реактора. Это позволит получить высокие значения факторов интенсивности не только в первых, но и последующих ступенях реактора. Как видим, метод совмещения можно отнести не только к РТ-, но и к АК-группе методов.

Метод введения дополнительного вещества, относящийся к РТ-группе, в целях интенсификации иеполыуют сравнительно редко. Принципы подбора катализаюров, расчета и оптимизации каталитических реакторов широко освещены в литературе. Однако недостаточно внимания уделено такому результативному методу, как введение в зону контакта дополнительного промежуточного теплоносителя, при конденсации или испарении которого соответственно подводится или отводится тепло. Этот прием, называемый еще «организацией внутреннего теплообмена»,

примечателен тем, что позволяет осуществлять отвод или подвод тепла при максимальных значениях коэффициентов теплоотдачи. Кроме того, при его реализации зачастую получают побочные эффекты, не уступающие по значимости основному. К примеру, подавая в зону реакции промежуточный теплоноситель, кипящий при температуре, близкой к оптимальной для данного процесса, удается не только снять значительные количества тепла реакции, но и турбулизировать контактирующие фазы и облегчить перенос вещества из одной фазы в другую, исключить застойные зоны, при необходимости отвести вместе с парами промежуточного теплоносителя продукты реакции и т. п. Применение каждого из этих эффектов позволяет значительно увеличить интенсивность.

Кроме того, введение дополнительного вещества в ряде случаев (диффузия красителей, антибиотиков, эфирных масел и др.) приводит к появлению двойных диффузионных потоков в смешанных растворителях и значительно (даже на порядок) увеличивает скорость диффузии.

Эффект интенсификации газожидкостных массообменных процессов достигается введением разделяющих агентов и организацией, например, азеотропной, экстрактивной или солевой ректификации, а также использованием специальных добавок (например, тонкоизмельченного цеолита или ПАВ, изменяющих гидродинамическую обстановку процесса), улучшающих свойства абсорбента.

В последнее время в реакционных процессах, а также в процессах экстракции и фильтрации используют относящийся к РТ-группе сравнительно новый метод интенсификации — импульсное воздействие. При этом используются не только низкочастотные, но и высокочастотные колебания, а кроме того — и некоторые новые конструктивные методы создания колебательных режимов.

В книге нашел отражение также сравнительно новый метод интенсификации теплообменных и массообменных процессов и аппаратов, заключающийся в повышении их интенсивности за счет принудительного аэрирования жидкого теплоносителя.

Эффективным оказался также ввод газовой фазы при проведении экстракционных процессов в системе жидкость — жидкость, жидкость — твердое вещество. В то же время этот метод не получил широкого распространения для интенсификации газожидкостных процессов из-за быстрого затухания пульсаций вследствие демпфирования газа.

Ниже показана целесообразность организации пульсаций газа на каждой ступени контакта путем использования эффекта осциллирования газа в клапанных контактных устройствах.

Метод многократного воздействия на фазы, относящийся к АК-группе, реализован в тарельчатых аппаратах, однако последние не всегда обеспечивают достаточно высокие значения фактора интенсивности при их использовании для реакционных процессов вследствие малого времени контакта, недостаточных скоростей, слабой турбулизации фаз и др.

Простотой конструктивного исполнения и высокой надежностью отличаются барботажные реакторы в виде пустотелой или секционированной колонны с барботером в нижней части или барботажного газлифтного аппарата. Однако и эти аппараты не отличаются высокой интенсивностью вследствие низких скоростей фаз, значительного обратного перемешивания. В то же время, как показано далее, для целого ряда объектов секционирование газожидкостных прямоточных аппаратов с восходящим движением фаз клапанными тарелками позволяет добиться интенсификации за счет так называемой многократной инверсии фаз в значительном диапазоне нагрузок по газу и жидкости.

Практически неисчерпаемы возможности использования в целях интенсификации процессов источников внешней энергии и энергии контактирующих фаз. Автором предложены аппараты, где энергия фаз используется для организации эжектирования одной фазы другой или соударения контактирующих фаз.

В ряде случаев при осуществлении тепломассообменных или химических процессов, как показала практика, целесообразен переход от гомогенных систем к гетерогенным, что способствует турбулизации потоков, выравниванию концентрационных профилей. Обеспечение неоднофазности достигается введением в жидкость дополнительной газовой фазы.

Проведенные автором исследования свидетельствуют о том, что не менее перспективным может оказаться применение электрических и магнитных полей для интенсификации реакционных процессов, протекающих в диффузионной области. При осуществлении этого способа происходит индуктирование в жидкой фазе электрического тока и, следовательно, электрических полей Это вызывает микротурбулизацию жидкости в электромагнитных полях и приводит к интенсификации массопереноса Однако реализация способа возможна лишь в проводящей электрический ток среде Промышленное осуществление этого способа требует громоздкой технологической оснастки для создания электромагнитных полей (особенно для колонн больших размеров) и повышенных энергетических затрат, поскольку часть электрической энергии теряется на нагрев обмоток электромагнитов и жидкости, на преобразование одного вида энергии в другой, на преодоление магнитного сопротивления материала аппарата и воздушных зазоров между средой и магнитами. Указанные недостатки этого способа устраняются при предварительной ионизации фаз, позволяющей существенно интенсифицировать процесс массообмена при малых энергетических и материальных затратах и в тех случаях, когда интенсифицировать процесс с помощью электромагнитных полей невозможно Кроме того, путем изменения степени ионизации газовой (паровой) фазы, достигаемой, например, при изменении величины электрического потенциала на электродах ионизатора, можно регулировать скорость протекания процесса массообмена, при необходимости ускоряя или замедляя его.

С целью сопоставительного анализа магнитного и ионизационного способов интенсификации автором проведены исследования в пленочной абсорбционной колонне из немагнитного материала, по высоте которой создавали 5 поясов электромагнитных полей с индукцией 0,05 Т в каждом при противотоке контактирующих фаз (воды и углекислого газа). Поля создавали с помощью 15 электромагнитов по 3 в каждом поясе, подключенных к источнику трехфазного переменного тока. Полная потребляемая мощность установки составляла около 1300 Вт. При реализации ионизационного способа газ, вводимый в колонну, предварительно ионизировали в электрическом поле, пульсирующем с частотой 3000 Гц. Электрическое поле получали с помощью электродов, на которые подавали отрицательные переменные по величине электрические потенциалы. Нагрузки по фазам в обеих сериях опытов поддерживали одинаковыми. Интенсивность протекания процесса оценивали величиной коэффициента массопередачи. При реализации ионизационного способа достигнуто увеличение значений коэффициента массопередачи по сравнению со значениями, полученными при непосредственном воздействии магнитного поля, в 2,7 раза. В то же время расход электрической энергии на реализацию ионизационного способа оказался в 185 раз меньше (потребляемая мощность ионизатора составила 7 Вт).

В последние годы у нас в стране и за рубежом широким фронтом проводятся работы по использованию предварительной активации жидкостей в целях интенсификации реакторов и массообменных аппаратов. Показано, что предварительная дезинтеграция, кавитация,

омагничивание, электроактивация, вакуумирование, использование быстроохлажденных кипящих жидкостей и т. п. методы активации приводят к повышению pH воды до 12—13 и увеличению скорости многих химических и массообменных процессов.

Контрольные вопросы по главе 5

1. В чем различие принципа соответствия и принципа гармонии при проведении работ по совершенствованию химической техники?
2. Как обеспечить гармонию при совмещении химико-технологических систем?
3. По каким параметрам чаще всего обеспечивается реализации принципа соответствия при использовании внешних воздействий на оптимизируемую систему?
4. Что такое экологизация производства? Алгоритм єкологизации.
5. Назовите стратегические задачи и тактические приемы энергосбережения.
6. Зачем нужны индексы устойчивого развития? Приведите примеры таких индексов.
7. Как определить интенсивность теплообменного аппарата? Какие факторы воздействия являются прерогативой механика, какие – технлога.
8. Приведите примеры РТ и АК – методов интенсификации.

Литература

1. Федоткин И. М., Жарин Б. Н., Погоржельскин Б.Н. Интенсификация технологических процессов пищевых производств.— Киев : Техніка, 1984. I76 с.
2. Химико-технологические системы. Синтез, оптимизация и управление. Под ред.
3. И. П. Мухленова.— Л, : Химия, 1986.— 424 с.
4. Мандельштам Л. И.Лекции по колебаниям. М.Изд-во АН СССР, 1955.503 с.
5. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. 18с.
6. Synergetics. A Workshop / Ed. by H. Haken. 3rd ел. B. etc, 1977. 277 p.
7. Synergetics far from equilibrium/Ed. by A. Pacault, C. Vidal. B. etc, 1978 143p.
8. Pattern formation by dynamic systems and pattern recognition / Ed. bv H. Haken. B. etc, 1979. 305 p.
9. Dynamic of synergetic systems/ Ed. by H. Haken. B. etc., 1980. 271 p.
10. З а д о р с к и й В. М. Синергия в инженерной химии. Средства и методы. Просто о сложном. 2016. Palmarium Academic Publishing/ Germany/ с. 398
11. Задорский В. М. Интенсификация газожидкостных процессов в химической технологии, — Киев: Техника, 1979. — 198 с,
12. Задорский В. М., Фокин А. П., Яковенко М. М. К вопросу оптимального конструирования оборудования для технологических процессов получения химических реактивов. // Тр ИРЕА, выпуск 44 —М., 1982, — С. 185—200.
13. Рамм В. М, Абсорбция газов. — М. : Химия, 1976,— 656 с,
14. Розовский А.Я. Гетерогенные химические реакции, М, Наука, 1980.— 323 с,
15. Системное проектирование химико-технологических комплексов / Г. А, Статюха, И, М, Кисиль, И. И. Браславский; Под ред. И, Д. Зайцева. — К, : Техніка, 1983,— 120 с,
16. Кардашев Г. А., Михайлов П. Е. Тепломассообменные акустические процессы и аппараты.— М. Машиностроение, 1973,—223 с.
17. Synergetics. A Workshop / Ed. by H. Haken. 3rd ел. B. etc, 1977. 277 p.
18. Synergetics far from equilibrium/Ed. by A. Pacault, C. Vidal. B. etc, 1978 143p.
19. Кафаров В.В., Дорохов И. Н. Системный анализ процессов химической технологии (основы стратегии).— М. : Наука, 1976.— 499 с.
20. Кафаров В. В. Принципы создания безотходных химических производств, — М. :
21. Легасов В. А., Сафонов М. С. Гибкая химическая технология. Хим. пром-ть, 1985, N8.С. 471-477.
22. Нагиев М. Ф. Теория рециркуляционных процессов в химии,— М. : АН СССР, 1962.- 460 с.

23. Разработка аппаратов на основе унифицированных модулей для высокоэффективных химико-технологических процессов/В, В. Кафаров, В. П. Мешалкнн, Г. И. Манко, В. М. Задорский // Информ, бюл. Химич. пром, СЭВ, 4 {107}, 1984.—с. 36—38
24. Астарита Дж. Массопередача с химической реакцией, Л, : Химия, 1971,-224 с.
25. Верхопятницкнй П. Д. Справочник по модульному конструированию радиоэлектронной аппаратуры, — Л. : Судостроение, 1983.— 382 с,
26. Городецкий И, Я. Васин А, А., Олевский В, М. Вибрационные массообменные аппараты. — М.: Химия, 1980, — 100 с,

Глава 6. Каждому болту своя гайка. Как не изобретать велосипед?

6.1. Развитие методов поиска креативных решений (взгляд проф. Каца М.Д.).

Проблема повышения эффективности изобретательской деятельности возникла тогда, когда появились первые изобретения. Долгий путь поиска её решения начался с полного перебора всех возможных вариантов решения. Среди 1093 патентов, выданных Томасу Альва Эдисону, был патент №223898 от 27.01.1880 г на лампу с угольной нитью накаливания. Для решения этой задачи Эдисон перепробовал 6000 веществ, содержащих углерод, от обыкновенных швейных ниток, покрытых углем, до продуктов питания и смолы. Лучшим оказался бамбук, из которого был сделан футляр японского пальмового веера. На эту титаническую работу ушло около двух лет. Затем были предложены методы мозгового штурма, морфологического анализа, синектики и др. Длительная практическая проверка этих методов показала, что все они хороши для решения простых задач и неэффективны для задач сложных.

Наиболее существенным достижением в решении проблемы повышения эффективности изобретательской деятельности является теория решения изобретательских задач (ТРИЗ), разработанная Г.С.Альтшуллером. На основании анализа больших массивов патентной информации Г.С.Альтшуллер показал, что для устранения примерно полутора тысяч наиболее часто встречающихся технических противоречий имеется 40 наиболее сильных приёмов, дающих эффективные решения. Затем он разработал специальную таблицу, где по вертикали расположил характеристики технических систем, которые необходимо улучшить, а по горизонтали - характеристики, которые при этом недопустимо ухудшаются. На пересечении граф таблицы он указал номера приёмов, которые с наибольшей вероятностью могут устранить возникшее техническое противоречие.

В настоящее время ведутся активные работы по дальнейшему совершенствованию ТРИЗ, связанные в основном с разработкой компьютерных программ, помогающих изобретателю анализировать исходную ситуацию и находить в диалоговом режиме необходимые физические явления, типовые и стандартные решения изобретательских задач. Ещё в 1979 г. Г.С.Альтшуллер писал: "ТРИЗ пока не осиливает некоторые классы задач (получение новых веществ, выявление оптимальных режимов работы и т.п.). Со временем и эти задачи окажутся под силу ТРИЗ, здесь нет принципиальных затруднений" [2]. Однако этому пророчеству не суждено было осуществиться. И дело вовсе не в том, что сам Г.С.Альтшуллер и его многочисленные последователи уделяли недостаточное внимание поискам формализованных подходов к решению этих задач. Дело в принципиальном различии между техническими задачами, суть которых сводится к поиску

технических противоречий и выбору одного из множества известных способов их преодоления, и технологическими задачами, для решения которых нужно обладать определёнными знаниями. Именно такими (технологическими) и являются задачи получения новых веществ и выявление оптимальных режимов работы при разработке новых и совершенствовании действующих технологических процессов, чем призваны заниматься химики.

Для решения технологических и научных задач на уровне изобретения требуется большой объём специфических знаний. Например, при:
- Оптимизации в действующих и вновь разрабатываемых металлургических, химических, нефтеперерабатывающих, биотехнологических и др. производствах, необходимо знание зависимости выходного показателя (комплекса выходных показателей) от входных параметров технологического режима.
- Получении новых композиционных материалов (металлов, сплавов, резин, пластмасс, катализаторов, выпускных форм красителей и пигментов, смесевых лекарственных форм и др.) необходимо знание зависимости выходного показателя (комплекса выходных показателей) от соотношения исходных компонентов и условий переработки смеси в материал.
- Направленном синтезе химических соединений определённого класса, обладающих заданным комплексом потребительских свойств, необходимо знание зависимости этих свойств от взаим-ного расположения элементов структуры в молекуле.

В подавляющем большинстве случаев технологические и научные задачи по своим информационным характеристикам относятся к классу "больших" систем. Поведение этих систем определяется большим количеством входных параметров (>10) и выходных показателей (>1), а также существенной зависимостью выходных показателей от взаимодействия входных параметров.

Я привел эти выдержки из последних статей, к сожалению, недавно ушедшего от нас видного отечественного математика, д.т.н., проф.,академика Каца М.Д. лишь потому, что эти статьи появились после многократных моих дискуссий с проф. Кацем М.Д. об эффективности различных методик изобретательства. Для меня было очень важным его признание фактического бессилия специалистов по моделированию Человек дела, он после всех дискуссий написал следующее «Однако и на этом пути изобретателя ожидают практически непреодолимые методические и вычислительные трудности. Дело в том, что: "Процесс построения математических моделей не является формализованным. Он всегда содержит предположения, расчеты на их основании и сравнение с накопленной информацией" [5].

"Главным ограничителем познавательных и творческих способностей человеческого ума остается неспособность моделировать явления (и решать задачи) многофакторные по самой природе". [3]. . "Знание - это набор моделей окружающего нас мира" [4]. Поэтому остается единственный путь познания «больших» систем - построение их формальных математических моделей. Однако и на этом пути изобретателя ожидают практически непреодолимые методические и вычислительные трудности. Дело в том, что: "Процесс построения математических моделей не является формализованным. Он всегда содержит предположения, расчеты на их основании и сравнение с накопленной информацией" [5]. И дальше:

Предположения в "больших" системах, как правило, неконструктивны. Они в основном (из-за отсутствия фактических знаний) сводится к недопустимому упрощению реальной задачи. Например, таким: «изучаемые зависимости линейны, аддитивны, между входными и выходными переменными соблюдается гипотеза компактности, система стационарна, распределение переменных подчиняется нормальному закону и т.п.». Поэтому "построение математических моделей явления пока еще искусство" [6]. С помощью искусства "модельеры" пытаются преодолеть

многие нерешённые до сих пор методические проблемы идентификации "больших систем". Однако ни искусство, ни интуиция "модельеров" принципиально не позволяют компенсировать отсутствие знаний о закономерностях, определяющих поведение изучаемой "большой системы", или отсутствие соответствующих формальных методов построения её математических моделей.

Из-за существенного дефицита априорной информации о структуре модели и отсутствия корректных формальных методов идентификации "больших систем" возможности известных методов моделирования в реальных технологических задачах очень чётко определяются известным афоризмом: "Если в задаче меньше 3-х переменных - это не задача, если больше 8-и - она неразрешима" [7]. Анализ возможностей известных методов изучения "больших систем" приводит к неожиданному выводу: "Все созданные человеком "большие системы" неоптимальны и могут быть существенно улучшены". Из этого вывода вытекает парадоксальное следствие: "Все патенты, выданные на решение технологических и научных задач, в принципе могут быть заменены более сильными". Однако получить необходимую для создания более сильного изобретения информацию о изучаемой "большой системе" можно будет только тогда, когда будет решена главная задача искусственного интеллекта - с помощью формальных процедур (т.е. без участия экспертов) по имеющимся экспериментальным данным генерировать новые, не известные ранее специалистам системные знания о закономерностях, связывающих её входные и выходные переменные.

Думаю, что уже для всех студентов, читающим это пособие, стало ясно, что специалисты по моделированию, математики признали свое бессилие в решении задачи формализации изобретательского творчества.

Проф.Кац М.Д. все же попытался выйти из тупика и предложиль принципиально новый метод математического моделирования (метод мозаичного портрета) [8,9], позволяющий на основании исходных экспериментальных данных построить адекватную изучаемой системе математическую модель и с её помощью реализовать алгоритм изобретения в технологических задачах. Для студентов, сильных в математике, все же приведу очень коротко основные положения метода профессора:

Исходными данными для построения мозаичной модели является таблица экспериментального материала, каждая строка которой содержит значения входных параметров и выходных показателей в одной реализации изучаемого объекта.

Сущность метода мозаичного портрета заключается в следующем:

- Переход к измерению входных параметров и выходных показателей изучаемого объекта в дискретных шкалах.
- Переход входных параметров (Xi) к дискретным шкалам осуществляется с помощью следующей полностью формализованной процедуры. Диапазон вариации значений каждого вход-ного параметра делится на 3 поддиапазона из условия попадания в каждый поддиапазон одина-кового количества значений (почти одинакового, если число строк в исходной таблице не кратно 3). Каждому поддиапазону присваивается код - его номер в порядке увеличения значения соот-ветствующего входного параметра.
- Переход выходных показателей к дискретным шкалам осуществляется с помощью следу-ющей полностью формализованной процедуры. Выходной показатель кодируется бинарным кодом (Y=[Y]=1), если он удовлетворяет заданному ограничению [Y], и Y не=[Y]=0, если не удо-влетворяет этому ограничению [Y]. В случае, если выходных показателей несколько, обобщённый критерий формируется следующим образом: Y=[Y]=1, если каждый из выходных показателей (Yj) удовлетворяет заданным ограничениям ([Y]), и Y⍰[Y]=0, если хотя бы один з них не удовлетворяет этим ограничениям. Аналогично осуществляется построение сочетаний,

которые встречаются только в строках с Y=0. Каждое сочетание кодов поддиапазонов входных параметров, входящее в мозаичную. Модель, интерпретируется как формальная, непротиворечивая на данном материале гипотеза, описывающая системные закономерности изучаемого объекта (процесса, системы, явления). Каждая из этих гипотез, включающая более 2-ух входных параметров, является новой, нетривиальной, не известной ранее специалистам. Содержательная интерпретация полученных гипотез на языке соответствующей предметной области позволит специалистам "прорваться" в закрытую для них до сих пор область системных закономерностей о изучаемой "большой системе" и получить новые знания, необходимые для создания изобретения.

Все же меня не убедило все вышеизложенное о творческих поисках специалистов по моделированию, и я был вынужден продолжить работу над созданием своих эффективных методов поиска оптимальных решений. О том, что у меня вышло, читайте дальше. Я даже вынужден был написать целую книгу [10]. В монографии освещен широкий круг вопросов технологического преобразования реальной экономики, применительно, прежде всего, к химическим производствам. Использованы, в основном, результаты собственных научных разработок и результатов их коммерциализации. Их новизна подтверждена примерно 400 патентами и авторскими свидетельствами на изобретения автора или автора совместно с учениками. В основе монографии лежит использование идеологии системного анализа. Основное внимание обращено не только на развитие его теории, но и на разработку и практическое использование его средств и методов и, прежде всего, наиболее эффективного метода - синергии, вошедшей в нашу жизнь совсем недавно, но, к сожалению, пока так и не ставшей инструментом в большинстве сфер человеческой деятельности. Впервые показаны возможности синергии как инструмента, средства и метода обеспечения гармонии и принципа соответствия в реальной экономике, политике, бизнесе, вообще, в нашей многообразной жизни. Предложена, развита и всесторонне использована новая синергическая концепция креативности, которая основана не на случайном поиске решений методом проб и ошибок, не на плагиате у Природы ее решений (“Синектикс”), не на выявлении, а потом разрушении, преодолении, устранении, уничтожении противоречий (подход ТРИЗа), а на концепции объединения, взаимодействия, создания и усиления гармонии технических систем. Такой подход позволил автору создать принципиально новую технологию изобретательства и разработать новую концепцию и эффективную технологию креативного образования, достаточно успешно используемую при обучении студентов. Приведено множество не только известных средств и методов синергии, но и предложен ряд новых. Я уверен, что эта монография может быть полезной не только учёным, специалистам инженерного профиля, предпринимателям, тяготеющим к технологическому инновационному бизнесу, но и студентам и аспирантам.

6.2. Инженерные средства и методы оптимизации технических систем.

В технике системный анализ проводят не из любви к искусству, а с целью решения вполне конкретной и рыночной задачи – оптимизации системы. При решении этой утилитарной задачи любая многоуровневая техническая система (а других и не бывает!) с точки зрения оптимизации может быть охарактеризована на одном, лимитирующем, определяющем основные свойства системы иерархическом уровне. А тогда незачем заниматься оптимизацией всей системы, чем часто занимаются непрофессиональные специалисты не только в технике, но и в экономике, политике, при решении социальных проблем. Достаточно сформулировать и решить задачу на этом лимитирующем уровне, и это гораздо проще и дешевле. А, главное, как будет показано ниже, вполне возможно обойтись без далеко не всегда результативного процесса математического

моделирования. Наличие лимитирующего уровня– важное третье фундаментальное свойство любой иерархической системы.

И еще одно важное свойство, которое успещно используют при оптимизации, связано с тем, что мы живем в мире колебаний. На каждом иерархическом уровне системы обязательно имеются собственные колебания, с резонансной частотой и амплитудой. Амплитудно - частотные характеристики этих колебаний на каждом уровне определяются его так называемыми характеристическими размерами. Вспомним хотя бы о низкочастотных циклах Кондратьева в экономике, которые имеют большую амплитуду и низкую частоту, так как совершаются на самых высоких иерархических уровнях системы с большими характеристическими размерами. С другой стороны, вспомним о том, что температура любого тела определяется высокочастотными колебаниями его молекул, имеющих чрезвычайно малые определяющие размеры.

Параметры оптимизации системы на каждом ее иерархическом уровне различны по масштабу и определяются также его амплитудно – частотными характеристиками . В самом деле, на самых верхних иерархических уровнях работают глобальные параметры – так называемые, индексы устойчивости развития, на нижерасположенных уровнях – экономические параметры, ниже – технико- экономические параметры, затем - чисто технические и, наконец, на самых низких иерархических уровнях – кинетические (к примеру, константа скорости химической реакции или коэффициент массопередачи.

Алгоритм оптимизации, исходя из системного подхода, прост. Привожу его ниже с некоторыми пояснениями по каждому пункту:

1. Декомпозиция системы и получение многоуровневой иерархической лестницы. Т.е. мы как бы раскладываем по полочкам этой лестницы функционально способные элементы системы (подсистемы), уменьшая их характеристические размеры сверху вниз от полочки к полочке.
2. Анализ системы (определяют границы ее деятельности и роль всей исследуемой системы и каждой подсистемы, выявляют состав системы и уточняют ее структуру, определяют функции компонентов системы. выявляют причины, объединяющие отдельные части в систему, в целостность, определяют все возможные связи системы с внешней средой, рассматривают систему в динамике, в развитии и др.) .
3. Определение лимитирующего уровня системы. Это самая трудная творческая часть системного анализа, которая, чаще всего, эффектвность и результативность всей работы по совершенствованию системы. На этом этапе чаще всего используют метод экспертных оценок. Повышает эффективность работы также использование имеющихся или даже специально полученных кинетических данных о процессе, протекающем в технической системе. При ограниченности кинетических данных иногда приходится получать некоторые дополнительные данные о кинетике по оригинальным упрощенным методикам (к примеру, ограничиваются лишь получением данных по тенденциям изменения скорости процесса в зависимости от изменения условий его реализации).
4. Определение наиболее важных для технической системы характеристик. Наиболее часто автор использует амплитудно – частотные характеристик собственных колебаний системы на лимитирующем уровне. Ведь, наложение внешних возмущений с близкими параметрами колебаний вызывают резонансные явления в в системе, причем на лимитирующем уровне. Это явление мы назовем принципом соответствия или гармонии (о нем немного ниже).
5. Подбор режимно- технологических (РТ) и аппаратурно – конструктивных (АК) методов оптимизации, с диапазоном изменения выбранных (в нашем случае, амплитудно – частотных) характеристик, охватывающим характеристики (у нас параметры колебаний) объекта на лимитирующем уровне. Иными словами, целесообразно обеспечить резонанс

налагаемых возмущений с собственными колебаниями подсистемы на лимитирующем для всей системы лимтирующем уровне.

6. Проверка значимости и результативности принятых в п.5 решений на физической модели или непосредственно на системе . Цель проведения этого этапа заключается в проверке выполнения поставленной задачи.

Как уже показал опыт совершенствования целого ряда практически важных технических систем, использование этого алгоритма может быть полезным не только студентам при выполнении учебных проектов, но и в реальной практике совершенствования производственных объектов, так как:

- в основе достаточно оригинальной методики поиска нестандартных решений лежит не обычный метод проб и ошибок, аналогичный поиску иголки в стоге сена перебором соломинок (его часто обзывают еще "методом тыка"), а достаточно строгий системный анализ,
- с помощью такого подхода можно решать не только технические задачи, но и искать нестандартные эффективные решения в политике, экономике, социологии и др.,
- предлагаемая система творчества не грешит злоупотреблениями математическим аппаратом, в том числе математическим моделированием и оптимизацией, и не требует прибегать к сложным компьютерным программам (типа белорусской "Изобретающей машины", основанной на использовании ТРИЗа, предложенного Генрихом Альтшуллером),
- метод пригоден для специалистов любого профиля не требует дополнительного специального образования.

Для удобства дальнейшего освоения этого алгоритма, запишем его в более кратком изложении. Это позволит каждоиу студенту запомнить все шаги алгоритма развиваемой методики поиска нестандартных решений или,в крайнем случае, легко найти его. Это важно, так как нам часто придется к нему возвращаться.

1. Декомпозиция системы и получение многоуровневой иерархической лестницы.
2. Анализ системы.
3. Определение лимитирующего уровня системы.
4. Определение основных, к примеру, амплитудно – частотных характеристик собственных колебаний системы на лимитирующем уровне.
5. Подбор в созданных нами базах данных режимно- технологических (РТ) и аппаратурно – конструктивных (АК) методов оптимизации, близких по характеристикам к характеристикам объекта на лимитирующем уровне.
6. Проверка значимости и результативности принятых решений.

6.3. Примеры использования методики поиска оптимальных решений или совершенствования технических систем.

Давайте начнем с самых наглядных, но далеко не самых простых, бытовых примеров, не требующих серьезной химической, да и, вообще, какой-либо технической подготовки.

Пример 1. Приготовление кофе из обжаренных зерен. Эту задачу мы начинали рассматривать выше как бытовую задачу. Теперь попробуем решить ее на заводском уровне.

Задача была сформулирована на одном из Днепропетровских заводов, где была очень продвинутая технология получения растворимого кофе на установке, по-моему, шведской фирмы Альфа Лаваль, производившая когда-то лучший в СССР растворимый кофе. Был я на заводе с моими аспирантами. Мимо проезжала машина с остатками молотых зерен кофе после экстракции из него

целевого продукта. Запах кофе от нее был дурманящий. Задумались мы с ребятами, сколько же в этих отходах осталось неэкстрагированного кофеина, если от них такой запах. Сделали анализ. Оказалось много, не буду тревожить шведов указанием концентрации. Стали смотреть технологию. Оказалось, кипятком экстрагировали целевой продукт из молотых зерен, загруженных по - моему в шесть емкостных аппаратов, пропуская через них последовательно по этой цепочке кипяток. Затем последний по ходу аппарат выключали на выгрузку, а подключали в начало цепочки новый только что загруженный аппарат. Вот и вся нехитрая схема.

Завод почему-то не захотел с нами сотрудничать, скептическое отношение к возможностям украинской науки достаточно хорошо известно. Обиделись мои ребята, решили проводить поиск оптимального решения по оптимизации процесса экстракции кофе на домашней кофеварке – была у меня такая, где объем разделялся на две части перегородкой с трубкой и камерой для молотого кофе между закрытой и открытой частью. Попробуем пройтись по вышеприведенному алгоритму поиска технических решений.

Пункт 1 выполнили просто, представив объект в виде иерархической лестницы с уменьшением определяющего размера (мысленно поверните цепочку вертикально): цех растворимого кофе - установка экстракции - емкостной экстрактор - загрузка молотого кофе - крупинка молотого кофе - капилляр - молекулярный уровень.

Довольно быстро выполнили пункт 2, медленнее и не без споров определили с ребятами лимитирующий уровень - пункт 3. Сначала решили, что определяет эффективность процесса экстракции периодическая (по загрузке кофе) и непрерывная по подаче кипятка схема движения потоков – твердого и жидкого. Но потом сообразили, что вряд ли фирма, производящая такие установки больше сотни лет, не сообразила бы это без нас. Посчитали, прикинули и поняли, что фирма выбрала наиболее простой и дешевый вариант.

Оставили этот уровень в покое. Перешли к экстрактору. Вначале хотели интенсифицировать процесс, налагая вибрационные поля, перемешивая, встряхивая и т.д. Во - время сообразили, что крупинки будут истираться в пыль, и качество кофе будет ухудшаться. И крупинки по этой причине трясти не стали. Дошли до уровня капилляров. И, вот тут мы и застряли. Оказалось, что именно здесь процессы диффузии кофе из твердой фазы в жидкую были наиболее медленными. Во- первых заполнению капилляров горячей водой мешал воздух, находящийся в них и никак не хотевший покидать их. Когда, наконец, капилляры заполнялись водой, процесс молекулярной диффузии кофе с внутренней поверхности капилляров в жидкость происходил относительно быстро. А затем снова беда, жидкость с растворенным в ней кофе никак не хотела покидать капилляры. Да еще оказалось, что для увеличения полноты извлечения кофе хорошо бы этот процесс повторить несколько раз. Мы нашли решение этой задачи для завода, но завод побоялся реконструировать или хотя бы ставить опыты на шведской установке. В те времена еще не было рыночных условий хозяйствования, был период стагнации. Сейчас бы они, наверное, решились бы. Это же живые деньги!

Самым трудным оказалось обеспечить быстрое удаление воздуха из капилляров и пор кофейных зерен. Уж очень мал был коэффициент диффузии молекул всех составляющих воздух газов (порядка 10^{-8} $м^2/с$)/ А закон Фика неумолим. Все попытки как-то обойтись без молекулярной диффузии, к примеру, организовать горение в капиллярах или какую-нибудь подходящую химическую реакцию, оказались безрезультатными. Пора, как часто бывает при решении таких сложных изобретательских задач, вспомнить великолепную старую поговорку, которая часто выручает в подобных случаях – “умный в гору не пойдет, умный гору обойдет”. Т.е. не стоит

ломать копья и пытаться решить задачу в лоб. Надо искать обходной путь для удаления воздуха из капиллярно – пористого тела, каким в рассматриваемом примере является кофейное зерно.

И такой путь нашелся. Оказался он, как это часто случается в изобретательстве, на удивление простым. А что, если заменить воздух каким-то легко исчезающим затем газом. Исчезающим либо за счет связывания в быстроисчезающий (к примеру, за счет растворения) твердый продукт, освобождающий от воздуха почти весь объем капилляров и пор, либо за счет хорошего и быстрого растворения этого газа – заменителя воздуха в жидкости, заполняющей по нашей задаче поры и капилляры, либо, наконец, конденсирующегося пара этой самой жидкости.

Последний вариант оказался наиболее простым и эффективным. Ведь, если заполнить поры каким-то паром вместо воздуха (а это можно сделать быстро, потому, что происходит новый процесс - десорбция воздуха паром, и коэффициент диффузии этого процесса - порядка 10^{-4} $м^2/с$, т.е. в 10 000 раз выше чем при молекулярной диффузии составляющих воздуха в жидкость), а потом охладить объект наших мучений, то пар в капиллярах сконденсируется и объем получившегося конденсата будет почти в 1000 раз меньше, чем объем пара, заполнявшего капилляры и поры. А что останется вместо пара? Подумайте. Правильно, вакуум. А в экстракционной (или пропиточной) камере тоже вакуум? Нет, конечно. То давление, которое было до конденсации, обычно атмосферное. И вот, под действием этого перепада давления жидкость, буквально со свистом, заполняет капилляры. И скорость этого процесса – уже не минуты или часы, а доли секунды. Пора праздновать, задачу мы с вами решили!

Но, не все так просто. Должен, уважаемый студент, вас огорчить – практически любое изобретенне обязательно имеет свой секрет – “know how” (ноу –хау, знать как), секрет производства. Есть он и в нашем случае. Нужно “угадать”? а лучше рассчитать температуру используемого пара. Он обязательно должен быть ”сухим”, перегретым по-научному. А, вот до какой температуры – это и есть ноу –хау. Если слабо перегреть, капилляры при его конденсации заполнятся конденсатом и придется много времени и энергии затратить на то, чтобы освободить капилляры от конденсата. Если слишком сильно перегреть, не будет конденсации, а, значит, ничего мы не добились. Как угадать? При экстрагировании кофе, это оказалось несложно, ведь мы имеем дело с водяным паром. А в химических производствах, где подобных задач тьма – тьмущая? Все гораздо сложнее. Приоткрою тайну. С этим ноу-хау можно побороться, если предварительно, до подачи пара нагреть твердое пористое тело до температуры выше конденсации пара конкретной жидкости, подаваемой потом в аппарат. Вот теперь задача решена и можно отпраздновать это событие.

И все же, в случае кофе нужно как-то организовать многократное (хотя бы 2 – 3 раза) повторение процесса экстрагирования, чтобы извлечь как можно больше кофеина из зерен. Ну, что же, перейдем на домашнюю кофеварку и будем “мучить” ее. Называется это физическим моделированием на реальной системе. Студенты, думаю с удовольствием, займутся решением этой дополнительной, новой задачи. Выполним 4-й шаг алгоритма. Выясним, что частота на лимитирующем уровне для капилляров различного размера должна быть где –то в пределах 0,2 - 1,5 гц, а амплитуда – 1 -2 мм. Эти сведения позволяют перейти к реализации 5 пункта алгоритма. Можно использовать наложение колебаний требуемой частоты и амплитуды, дабы вызвать резонансные колебания внутри капилляров. Вы думаете задача решена? Ничего подобного! Как решить эту техническую задачу просто и недорого? Один из аспирантов вспомнил, что когда он жил дома, он принимал ванну (в студенческом общежитии есть только душ). И вот губку, которую он использовал в ванной для намыливания он сжимал рукой – мыло выходило из капилляров, а

когда освобождал, то упругая губка возвращалась к прежней форме и капилляры заполнялись водой. Если бы крупинки молотого кофе тоже были бы упругими и возвращали первоначальную форму, задача была бы решена, хотя бы в первом приближении.

Проверили, оказалось, что нам повезло – крупинки кофе обладали упругостью. Осталась, казалось бы, совсем простая задача – создать переменное давление в капиллярах. Но, ведь, пресс использовать – дорого! Никто на это не пойдет. Пришлось моим ребятам (заставлял их думать, пусть становятся креативными!) вспомнить изучавшийся в школьной физике, а затем и в вузе, закон Бернулли. Он известен уже много лет лет и заключается в том, что при движении потока сумма статического (давления) и скоростного напоров является постоянной величиной. Если по пути движения потока уменьшать сечение трубки (например, частично сплющить ее), то скорость потока увеличится, допустим в пять раз, значит скоростной напор вырастет в 25 раз, а, следовательно, чтобы сумма напоров была постоянной, пропорционально уменьшится статический напор в зоне сплющивания, а на выходе из нее вновь увеличится. А, ведь, именно этот напор нам нужен, его мы должны менять. Так можно делать столько раз, сколько надо, чтобы получить максимальную полноту извлечения кофе. Все это можно реализовать, если трубочку между камерами кофеварки использовать для пропускания всей суспензии из нижней части аппарата в верхнюю, выполнить в виде змеевичка, а на трубке сделать пережимы, сколько вам захочется или вы это уточните после испытаний на кухне, без хотя бы нескольких попыток не обойтись. И эта задача решена!

Я, насколько это возможно в рамках этого пособия, показал схему реализации алгоритма и логику поиска оптимального решения. Вопрос о том, как перенести результаты, полученные на физической модели, на промышленную установку оставляю в качестве домашнего задания студенту. Тем более, что заявку на патент пока так и не оформили. Никто не захотел возиться. Слишком много было у нас в те времена интересных решений для химических предприятий на уровне изобретений. Сейчас я так не думаю, поэтому предлагаю потенциальным изобретателям – студентам или аспирантам попробовать свои силы, конечно, доработав изложенное выше.

Продолжение примера 1.

Рассмотрим еще один, в этот раз, шутливый вариант примера 1, который придумали, конечно же самые большие шутники в Украине – одесситы. А , если честно, не знаю, это шутливая или, в самом деле, реальная творческая задача. Она тоже связана с зернами кофе. Дело в том, что еще с 20-х годов прошлого столетия занимался бизнесом в нашей стране А.Хаммер (да-да, тот самый, который, вроде, по договорености с Лениным нашел колчаковский золотой эшелон, себе забрал картины, а Ленину отдал золото). Где-то уже в крайне преклонном возрасте он предложил властям бывшего Союза “проект века” - построить где-то в Поволжье несколько американских или японских очень мощных заводов аммиака (их называли “миллионниками”), построить от них газопровод высокого давления для жидкого аммиака до Одессы. В Одессе построить терминал для загрузки аммиаком танкеров, которые прямым ходом направлять в США. Этот грандиозный проект был реализован, труба аммиакопровода до сих пор висит над Днепром недалеко от Днепропетровска. Достаточно долго проект успешно работал и даже был усовершенствован – в обратный путь из США танкеры - челноки загружали не жидким аммиаком, а сыпучим зерном – пшеницей. Так бы и продолжалось, если бы какой-то чиновник не предложил вместо зерна пшеницы загружать корабль бобами кофе. И вот тут появилась та самая, уж не знаю, шутливая, или нет задача. Обидно было портовикам, что такой дорогой продукт, как кофе перегружался из танкеров в вагоны и ничего не оставалось в порту. Ну как это могли стерпеть одесские юмористы?

Домашнее задание – как можно решить эту шутливую задачу, используя алгоритм поиска нестандартных решений, который мы с вами осваиваем. Подскажу – для решения задачи можно использовать метод аналогий (до кофе из Америки возили зерно, танцуйте от этого места). Желаю успеха.

Если вы одобряете принятый в этой главе отнюдь не научный, а почти бытовой стиль изложения, и выбор, вроде бы, наиболее простых объектов, перейдем к следующим примерам, где будет показано, как можно принципиально изменить и улучшить мясорубку и стиральную машину. Попробуем использовать не только конструктивные, но и режимные приемы оптимизации. Хотите?

Что касается примеров, которые выбраны при изложении в этом пособии, то можно, конечно, перейти на конкретные области химической техники, но это усложнит понимание предлагаемых подходов из-за того, что студенты еще не владеют в достаточной степени особенностями конкретных химических производств. Поэтому и дальше будем совершенствовать простые, общедоступные, знакомые всем технические системы и отрабатывать на них методику, средства и методы решения творческих задач, которые в дальнейшем можно использовать в самых различных областях деятельности.

Пример 2. От кофе – к аккумулятору для ракет. Один из моих оппонентов в блогах (я называю таких очень обидно для них – ”гавкеры”, соединив собачий лай с термином “хакер”) ответил на этот вопрос: ” Лучше не надо. Велосипед уже изобретен!”. Вообще, к подобным гавкерам я отношусь с большим уважением и всегда говорю об этом студентам и аспирантам. Я говорю, если у тебя нет оппонента или врага, надо его найти или взрастить. Если не получается – женись (или выйди замуж) – тогда точно оппонент или враг появятся (шучу, конечно). Но без врагов нет прогресса, нет развития (устойчивого или неустойчивого). Вот такая философия. А теперь всерьез. Честно говоря, не очень понял, что считает “ велосипедом ” гавкер. Если системный подход, то не я его придумал, о его истории даже специальную главу в этом пособии и статьи в блогах разместил. Может, это и “велосипед”, да только все – и технари, и ученые, и политики, и экономисты и даже гавкеры клянутся, что на основе системного подхода живут и процветают, а никто его всерьез не использует. К примеру, я уже писал о том, что все нынешние реформы в нашей стране просто вопиюще противоречат системному подходу. Алгоритм, который я предложил выше, касается СРЕДСТВ И МЕТОДОВ применения системного подхода для поиска нестандартных решений во многих областях деятельности и относится к теории принятия решений, которая, к сожалению, пока неведома не только студентам, но и многим официальным лицам, призванным что-то решать и реформировать.

Кстати, об изобретении велосипеда. Не знаю, известно ли вредному гавкеру (помню, что его ник был “Шаман”) о том, что в последнее десятилетие и велосипед претерпел революционные изменения. Вместо 20 кг он теперь весит 5 - 7 кг, так как широко используется для его изготовления новое поколение легких, прочных, коррозионностойких материалов (алюминий, титановые сплавы, карабон и другие углепластики, полимеры и т.д.). Велосипед теперь имеет не одну, а до полусотни скоростей (благодаря надежным устройствам переключения скоростей, предложенных совсем не нашими гавкерами, а специалистам японской корпорации, по иронии судьбы, с почти шаманским звучанием - “Shimano”). Появились уже и в Украине очень перспективные опять же не шаманские, а китайские велосипеды с электрическим приводом на одном из колес. Я понимаю, что микродвигатели и мы могли бы сами приделать к колесу, но вот малогабаритный, легкий аккумулятор, обеспечивающий обычному велосипеду скорость до 40 км/час и пройденное расстояние без его подзарядки до 100 км, это уже что-то невероятное.

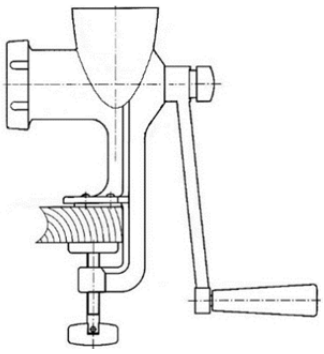
Опять кстати, к сведению шаманов, изложенная в первом сообщении из этой серии технология извлечения кофе была развита нами с участием студентов в новую технологию пропитки никелевых электродов именно для инновационных никель – кадмиевых аккумуляторов, которые когда-то выпускались в Луганске (для ракет, самолетов, танков). Технология в десятки раз уменьшала время изготовления электродов, а, значит, и стоимость аккумуляторов, упрощала аппаратурное оформление процесса, улучшала качество аккумуляторов, но шаманов она не заинтересовала и они купили за миллионы долларов, по-моему во Франции, автоклавные линии пропитки (по нашей технологии ни давления, ни вакуума в аппаратах создавать не нужно). К сожалению, это производство аккумуляторов уже больше десятилетия стоит. А мы наращиваем выпуск тяжелых, дорогих свинцовых аккумуляторов на экологически опасных производствах Иста – Веста в непосредственной близости от жилых массивов, затягивая свинцовую удавку на шеях горожан. Вот к чему приводит ”шаманство ”. Не будем более обсуждать этот важный объект, хотя бы потому, что многие сферы его использования относятся к оборонной технике. Будем считать, что решения, найденные для экстрагирования кофе, могут быть основой для современной технологии экстрагирования и пропитки капиллярно – пористых тел в химических производствах, таких как обработка древесины, получение нанокомпозитов, изготовление электродов для электродуговых печей в металлургии, производство пропитанных катализаторов, бумаги, тканей, корпусов ракет, лодок, велосипедов и т.д. Студент может самостоятельно продлить этот перечень, если пожертвует несколько листов бумаги.

Пример 3. От аккумулятора – к бытовой мясорубке.

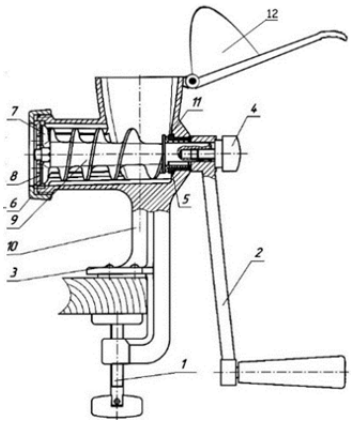
Покажу, как реализуется системный подход на примере самого простого бытового прибора – мясорубки. Вначале остановимся на п.2 алгоритма – анализ системы. Главу одной из следующих книг, я посвящу современным методам патентного поиска, а пока поверьте тому, что напишу о мясорубках, на слово. О мясорубках с ручным приводом говорит не будем, их время прошло. В любом более или менее приличном ресторане вам объяснят, что бывают блюда из рубленого (в лучших ресторанах вручную!) мяса, а бывают из ”жеваного” в электрической мясорубке типа дезинтегратора, где вращающийся с огромной скоростью нож разрывает мясо чуть ли не до молекулярного размера, когда его вкус существенно ухудшается (вспомните термин ”столовские” котлеты, специфический сомнительный вкус которых объясняется не только большим количеством добавленного хлеба и костной муки, но и методом измельчения мяса).

Рассмотрим, как реализуется системный подход на примере самого простого бытового прибора – мясорубки. Да, той самой мясорубки, которую придумали очень давно - кухонная универсальная машина – приспособление, что служит для режуще-механической обработки продуктов. Мясорубка чрезвычайно удобна для приготовления самого широкого спектра блюд и активно применяется как в домашних условиях, так и в системе общественного питания.

Отличительная черта ручной мясорубки в том, что она крепится к доске стола. В действие мясорубка запускается путём механического вращения специальной ручки. Иногда к ручной мясорубке добавляют жерновую кофейную мельницу, шинковку, сбивалки. Тогда этот набор торжественно называют кухонной машиной. В отличии от электрической, ручная мясорубка более неприхотлива и мобильна в использовании. Ею и займемся.



а



б

Рис. 6.2 а,б. Бытовая мясорубка. 1. Зажимной винт, 2. Рукоятка,3. Опора, 4. Винт, 5. Втулка, 6.Гайка нажимная, 7.Нож, 8. Решётка, 9. Шнек, 10. Корпус, 11.Втулка шнека

Каждый знаком с традиционной бытовой мясорубкой, показанным на рис.6.2 а,б. Казалось бы, его так давно придумали, что улучшать в конструкции мясорубки уже нечего. Разве что немного облегчить жизнь кулинара, приделав к мясорубке электропривод. Если хорошо подумать, то можно еще придумать нажимное устройство 12 для загружаемого в мясорубку сырья для хоть какого-то облегчения ручного труда. Так как в ручной мясорубке используется ручной труд человека, то работа ее зависит непосредственно от затрат человеческого труда. Т.е. вращение шнека и проталкивание мяса, других сопутствующих продуктов и т.д. осуществляет человек. Обычно студенты предлагают установить на мясорубку прижимной механизм (крышку). Такая модернизация облегчит работу человека, соответственно сократит время, потраченное на перемалывание мяса и его обработку. Данная техническая система может модернизироваться в верхней части корпуса мясорубки, путем установления прижимного механизма 12, совмещенного с крышкой. Это позволит нам сократить время для обработки мяса и продуктов и, соответственно, облегчить труд человека.На этом фантазия студента обычно заканчивается. Если обратить внимание на низкое качество измельчения мяса, большие усилия, которые, зачастую, женщинам (реже мужчинам), приходится прикладывать к ручке 2, забивке продольных углублений в корпусе мяса, “навивкой” кусков мяса на шнек и необходимостью частого проворачивания его в обратную сторону для их освобождения и т.д. их креативность пробуждается крайне редко.

Не намного, впрочем, лучше качество измельчения и в мощных шнековых мясорубках, где мясо с диким усилием продавливается через решетку с малыми отверстиями, эффект которой примерно идентичен дезинтегратору. Можно ли получить рубленое мясо в обычной мясорубке? Будем считать после этого вопроса пункт 2 вышепроведенного алгоритма выполненным, так как мы имеем практически всю необходимую информацию, чтобы двигаться дальше. Не будем терять время на создание иерархической многоуровневой лестницы для рассматриваемого случая. Задача простая, рекомендуется студенту сделать это самостоятельно. Самый трудный пункт алгоритма, номер 3 можно легко разрешить, если учесть, что электромотор и шнек не могут быть лимитирующими, так как легко выполняют свои функции в широком диапазоне параметров, характеристик, т.е. являются ” гибкими” (надо привыкать к новой для многих студентов терминологии). Впрочем, их гибкость также можно увеличить, если снабдить мясорубку недорогим переключателем, обеспечивающим реверсивность вращения шнека для очистки продольных каналов и режущего блока от “застрявшего” мяса.

Хуже дело для пары “ нож – решетка”. Здесь - как раз те ограничения, которые позволяют не переступать грань ”рубка - дезинтеграция” мяса. Этот уровень, конечно, является лимитирующим и для него нужно определить основные параметры. По-видимому, число оборотов шнека (а, значит и двигателя) не должно быть слишком большим. Анализ литературы показывает, что где-то в пределах 700 – 800 об/мин для мясорубок с электроприводом вполне достаточно. Диаметр отверстий в решетке тоже не может быть слишком малым, как отмечено выше. Остановимся на 2 - 4 мм. Тогда перепад давления на решетке не будет слишком большим, и мы не попадем в зону дезинтеграции.

а

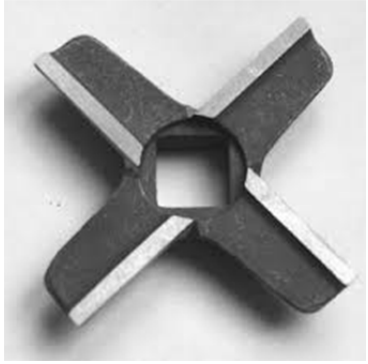
б

Рис.6.3. а - меч, б - ятаган

И последняя деталь - нож. Он явно является главным элементом технической системы. Его функция, как и функция всей технической системы, состоит в том, чтобы измельчать мясо, продукты. С помощью вращения ручки 2 (Рис 6.2б), крутящий момент с помощью винта 4 и втулки шнека 11 и 5 передается на шнек 9, который в свою очередь создает продвижение продуктов, мяса, по корпусу 10 мясорубки. На шнеке зафиксирован нож 7, последний режет, рубит, измельчает мясо и выдавливает его через решетку 8 которая закреплена прижимной гайкой 6. Корпус 10 крепится за счет опоры 3 и винта 1.

Помню с детства фильм, где великолепный актер Николай Черкасов грозно возглашал: ”Кто с мечом к нам придет, тот от меча и погибнет”, размахивал огромным мечом (Рис.6.3 а) и с размаху, одним ударом срубывал головы супостатам, как кочаны капусты. И второе детское впечатление - татары одного из ханов, какого уже не помню, уже не срубывали головы нашим доблестным воинам, а как-то срезали их ловким скользящим движением по касательной к шее с помощью уже не прямых мечей, а серповидными ятаганами (Рис.6.3 а). Уже позже я прочитал, что ятаган начали использовать в XVI веке. Он имеет клинок с односторонней заточкой на вогнутой стороне (так называемый обратный изгиб). В основном ятаган известен как специфическое оружие турецких янычар. По легенде, султан запретил янычарам носить в мирное время сабли. Янычары обошли этот запрет, заказывая боевые ножи длиной в руку. Так и появился турецкий ятаган. Клинок турецкого ятагана вблизи эфеса отклонялся под значительным углом вниз от рукоятки, затем был прямым, но уже вблизи острия снова изламывался, но уже вверх. Таким образом, острие оказывалось направлено параллельно рукояти и затачивалось с двух сторон, что позволяло наносить удары вперёд. Обратный излом клинка одновременно позволял наносить режущие удары от себя и увеличивал эффективность как рубящего, так и режущего удара. Прямая же форма клинка в среднем притяжении увеличивала его устойчивость к поперечному изгибу. Кроме того, замена плавного изгиба изломом позволяла достичь большей эффективной длины оружия. Позже вы поймете, почему я столь подробно описываю злополучный ятаган.

А теперь используем часто применяемый в творчестве метод аналогии. Представим, о ужас!, что продавливаемые через решетки мясные цилиндрики – это шеи страдальцев от удара мечом или ятаганом. В случае меча усилие резания ножа перед решеткой будет направлено нормально, т.е . перпендикулярно мясному цилиндрику и тогда, при малой скорости вращения ножа, мы будем иметь, к сожалению, не рубящий удар, а смятие волокон этим ножом. В обычных мясорубках именно смятие, а не рубка превалирует, этим и объясняются столь большие усилия, требуемые для этого от привода (не важно, какого – ручного или электрического). Гораздо меньше механической энергии будет необходимо, если нож (их обычно четыре, назовем их лопастями, в одном ноже), будет выполнен из четырех лопастей, каждая из которых имеет форму ятагана. Тогда нож будет при вращении не сминать, а резать мясные волокна (используются не нормальные, а касательные напряжения), значительно уменьшатся затраты механической энергии на измельчение. Удастся избежать и дезинтеграции за счет медленного вращения ножа. Но, не все здорово! Не трудно показать, что появится новое нежелательное явление – радиальное смещение мяса либо к оси, либо к периферии цилиндра мясорубки (в зависимости от направления вращения и загиба лезвия ножа). Неравномерная загрузка объема цилиндра при этом существенно ухудшает показатели



а б в

Рис.6.4. Варианты конструкции ножей. а - традиционное решение, б - влияние ятагана, в - странные аналогии в немецких мясорубках.

качества измельчения мяса. На нашем Днепровском машзаводе или в КБ Южном конструкторы придумали делать на лезвии ножей треугольные насечки с режущими краями, которые дергали шнуры мяса туда- сюда, не давая им смещаться в радиальном направлении в ту или иную сторону. Такие ножи были очень популярны у нас после появления первых отечественных кухонных машин “Мрия”, где они использовались. Но, возможны, ведь, и более простые варианты. К примеру, чередовать размещение режущего лезвия на лопастях ножа с разных сторон через одну. Но что-то это решение не получило конструктивной реализации. Может, потому, что появилось очень простое и изящное решение, по-моему придуманное немцами, когда вернулись к прямым лезвиям, но размещали их не по радиусу, а по хордам (вспоминайте геометрию), а угол при этом использовали в разных вариантах мясорубок самый разный. Вот так решили проблему оптимальной конструкции мясорубки, обеспечивающей процесс получения рубленого мяса.

Рис. 6.5. Конструкция ножей предложенная конструкторами КБ “Южное” для ножей кухонной машины “Мрия”. С треугольными заостренными выступами на режущей грани.

Мы забыли еще об одном серьезном недостатке обычной мясорубки – “обертывании” или “наматывании” мяса вокруг шнека, поскольку продольне канавки на снутренней поверхности корпуса, предназначенные для борьбы с этим вредным явлением (в промышленных экструдерах часто взамен этого делают обогрев корпуса экструдера и охлаждение шнека – это приводит к разнице коэффициентов трения и устранении недостатка). А для бытовых мясорубок в Англии уже придумали, кроме упомянутого выше реверса вращения шнека, делать спиральные канавки на внутренней поверхности корпуса (Рис.6.5),

Рис. 6.6

Рис.6.7.

или 6.6., когда предусмотрено коническое выполнение корпуса и шнека (применяется в соковыжималках).

А теперь домашнее задание – зайдите в современный магазин электротоваров и посмотрите конструкции ножей в нескольких зарубежных моделях мясорубок. Вы будете очарованы красотой найденных решений при совершенствовании древней мясорубки. Но не это главное, моя задача была продолжить знакомить вас с использованием системного подхода для поиска оптимальных решений на простом и понятном примере. Надеюсь, хоть на один шаг мне удалось продвинуться с вами в овладении этим достаточно сложным методом. А мясорубку… Не мучьтесь. Купите, если нужно, и подарите жене или родителям самую недорогую, но современную с учетом того, что мы с вами придумали.

Пример 4. Как стать изобретателем. Займемся технологиями. Начнем со стирки.

До сих пор мы рассматривали, в основном, вопросы о совершенствовании тех или иных конструкций оборудования. Но, ведь, ни одну творческую задачу невозможно решить, только совершенствуя оборудования. Используя системный подход с его синергией всегда занимаются не оборудованием, а техникой - единством оборудования и технологии. Между ними есть очень сильная прямая и обратная связь, влияние (в технике, это называют интерэктностью), гармония. Ее наличие приводит к тому, что при одновременном совершенствовании оборудования и технологии с учетом взаимного влияния суммарный эффект оказывается значительно выше, чем отдельно от каждой составляющей (напомню, это называют эмерджентностью, иногда синергическим эффектом). Вот теперь мы вооружены пониманием важности оптимизации не только

оборудования, но и технологии процессов, которые происходят в этом оборудовании, и можем перейти к рассмотрению средств и методов решения технологических проблем.

Как всегда, я предлагаю обратиться к какому – нибудь всем знакомому и, вроде, понятному процессу. Давайте рассмотрим технологию обычной стирки. В Википедии читаем, что “это физико-химический процесс очистки текстильных изделий (одежда, постельное бельё, занавески и т. д.), использующий водные растворы детергентов: поверхностно-активных веществ (ПАВ), энзимов, пигментов, отбеливателей и т. д. Основное назначение стирки: удаление различных загрязнений”. Сразу хочется отметить неполноту этой формулировки. Скажите, а когда не так давно женщины колотили белье на речке или в проруби специальной колотушкой и не использовали никаких детергентов, они, что, не стирали и не удаляли различные загрязнения? А когда студенты, солдаты, командировочные используют всякие ультразвуковые приборчики (это сейчас, а несколько десятков лет назад использовали мембранные устройства, работающие с частотой 50 гц) для стирки в любой емкости и опять же, очень часто без мыла, это разве не стирка? Давайте попробуем, опираясь на предложенный в предыдущих сообщениях алгоритм, провести оптимизацию процесса стирки и совместно сделать “изобретение века”, которое не только изменит наше представление о стирке, но и произведет, если удастся, серьезный переворот в технологии и оборудовании, т.е. технике стирки.

Вы, если читаете это пособие с его начала, то уже, возможно, научились делать декомпозицию системы, выполнять ее анализ, определять лимитирующий уровень. Доверяю вам сделать это в этот раз самостоятельно. Возьмем быка за рога и начнем сразу с четвертого шага алгоритма. Чаще всего при стирке мы используем ту технологию, которая описана в Википедии. По этой технологии очень важно обеспечить в объеме стирального агрегата два эффекта. Первый - наложение колебаний (вспомните удары колотушкой по белью на речке,

Рис.6.8а

Рис.6.8б

Рис.6.8с

Рис.6.1. Так еще недавно стирали белье на речке. Рис.6.2. Современный механический (а) и ультразвуковой (б) активаторы

Ультразвуковые (Рис.6.2с) или низкочастотные колебания (Рис.6.2б), создаваемые специальными бытовыми генераторами, наконец, вращение активатора в старых стиральных машинах или всего барабана – в новых). С колебаниями все понятно, без них никуда. Они обеспечивают диффузию моющего раствора к поверхности ткани, между нитями ткани и внутрь нитей. И, главное, они обеспечивают многократное повторение этого эффекта (удаление моющего раствора и вновь заполнение им). И, чем чаще, повторять эффект обновления (чем чаще и дольше колотить колотушкой по белью, например), тем лучше будет качество стирки. Другое дело, какие колебания (частота, амплитуда) оказываются для этого наиболее эффективными? Вы уже читали в пособии о

принципе соответствия - гармонии. Надо, чтобы параметры колебаний соответствовали амплитудно - частотным параметрам стираемого объекта на лимитирующем уровне.

Поэтому, когда загрязнена только поверхность ткани, а внутри нитей (в их капиллярах) все в порядке, достаточно низкочастотных колебаний с большой амплитудой. А, если загрязнения проникли внутрь тканей (в капилляры), да еще и как-то привязаны к поверхности внутри капилляров (химическая связь, адсорбция и т.п.), тут без высокочастотных, к примеру, ультразвуковых колебаний не обойдешься. Чтобы облегчить доставку моющей жидкости в капилляры и ее обновление в них, используют приемы, аналогичные тем, о которых вы читали выше в этой главе, когда мы совместно рассматривали вопросы экстрагирования и пропитки. Кроме того, используют те самые детергенты, о которых написано выше. С колебаниями все очень просто и понятно. Они нужны, и не просто нужны, а ими нужно управлять, меняя частоту и амплитуду в зависимости от вида загрязнений и их размещения - на поверхности или внутри ткани. Или использовать широкий спектр колебаний, чтобы охватить как можно больше вариантов. Или, наконец, использовать, так называемые, модулированные колебания, например, частотно - модулированные, когда совмещают (опять синергия!) низкочастотные и высокочастотные колебания. Кстати, такие колебания, как хорошо известно специалистам по радиотехнике, проникают через любые преграды и долго сохраняются.

А, вот с моющим раствором труднее. Зачем продают так много марок порошков, мыла, моющих жидкостей? Почему так жестока конкурентная борьба именно на рынке поверхностно - активных веществ, почему так много занимаются проблемой фосфатов и их исключения из состава стиральных порошков? Не могу все это рассмотреть в этом пособии. Рекомендую эти вопросы проработать самостоятельно. А вот один вопрос, мне кажется, наиболее важный и интересный рассмотрим, это вопрос о пенообразовании и о роли пены в процессе стирки.

Когда я спрашиваю у студентов, когда белье лучше выстирано, когда пены много или мало, они всегда отвечают, что лучше, когда много. Большинство из читателей тоже так ответит. И ошибется! Все не так просто. Пена способствует уносу загрязнений за счет флотационных эффектов, создаваемых пузырьками воздуха в пене. Ох уж эти пузырьки! Я всегда восхищаюсь талантом наших умельцев, которые могут приспособить любую технологию, любое оборудование по совершенно неожиданному назначению. К примеру, в рассматриваемом случае часто стиральные машины старого типа с механическим активатором используют при подготовке к свадьбе, где в них очень интенсивно и эффективно получают полупродукт для изготовления самогона, используя эффект пенообразования, загружая в машину (предварительно помыв ее, конечно) сахар, дрожжи и другие необходимые ингредиенты. При этом стиральная машина превращается в современный биореактор. Ладно, вернемся к прямому назначению стиральной машины и роли пены при стирке.

Оказывается, пена пене рознь. В Казани, где я когда-то защищал кандидатскую диссертацию, мне очень помог профессор О.В.Маминов. В своей докторской диссертации он классифицировал пену по ее видам и насчитал несколько десятков вариантов пены в зависимости от размера пузырьков газа в ней, толщины прослоек жидкости между пузырьками, плотности пены и, главное, времени ее жизни. Оказалось, что, в зависимости от вида ПАВов, пена может быть короткоживущей и существовать буквально доли секунды, а может в виде пенной шапки торчать, например, в баке стиральной машины часами. В последнем случае такая долгоживущая пена уже один раз взяла на себя загрязнения и больше этим заниматься не хочет. Необходимо ее разрушить, чтобы вновь образовать и заставить ее снова работать. Иначе говоря, нужна быстрообновляющаяся пена, и

тогда качество стирки существенно улучшится. Вот почему на дорогих стиральных порошках всегда есть указание о пониженном пенообразовании, часто вызывающее недоумение у покупателя. Вот теперь с пеной тоже все ясно.

Давайте приступим к решению основной задачи – создать самую эффективную, самую интенсивную, самую экономичную технику (технологию + оборудование) стирки. Итак, конкретизируем творческую задачу:

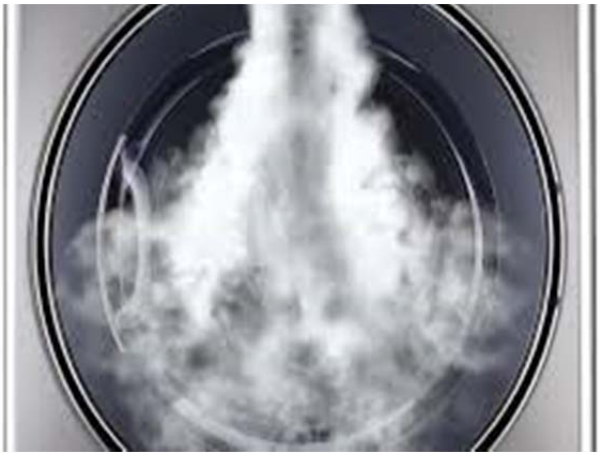
1) для отстирывания любых загрязнений нужно создать в сосуде, где происходит стирка, одновременно и высокочастотные колебания с малой амплитудой и низкочастотные колебания с большой амплитудой,

2) нужно генерировать в этом сосуде короткоживущую, динамичную, легкоподвижную, быстрообновляемую пену.

Обе задачи решаемы, если мы выберем из базы данных режимно – технологических методов оптимизации (далее РТ – методы) – ее я обязательно дам в этом пособии позже. Можно рекомендовать выбирать подходящий метод или методы, учитывающие принцип соответствия - гармонии, о котором я уже писал.

Решение задачи, как всегда, пришло, якобы, случайно. Вспомнил я, что в душевой любого цеха, на любом заводе почему-то трубы трясутся (низкочастотные колебания), раздается сильный треск (высокочастотные колебания). А не путь ли это к решению задачи оптимизации стирки? В чем причина явлений тряски труб и треска в цеховой душевой. Все просто. Обычно нет у них там горячей воды А есть холодная и пар, которые они смешивают прямо перед душем. При смешивании холодной воды и перегретого пара происходит мгновенная конденсация последнего при уменьшении его объема (нетрудно подсчитать) больше, чем в 900 раз. Происходит мгновенное схлопывание паровых каверн в воде и возникают низкочастотные колебания (тряска труб) от ввода пара и разрыва сплошности жидкости и высокочастотные колебания от быстрой конденсации (схлопывания) паровых пузырей. Вообще, схлопывание пузырей в этом случае в чем-то сродни, вернее противоположно, процессу кавитации, известному многим читателям, и может быть названо антикавитацией.

А теперь, скажите, кто или что мешает использовать противоположные кавитации эффекты ввода перегретого пара при стирке? Никто и ничто. Вопрос о том, как регулировать параметры колебаний при стирке тоже решается просто – температурой перегрева вводимого в жидкость пара, диаметром отверстия в сопле. Длительность жизни пены можно регулировать, меняя (конечно, в сторону уменьшения) количество вводимого детергента и его марку. Проверьте, поэкспериментируйте. Все у вас получится. Поделитесь опытом с другими, если получится. Чуть не забыл, для генерирования перегретого пара в домашних условиях можно использовать появившиеся не так давно в продаже бытовые парогенераторы для уборки помещений, глажки белья и т.д. Я проверял сам эффективность их использования, загрузив в белье загрящненные джинсы и опустив под слой жидкости сопло ввода перегретого пара от бытового парогенератора. Уже через несколько минут вода сильно потемнела, а через пол-часа джинсы были прекрасно выстираны без всякого стирального порошка.



а б

Рис.6.9. Современные паровые стиральные машины . а – общий вид, б- паровая струя

Итак, на этом простом примере я попытался показать, что системный подход можно использовать и для оптимизации технологических процессов, а не только оборудования. Кстати, недавно я с грустью увидел новую Самсунговскую стиральную машину, принцип действия которой с точностью совпадает с тем, что мы только что с вами совместно изобрели.

Примеры 5.1 и 5.2. Очерки об инженерном искусстве.

И последнее, в защиту истребляемой в Украине профессии механика. Дело в том, что без креативных инженерных решений любая наука останавливается в своем развитии. Приведу хотя бы два примера из собственной практики.

5.1. Как-то поручил нам еще союзный Минхимпром помочь одному заводу освоить производство цианакрилатного клея (сейчас он, вроде, называется “Момент”). Химики – технологи одного из московских НИИ все разработали, но клей получался у них очень дорогой. Поехали на завод. Увидели стеклянную установку. Обычные “горшки”, колонны, теплообменники. Удивил аппаратчик огромных размеров (мы его про себя сразу прозвали “амбалом”), который сидел на вершине какой-то вышки и поливал из ковша (типа молочного черпака) верхушку стеклянной колонны. Спросили, чем поливает. Объяснил, что жидким азотом. Сослался на то, что так технологи записали в регламент - “пропускать отходящие газы через азотную ловушку, чтобы не выбрасывались вредные цианистые соединения”. Вот и поливает уже несколько лет, а жидкий азот возят специальными цистернами с другого конца города, да и дорогой он, вот получается и клей дорогим. Измерили мы температуру в верхней части колонны. Оказалось – около 20 градусов. Поставили мы вместо вышки с аппаратчиком небольшой теплообменник, охлаждаемый обычной водой. Жидким азотом поливать колонну перестали…

5.2. Выше мы уже останавливались на том, что как бы являемся монополистами новой технологии и оборудования для пропитки капиллярно – пористых тел (к примеру, бумаги, древесины, тканей, графита, пористых металлов, катализаторов, обмоток якорей электродвигателей, корпусов ракет и т.д.). Почему монополистами? Дело в том, что для этого обычно используют вакуумные аппараты

и аппараты под давлением, в которых реализуются различные технологии пропитки. А по нашей технологии - то же, только в 100 и более раз быстрее, можно проводить в обычном ведре или корыте (шучу, конечно) без всякого давления и вакуума, без загрязнения окружающей среды. Никому все это в Украине почему-то не интересно, но замучили нас "забугорные" ученые, занимающиеся нанотехнологиями (относящимися, между прочим к 6 укладу развития общества). Уже 5 или 6 раз приглашают нас принять участие во Всемирных симпозиумах по нанотехнологиям. Проблемы у них именно на стадии пропитки при получении композитних наноматериалов. Хотят разведать наши ноу – хау в области пропитки капиллярно – пористых тел. Мы пока не едем, ждем, когда "дозреют" нанотехнологи, для того, чтобы предложить купить у нас лицензию на прогрессивную технику пропитки.

Эти два примера привел еще и для того, чтобы показать, что все, поднятые в этой главе вопросы, тесно связаны с последним подзаголовком. В самом деле, в инженерном труде многое относится к разделу искусства. Вот и назвал этот раздел главы "Очерки об инженерном искусстве".

В этой главе на самых простых примерах показаны наиболее употребительные тактические приемы для реализации пока некоторых методов оптимизации техники, в том числе, и химической, применительно к перерабатывающим отраслям производства. Среди них следует разграничить две, тесно связанные между собой группы методов - режимно-технологические и аппаратурно-конструктивные. Заметим, что наряду с традиционными для любой области техники методами (замкнутость структуры и многофункциональность оборудования, интенсификация) особенности перерабатывающих отраслей предопределяют использование некоторых специальных методов. Среди них:

- минимизация времени обработки и избыток одного из реагентов, приводящие чаще всего к повышению селективности и уменьшению образования побочных потоков вещества и энергии,
- рекуперация, замкнутость потоков вещества и энергии, приводящие, как показал еще М.Ф.Нагиев, к "идеализации" режимов синтеза и значительному уменьшению скорости побочных процессов,
- совмещение синтеза и разделения, гетерогенизация, позволяющие существенно уменьшить образование побочных продуктов за счет отвода целевого продукта из реакционной зоны в момент его образования,
- адаптивность технологии и оборудования, позволяющая обеспечить надежную работу технической системы за счет "внутренних" резервов (гибкости) установки, что уменьшает возможность залповых выбросов энергии или вредных веществ или получения некондиционного продукта.

Современный инжиниринг основан не только и не столько на дизайне современной технологии, сколько на искусстве выбора оптимального оборудования и метода воздействия на систему. Делать это необходимо на базе системного анализа, синергии, концепции устойчивого развития и использования современных информационных технологий. А решить тот или иной конкретный вопрос только за счет технологии — даже самой передовой — попросту невозможно.

Работы по совершенствованию изложенного в этой главе подхода применительно к химии продолжаются. Направления работ следующие:

- Аппаратурно-технологическая синергия в промышленной химии.
- Синергия реакционных процессов.
- Синергия реакционных и массообменных процессов.
- Индустриальный и индустриально – аграрный симбиоз - путь решения экологических и энергетических проблем.

- Экологизация промышленных установок. Алгоритм экологизации на основе системного подхода.
- Инженерные средства и методы оптимизации технических систем.
- Направленно – и спонтанно- синергично совмещенные процессы.
- Асинергичные процессы химической технологии.

Мы уже обсуждали вопрос о креативной подготовке инженера, о важном значении не только его базовой, теоретической подготовки, но и привития ему навыков разработки и проведения экспериментов для всестороннего изучения объекта и, главное, поиска путей его совершенствования, правильнее, оптимизации. Тема это трудная, обширная, но начать лучше всего с обсуждения оригинального, наименее разработанного в инженерном плане вида экспериментов, который чаще всего называют промышленным экспериментом, экспериментом непосредственно на объекте деятельности инженера (называю питомцев так по привычке, ибо инженеров в старом понимании высшая школа Украины готовить перестала).

Без решения научных проблем оптимизации химических производств невозможно выйти из глобального кризиса Украины и обеспечить устойчивое развитие нашей страны. Сегодня, когда не работает большинство химических производств основной химии, производств химических реактивов и особо чистых веществ, лекарственных препаратов и др., без оптимизации реанимировать наши морально и физически погибшие производства бессмысленно, ибо они неконкурентоспособны. Создавать новые производства по старым технологиям и со старым оборудованием также бессмысленно. В то же время, учеными достаточно успешно отработаны, а часто и реализованы инженерные методы оптимизации, основанные на системном анализе и синергии, использующие новые режимно - технологические и аппаратурно - конструктивных средства оптимизации.

Наиболее перспективными концепциями оптимизации при этом признаны комплексный и системный подходы. Они обеспечивают синергическое единство режимно – технологических методов оптимизации (совмещение технологических процессов, системный подход к оптимизации, совмещение процессов, реакционно – разделительные – асинергичные процессы, гетерогенизация жидкостей, использование колебаний и внешних полей, химическая рециркуляция, циклические режимы, использование межфазных режимов,использование инверсии фаз и др.) и аппаратурно – конструктивных методов оптимизации (взаимная эжекция фаз, повышение гибкости оборудования и технологий, многократная инверсия фаз, продольное и поперечное секционирование, использование автоколебаний и блочно - модульного принципа конструирования, синергетические средства энергосбережения).

Контрольные вопросы по главе 6.

1. Сравните изобретательские методы: проб и ошибок, морфологический ящик, контрольных вопросов, мозговой штурм с методом, основанным на использовании принципов соответствия и гармонии.
2. В чем суть метода мозаичного портрета проф. М.Д.Каца?
3. Перечислите инженерные методы оптимизации систем.
4. В чем отличие предложенного в пособие способа экстракции кофе от итальянского Экспрессо? Где реализуется синергетический подход?
5. 5/ Какой прием используется для ускорения уджаления воздуха из капилляров в кофейных зернах в 1000 раз.
6. За счет чего ускоряется процесс заполнения капилляров в кофейных зернах жидкостю?

7. Какое отношение имеют Хан Батый и князь Александр Невский к модернизации бытовой кухонной мясорубки?
8. Какие усилия действуют на волокна мяса в мясорубке? Какие из них эффективнее и почему?
9. Обоснуйте форму ножа кухонной мясорубки.
10. 10.Какая пена эффективнее в стиральной машине и почему?
11. Как работает паровая стиральная машина?

Литература

1. Я.И. Хургин. Да, нет, может быть... - Москва, :“Наука», 1977, с.208).
2. Г.С.Альтшуллер. Творчество как точная наука. -Москва, : "Советское радио". 1979, с.175.
3. С. Лем. Планета Земля. Век 21. - Комсомольская правда ,11.08.1992г.
4. Л.А.Расстригин. С компьютером наедине. - Москва, : «Радио и связь», 1990. -224 с.).
5. Дородницын А.А. Математика и описательные науки. с.6-15. Число и мысль. Сборник. Вып.5.- Москва, : «Знание», 1982.-176 с.
6. А.А. Дородницын. Проблема математического моделирования в описательных науках. - Кибернетика, 4, 1983, с.6-10.
7. Энон. Основные закономерности научной работы. Физики продолжают шутить М.:"Мир", 1968
8. Марк Кац. Оптимальный режим. - ММ Деньги и Технологии, 10/2002.
9. 9.. М.Д.Кац, В.В.Резниченко. Новый метод математического моделирования химико-технологических процессов. - "Автоматизация химических производств", 2, 1975.
10. 10. З а д о р с к и й В. М. Синергия в инженерной химии. Средства и методы. Просто о сложном. 2016. Palmarium Academic Publishing/ Germany/ с. 398

Глава 7. Совершенствование газожидкостных технических систем.

Интенсификация многочисленных процессов, проводимых в гетерогенных системах, в частности, совмещенных газожидкостных процессов, дает возможность увеличить производительность аппаратов при уменьшении их габаритов, металлоемкости, стоимости и соответствующем сокращении необходимых производственных площадей и уменьшении эксплуатационных расходов. Кроме того, интенсификация газожидкостных технологических процессов зачастую позволяет получить новые эффекты, соизмеримые и даже превосходящие по значимости основные целевые эффекты (уменьшение инкрустации на внутренних поверхностях аппаратов или осмоления перерабатываемых веществ, увеличение селективности химических процессов, улучшение качества продукции, уменьшение энергетических затрат и т.д.).

Известно значительное количество традиционных и сравнительно новых способов интенсификации технологических процессов, протекающих в газожидкостных системах. Их строгая классификация весьма затруднена, однако условно методы интенсификации можно разделить на два класса - комплексные, при которых к установке подходят как к единому целому, и, так называемые, декомпозиционные методы, при которых внимание обращают на выявление и интенсификацию отдельных лимитирующих стадий процесса или элементов его аппаратурного оформления. Ввиду сложности процессов, протекающих в гетерогенных системах, в данной книге автор отдает предпочтение декомпозиционным методам интенсификации.

Декомпозиционные методы по области применения целесообразно, как уже отмечалось, разделить на две тесно связанные между собой группы методов - режимно-технологические (РТ) и аппаратурно-конструктивные (АК). Четкую границу между АК и РТ-методами провести невозможно. Как следует из синергийных принципов, использование нового для данного процесса РТ-метода, например, всегда сопряжено с определенными конструктивными изменениями аппарата и использованием АК-методов. Если АК-методы получили значительное распространение в промышленности, то РТ-методы интенсификации пока используются реже и, в особенности, применительно к газожидкостным технологическим процессам.

В классификационной схеме декомпозиционных методов интенсификации целесообразно привести АК и РТ-методы, которые представляют собой набор приемов интенсификации, каждый из которых может быть использован на различных иерархических уровнях, а для каждого уровня выделена своя группа, свой набор методов интенсификации. Не останавливаясь подробно на методах "совмещение процессов" (СП) и "совмещение аппаратов" - им посвящена большая часть книги - очень коротко остановимся на некоторых других методах, вошедших в классификацию.

Одним из признанных эффективных РТ-методов интенсификации газожидкостных реакционных и совмещенных процессов является использование обратной технологической связи путем рециркуляции непрореагировавшего сырья (метод ОТП). При осуществлении равновесных или ингибируемых продуктами реакций может быть найдена оптимальная степень рециркуляции части реакционной смеси или непрореагировавшего сырья, при которой производительность реактора выше, чем в реакторах вытеснения или смешения. М.Ф.Нагиевым и А.П.Плановским [28] доказана эффективность проведения химических процессов при невысоких степенях превращения благодаря достижению более высоких скоростей реакции. Показано, что независимо от наличия термодинамических и кинетических ограничений можно максимально использовать сырье вследствие смещения равновесия реакции в сторону образования конечных продуктов при постоянном увеличении концентрации исходных компонентов в зоне реакции, которое обеспечивает рециркуляция непревра-щенного сырья. При этом разделение реакционной смеси осуществляют в автономном аппарате вне зоны реакции, т.е. обеспечивают внешний рециркуляционный контур.

Использование современного математического аппарата и возможностей вычислительной техники позволяют решать задачи оптимизации рециркуляционных процессов с позиций системного анализа.

В связи с этим важное значение приобретает проблема выбора критерия оптимизации. Между тем, среди исследователей нет единого мнения по этому вопросу. Чаще всего, в качестве критерия используют максимальную скорость превращения или производительность реактора; реже - выход целевого продукта или єкономические показаьели производства.

Интенсификация рециркуляционных реакционных процессов является, по-видимому, тем случаем, когда использование только декомпозиционных: методов не может привести к техническому успеху из-за ограничений, налагаемых экономикой производства в целом. Наряду с использованием декомпозиционных методов целесообразно применение комплексных методов интенсификации с использованием экономических либо технико-экономических параметров оптимизации.

Фундаментальные исследования в области рециркуляционных процессов провел М.Ф.Нагиев, который показал, что многократное возвращение в зону реакции непрореагировавшего сырья увеличивает выход конечных продуктов, а теоретически возможно добиться полного превращения сырья даже для реакций, имеющих кинетические или термодинамические ограничения. Только в том случае, когда система работает с бесконечным количеством рециркулята, а степень превращения за один проход стремится к нулю, химический процесс осуществляется в идеальных условиях. Такие идеальные условия практически невозможно создать при использовании традиционного для рециркуляционных процессов технического решения, по которому из реактора смесь непрореагировавших веществ и продуктов реакции поступает на автономную разделительную систему, после которой непрореагировавшие вещества смешиваются со свежим сырьем, и смесь возвращается в реактор. Уменьшение степени превращения за один проход при такой технологической схеме приводит к увеличению количества реакторов - разделительных систем и неоправданному усложнению производства.

Разработка многоступенчатых совмещенных аппаратов, в которых реакционные ступени чередуются с массообменными, в большинстве случаев представляется технически неосуществимой. Однако указанные трудности практически полностью устранены в совмещенных многоступенчатых реакционно-массообменных аппаратах, где, в результате реализации одного из самых эффективных РТ-методов интенсификации, на каждой ступени контакта одновременно с проведением химической реакции осуществляется удаление ее продуктов по мере их образования. Следует отметить, что совмещение химического процесса с диффузионным реализует основной принцип рециркуляции (реакция - разделение - реакция) и способствует увеличению концентрации непрореагировавших веществ в зоне реакции, т.е. фактически обеспечивает внутренний рециркуляционный контур в аппарате. Последнее способствует проведению химического процесса при невысокой конверсии реагентов аналогично традиционному внешнему рециркуляционному контуру по непрореагировавшему сырью.

Рециркуляция может быть использована не только для интенсификации реакторов или совмещенных аппаратов, но и для интенсификации массообменных аппаратов. Рассмотрим некоторые вопросы рециркуляции при проведении процессов экстрагирования (выщелачивания) из твердого тела.

Кроме рециркуляции регенерированного растворителя, для интенсификации процесса экстракции в последнее время используют рециркуляцию экстракта без регенерации растворителя из него. При этом (см.рис.7.1) отобранный из экстрактора экстракт подогревают и возвращают в рабочую зону экстрактора, прилежащую к зоне входа свежего растворителя. Несмотря на то, что при этом происходит некоторое уменьшение движущей силы процесса, эффекты интенсификации, вызванные ее увеличением в некоторой области значений, оказываются более существенными.

В последние годы все большее внимание исследователей привлекает возможность значительного повышения эффективности массообменных аппаратов и реакторов вследствие увеличения движущей силы при циклической подаче контактирующих фаз или одной из них.

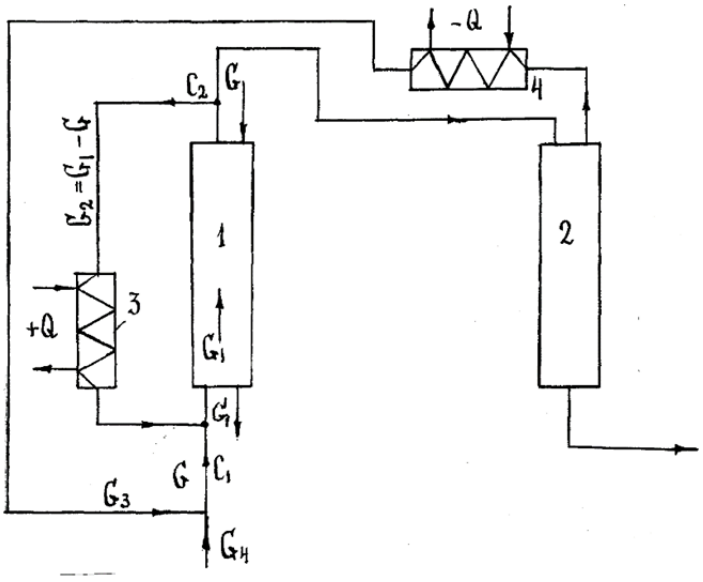


Рис.7.1. Схема экстракционной установки с внутренним и внешним рециклом. 1 – экстрактор, 2 – узел регенерации экстрагента,3 – подогреватель, 4 - конденсатор

Частным случаем циклических режимов является пульсирующая подача контактирующих фаз. Циклические режимы (пульсации) могут создаваться как с помощью внешних генераторов пульсаций (пульсаторов) различных конструкций (механических, клапанных, гидравлических, пневматических и т.п.), так и спонтанно за счет конструктивных особенностей контактных устройств (клапанные контактные устройства, "провальные" тарелки, плоско-параллельная насадка с турбулизирующими вставками и т.п.). Ряд вопросов, связанных с оптимальными амплитудно-частотными характеристиками пульсаций, поиском конструктивных решений для пульсационной аппаратуры, освещены в последующих главах. В данном разделе остановимся лишь на возможности использования при разработке ректификационных установок для реализации нового способа циклической ректификации, разработанного автором с сотрудниками, заключающегося в том, что периодически изменяют состав, количество и температуру паров, поступающих в колонну из куба, за счет наложений на паровой поток термопульсаций. Последние могут быть организованы, например, путем установки в нижней части колонны теплообменной трубчатой вставки со свободнопроходными трубками и импульсной подачи в нее хладо- (теплоагента) или чередованием хладотеплоагента.

Проведенные нами исследования на системе этиловый спирт -вода свидетельствуют о том, что наложение термопульсаций способствует увеличению коэффициентов массопередачи на 40-50% вследствие более интенсивных изменений скорости, температуры и концентрации паров. Введение дополнительного вещества является одним из наиболее эффективных режимно-технологических методов интенсификации.

Некоторые вопросы, связанные с использованием этого РТ-метода (азеотропная ректификация 1,4-диоксана, введение инертного газа или паров азеотропообразователя при синтезе ХТС на стадиях этерификации, окисления, аминирования, дегидратации; введение инерта или перегретых паров растворителя в экстракторы или дистилляторы и др.) освещены в данном пособии.

В этом разделе в качестве примера эффективности метода остановимся на использовании диффузиофореза при очистке и анализе германийсодержащих газовых смесей. Очистка и анализ выбросных газов аппаратов улавливания германия (барботажных скрубберов) из абсорбированных газов установок получения и очистки полупроводникового германия является достаточно сложной технической и научной задачей. Германий в этих газовых системах находится преимущественно в виде аэрозоля двуокиси и паров тетрахлорида.

Для определения эффективности работы аппаратов улавливания германия потребовалось определить полное содержание германия в газе. Попытка определить содержание германия в выбросах по методикам, в этом случае обычно используемым и рекомендуемым, не удалась из-за неэффективности первой стадии анализа - выделения германия из анализируемого воздуха. Об этом свидетельствовало высокое содержание германия в поглотителе, замыкающем цепочку. Увеличение числа поглотителей до четырех, а в последующем и до восьми не принесло ожидаемого результата. Распределение германия в поглотителях не свидетельствует о прогрессирующем снижении концентрации германия в поглотителях с увеличением их количества.

Кроме воды использовали для поглощения германия растворы, обладающие способностью лучше растворять двуокись германия. По-видимому, рекомендуемые методики в рассматриваемом случае неприменимы вследствие особых форм существования германия в выбросных газах, которые

характеризуются высокой дисперсностью частиц двуокиси, образовавшейся в результате гидролизе паров тетрахлорида германия в аппаратах улавливания германия (барботажных скрубберах).

Действительно, пропускание анализируемого воздуха через мелкоячеистые фильтры (бумажный фильтр "синяя лента") не оказало заметного влияния на процесс выделения германия из воздуха. Это позволяет предположить наличие в газовой смеси частиц с размером < 1,0 мкм. Известно, что направленное совмещение процессов тепло- и массообмена при обеспечении конденсации паров влаги очищаемого газа (диффузиофорез) может оказывать существенное влияние на эффективность осаждения частиц аэрозоля. Эффективность осаждения аэрозолей в этих условиях повышается за счет захвата частиц аэрозоля под действием гидродинамического течения, направленного к поверхности образовавшейся капли или к поверхности конденсации; за счет укрупнения и утяжеления частиц при конденсации на них пара (вокруг частицы образуется микропленка из сконденсировавшейся влаги), а также вследствие создания благоприятных условий для захвата частицы поглотителем (особенно гидрофобных частиц): вокруг частицы образуется микропленка воды.

С учетом этого было исследовано влияние введения паров воды в анализируемый воздушный поток. Результаты опытов показали, что присутствие паров поглотителя (воды) и организация процесса конденсационного пылеулавливания значительно улучшает процесс осаждения аэрозоля. До сих пор нет единого мнения относительно того, какой из вышеприведенных механизмов оказывает решающее влияние на процесс осаждения частиц при диффузиофорезе. В рассматриваемом случае, по-видимому, можно предположить одновременное воздействие всех трех механизмов.

Положительные результаты использования эффекта диффузиофореза для интенсификации процесса отделения частиц аэрозоля двуокиси германия от анализируемой газовой смеси позволили найти оптимальные условия проведения процесса, при которых обеспечивается наиболее полное осаждение частиц, и предложить методику анализа содержания германия в отходящих газах производств полупроводникового германия.

Использование диффузиофореза для осаждения аэрозолей при определении содержания германия в газах значительно повысило надежность и точность анализа. Успешный опыт применения разработанной методики в условиях производства Запорожского титано-магниевого комбината позволил рекомендовать ее модификации для широкого использования в промышленности при анализе газов, содержащих трудноосаждаемые аэрозоли.

Результаты работы позволили также использовать конденсационный эффект при разработке новых к интенсификации действующих пылеуловителей в производстве германия на том же предприятии.

Оптимизация как метод интенсификации также относится к АК и РТ-методам. Однако, если оптимизация температуры, давления и конверсии является извечной задачей технологии и в той или иной мере решается применительно к конкретным процессам, то задачи оптимизации конкретного устройства, конкретной ступени, всего аппарата в плане обеспечения оптимальной схемы движения контактирующих фаз и их распределения по сечению оптимальной форы, геометрии и размеров ставятся и решаются очень редко. По-видимому, это связано с чисто техническими трудностями экспериментирования в целях оптимизации на моделях аппаратов или их частей. Между тем, даже немногочисленные работы, посвященные вопросам

аппаратурно-конструктивной оптимизации, свидетельствуют о чрезвычайно высокой результативности этого метода.

Нами показано, что основными направлениями интенсификации массообменнык аппаратов являются увеличение эффективности контакта фаз на ступени контакта, скорости и движущей силы процесса, уменьшение числа необходимых ступеней контакта, высот рабочей и сепарационной зон. Следует заметить, что деление объема аппарата на рабочие и сепарационные зоны достаточно условно, однако такой искусственный прием, по-видимому, оправдан, так как наметившаяся в последние годы тенденция к созданию скоростных массообменных аппаратов зачастую приводит к тому, что, разрабатывая высокоинтенсивные контактные устройства, обеспечивающие скорости газа по колонне выше 3 м/с, не учитывают того, что соответственно увеличению скорости растет необходимая высота H_o и усложняется конструкция сепараторов. Кроме того, пропорционально квадрату скорости газа возрастает гидравлическое сопротивление ступени контакта, а это вызывает увеличение необходимой высоты переливных устройств и, в конечном счете, - высоты ступени контакта.

Проведенный анализ показывает, что, несмотря на обилие конструкций скоростных контактных устройств для барботажных аппаратов, преимущественно используют устройства, обеспечивающие скорости газа по сечению до 2-2,5 м/с. Лишь для некоторых процессов, где время контакта между фазами может быть небольшим (абсорбция хорошо растворимого газа, хемодесорбция и некоторые другие), успешно используют скоростные аппараты, обеспечивая скорость газа по сечению аппарата 5 м/с и выше.

Для увеличения интенсивности массоооменного процесса могут быть использованы РТ- и АК-методы, Действительно, для увеличения к.п.д. и K можно принять такие РТ-методы, как увеличение скоростей контактирующих фаз с целью турбулизации поверхности раздела, организация соударения фаз, закручивание потоков, наложение низко- и высокочастотных пульсаций на контактирующие фазы и целый ряд других методов, использование которых влечет за собой конструктивные изменения и, естественно, синергично сочетается с привлечением АК-методов. Для увеличения движущей силы массопереноса также предложен ряд РТ-методов, которые, однако, связаны с АК-методами в значительно меньшей степени. Так, используют циклическую подачу контактирующих фаз, варьируют давление и температуру, применяют разделительные агенты (азеотропная, экстрактивная, солевая ректификация), совмещают массообменные процессы с химическими и др. И, наконец, характеристики гидродинамического слоя связаны с конструктивными характеристиками контактной ступени, и для их уменьшения преимущественно используют АК-методы за некоторыми редкими исключениями. Для интенсификации процесса в газожидкостном реакторе необходимо вначале определить лимитирующую стадию процесса. Если лимитирующей стадией является массоперенос, то необходимо обратиться к соответствующим РТ- и АК-методам. Для интенсификации собственно реакционного процесса в жидкой фазе следует использовать те РТ-методы, которые оказывают влияние на скорость химической реакции (увеличение давления и температуры, применение катализаторов, совмещение химических реакций и др.).

Интенсификации процесса способствует также уменьшение газонаполнения смеси в каждой ступени контакта, для чего целесообразно осуществлять распределенный ввод газа по высоте аппарата, уменьшать размеры сепарационного пространства (последнее оказывает значительное влияние на газонаполнение ступени контакта), наконец, по возможности, использовать прямоточные секционированные аппараты, описанные ниже. Из анализа факторов, влияющих на интенсивность процесса, следует вывод о целесообразности увеличения концентрации реагентов в реакционной смеси. Как показано выше, одним из наиболее эффективных приемов увеличения концентрации для

рассматриваемого случая является совмещение реакционного процесса с массообменным, обеспечивающим одновременное с химической реакцией разделение смеси. Действительно, удаляя из реакционной смеси продукты реакции в такт образованию (это яркий пример диссинергии, о которой речь будет в одной из следующих глав), можно обеспечить постоянную и даже увеличивающуюся концентрацию исходных компонентов в ступенях реактора, что позволяет получить высокие значения факторов интенсивности не только в первых, но и в последующих ступенях реактора.

Метод совмещения относится не только к РТ-, но и к АК-группе методов интенсификации. Действительно, используя модульный принцип, совмещают аппараты и их части, осуществляют однотипное и многотипное комбинирование и агрегатирование.

Сравнительно редко используют в целях интенсификации метод введения дополнительного вещества, относящийся к РТ-группе. Принцип подбора катализаторов, расчета и оптимизации каталитических реакторов достаточно широко освещен в литературе. Однако, в литературе недостаточно внимания уделено такому результативному методу, как введение в зону контакта дополнительного промежуточного теплоносителя, при конденсации или испарении которого, соответственно, подводится или отводится тепло.

Этот прием, называемый еще "организацией внутреннего теплообмена", замечателен тем, что позволяет осуществлять отвод или подвод тепла при максимальных значениях коэффициентов теплоотдачи» Кроме того, при его реализации зачастую получают побочные эффекты, не уступающие по значимости основному. К примеру, подавая в зону реакции промежуточный теплоноситель, кипящий при температуре, близкой к оптимальной для данного процесса, удается не только снять значительные количества тепла реакции, но и турбулизировать контактирующие фазы и облегчить перенос вещества из одной фазы в другую, исключить застойные зоны, при необходимости отвести вместе с парами промежуточного теплоносителя продукты реакции и т.п. Каждый из этих эффектов позволяет при умелом использовании получить значительное увеличение интенсивности.

Эффект интенсификации газожидкостных массообменных процессов достигается введением разделяющих агентов и организацией, например, азеотропной, экстрактивной или солевой ректификации, а также использованием специальных добавок (например, тонко-измельченного цеолита или поверхностно-активных веществ, изменяющих гидродинамическую обстановку процесса), улучшающих свойства абсорбента.

В последнее время все шире используют относящийся в РТ-группе сравнительно новый метод интенсификации - импульсное воздействие (ИВ). Этот метод нашел широкое применение в промышленности при организации процессов экстракции, фильтрации, реакционных и др. В главах 5,7 показана перспективность использования не только низкочастотных, но и высокочастотных колебаний, а также приведены некоторые новые конструктивные методы создания колебательных режимов.

В пособии освещен сравнительно новый прием интенсификации теплообменных, массообменных и совмещенных процессов и аппаратов, заключающийся в повышении их интенсивности за счет принудительного аэрирования жидкости. Эффективным оказался также ввод газовой фазы при проведении экстракционных процессов в системе жидкость-жидкость, жидкость - твердое вещество. В то же время этот метод не получил широкого распространения для интенсификации газожидкостных процессов из-за быстрого затухания пульсаций вследствие демпфирования газа. В главе 6 будет показана целесообразность организации пульсаций газа на каждой ступени контакта путем использования эффекта осциллирования газа в клапанных контактных устройствах.

Метод многократного воздействия на фазы (МВ), относящийся к АК-группе, реализован в тарельчатых аппаратах, однако последние не всегда обеспечивают достаточно высокие значения

фактора интенсивности при их использовании для реакционных процессов вследствие малого времени контакта, недостаточных скоростей, слабой турбулизации фаз и др. Простотой конструктивного исполнения и высокой надежностью отличаются барботажные реакторы и реакционно-отделительные аппараты в виде пустотелой или секционированной колонны с барботером в нижней части или барботажного газлифтного аппарата. Однако и эти аппараты не отличаются высокой интенсивностью вследствие низких скоростей фаз, значительного обратного перемешивания. В то же время, как показано в этой главе для целого ряда объектов секционирование газожидкостных прямоточных аппаратов с восходящим движением фаз клапанными тарелками позволяет добиться интенсификации за счет, так называемой, многократной инверсии фаз в значительном диапазоне нагрузок по газу и жидкости.

Метод используется не только в реакторах, но и в массообменных аппаратах при реализации принципов продольно-поперечного секционирования, развиваемых в работах О.С.Чехова, Г.П.Соломахи, Ю.К.Молоканова и др., при распределении одной из фаз по высоте аппарата (ступенчатая подача флегмы, ступенчатый ввод газовой фазы и т.п.) и при использовании устройств, создающих многократно, так называемые, входные и концевые эффекты.

Практически неисчерпаемы возможности использования в целях интенсификации процессов источников внешней энергии (ВЭ) и энергии контактирующих фаз (ЭКФ). Так, в последние годы значительное распространение получили предложенные автором аппараты, где энергия фаз используется для организации эжектирования одной фазы другой или соударения контактирующих фаз (главы 6,7).

В ряде случаев при осуществлении тепломассообменных или химических процессов, как показала практика, целесообразен переход от гомогенных систем к гетерогенным, что способствует турбулизации потоков, выравниванию концентрационных профилей. Обеспечение неоднофазности (Н) достигается введением в жидкость дополнительной газовой фазы.

7.1. Прямоточные газожидкостные реакторы (модули) с многократной инверсией фаз.

В промышленности широкое распространение получили прямоточные эрлифтные и пленочные реакторы. Наблюдается тенденция применения насадочных и секционированных различными тарелками газожидкостных реакторов с восходящим прямотоком контактирующих фаз преимущественно для проведения процессов с практически постоянным объемом газовой фазы (например, окисление парафинов, циклогексана, аминирования и др.) или в случае незначительного его изменения по высоте аппарата (например, хлорирование бензола, толуола;. Для секционирования прямоточных реакторов чаще всего используют ситчатые или колпачковые тарелки, В прямоточных секционированных газожидкостных реакторах с восходящим движением фаз можно также проводить процессы, сопровождающиеся значительным изменением объемов газовой и жидкой фаз. В этом случае для увеличения диапазона устойчивой работы реактора целесообразно секционировать его по высоте клапанными тарелками.

Особенности гидродинамики клапанных контактных устройств при их использовании в аппаратах с восходящим движением жидкости и газа, а также аппаратов с восходящим прямотоком, секционированных тарелками с этими контактными устройствами, в литературе не освещены. Вместе с тем, даже визуальные наблюдения на прозрачных моделях обнаруживают специфику газожидкостного слоя и режимов в аппаратах этой конструкции.

В каждой секции реактора, ограниченной тарелками, имеет место инверсия фаз. Непосредственно на тарелке находится газожидкостный слой, в котором сплошной фазой является жидкость, а диспергированной - газ. В объеме между газожидкостным слоем и

вышележащей тарелкой в широком диапазоне нагрузок имеется пространство (сепарационная зона), в котором сплошной фазой является газ, а диспергированной - жидкость. Фазы как бы меняются ролями – происходит инверсия фаз. Контактирующие фазы из нижележащей секции в вышележащую перемещаются в результате срыва жидкости с поверхности газожидкостного слоя газовыми потоками по осям отверстий в полотне вышележащей тарелки вследствие эффекта Бернулли, вызванного значительным увеличением скорости газа и соответствующим увеличением скоростного и уменьшением статического напора по осям потоков (рис.7.2).

Таким образом, в прямоточных газожидкостных реакторах, секционированных по высоте клапанными тарелками, в значительном диапазоне скоростей контактирующих фаз имеет место инверсия фаз в каждой секции, что выгодно отличает их от барботажных аппаратов, работающих в режиме эмульгирования, или аппаратов с затопленной насМногократная инверсия фаз в рассматриваемых аппаратах позволяет резко интенсифицировать многие технологические процессы за счет устранения обратного перемешивания (по высоте аппарата) и создания на пути контактирующих фаз зон эффективного контакта. Действительно, как показано на Рис.7.2, можно условно выделить 8 зон контактирования фаз (при использовании для секционирования эжекционных клапанных контактных устройств). При этом зоны 1,3 и 7 характеризуются наиболее интенсивным контактом фаз в результате проявления, так называемых, входных и концевых эффектов. С учетом изложенного выше, изучение особенностей работы прямоточных аппаратов, секционированных клапанными тарелками, представляет определенный интерес для теории и практики массообменных и химических процессов в газожидкостных системах.

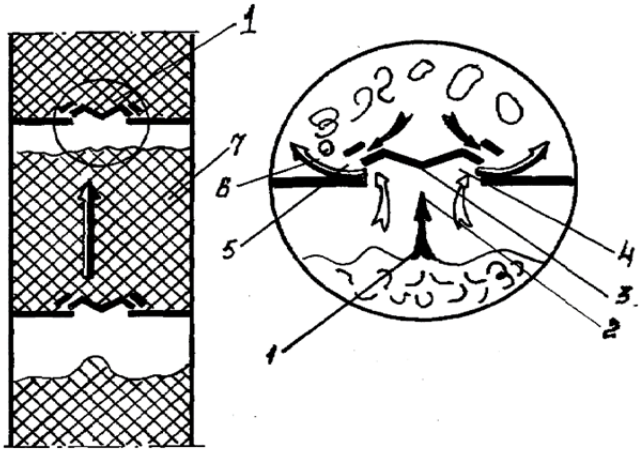


Рис.7.2. Схема движения контактирующих фаз в прямоточном секционированном реакторе с многократной инверсией фаз. 1- зона срыва жидкости газовыми струями с поверхности газо-жидкостного слоя, 2, 4, 6 – зона спутного движения газо – жидкостного потока, 3 – зона удара газо-жидкостного потока о поверхность клапана, 5 – зона эжекции жидкости газо – жидкостным потоком, 7 – зона входа газо-жидкостного потока в барботажный слой, 8 – зона контакта в газо – жидкостном слое

Таким образом, в прямоточных газожидкостных реакторах, секционированных по высоте клапанными тарелками, в значительном диапазоне скоростей контактирующих фаз имеет место инверсия фаз в каждой секции, что выгодно отличает их от барботажных аппаратов, работающих в режиме эмульгирования, или аппаратов с затопленной насадкой, характеризующихся однократным обращением фаз.

Многократная инверсия фаз в рассматриваемых аппаратах позволяет резко интенсифицировать многие технологические процессы за счет устранения обратного перемешивания (по высоте аппарата) и создания на пути контактирующих фаз зон эффективного контакта. Действительно, согласно рис.5.2 можно условно выделить 8 зон контактирования фаз (при использовании для секционирования эжекционных клапанных контактных устройств). При этом зоны 1,3 и 7 характеризуются наиболее интенсивным контактом фаз в результате проявления, так называемых, входных и концевых эффектов. При исследовании гидродинамики рассматриваемых аппаратов в зависимости от нагрузок по фазам были установлены следующие режимы::

- При скорости газа в колонне до 0,3 м/с наблюдается режим движения газа с периодическим проскоком газовых пузырей из-под клапана; пространство между тарелками полностью заполнено светлой жидкостью, имеет место провал жидкости на нижележащую тарелку.
- С увеличением скорости газового потока истечение газа из-под клапана происходит в виде струи. При этом режиме начинается формирование газожидкостного слоя.
- При достижении скорости газа 0,5-0,6 м/с на тарелке имеет место режим турбулизированной пены; слой светлой жидкости исчезает, наблюдаются сильные циркуляционные токи, над газожидкостным слоем появляется сепарационная зона. Такой режим можно рекомендовать в качестве основного рабочего режима реактора.
- С возрастанием скорости газового потока выше 2,5 м/с газожидкостный слой разрушается, жидкая фаза переносится вверх по колонне в виде больших капель, брызг, агломератов. В этот переходной режим сепарационная зона исчезает, во всей секции реактора, ограниченной тарелками, сплошной фазой является газ, а диспергированной - жидкость. При скорости газового потока по колонне выше 3 м/с устанавливается режим пневмотранспорта.

Как было отмечено выше, в сепарационной зоне каждой секции реактора в отличие от противоточных аппаратов имеются потоки жидкости, перемещающиеся с газовым потоком в виде струй в вышележащую секцию. Высота сепарационной зоны определяется многими параметрами, поэтому использование в расчетах прямоточных секционированных аппаратов раздельно газосодержаний газожидкостного слоя и сепарационной секции приводит к неоправданному усложнению расчетов. В этом случае целесообразно ввести новую характеристику- газосодержание секции (характеризует отношение объема газа в секции к полному ее объему) взамен газосодержания газожидкостного слоя, применяющегося для противоточных и эрлифтных несекционированных прямоточных аппаратов. Согласно результатам исследований продольного перемешивания жидкой фазы в аппаратах рассматриваемой конструкции при скорости газа выше 0,5 м/с обратное перемешивание между секциями отсутствует. Поэтому секционированный реактор можно представить как каскад реакторов без байпасирования.

Полученные зависимости и возможность их использования для реальных систем были уточнены путем исследования гидродинамических режимов работы полупромышленной установки для получения диметилформамида (ДМФА) непрерывным способом на системах азот-вода, МК-ДМА при температурах 20-150°С.

Секционирование прямоточных газожидкостных реакторов оказывает существенное влияние на массоперенос не только в результате появления зон дополнительного эффективного контакта фаз, но и благодаря уменьшению продольного перемешивания жидкости. Последнее особенно благоприятно в случае проведения в прямоточном аппарате реакционных и реакционно-массообменных процессов.

Известно, что средняя скорость реакции в аппаратах непрерывного действия, в которыхъ происходит смешение исходных веществ с продуктами реакции, меньше соответствующей скорости в реакторах полного вытеснения. Эта разница в скорости увеличивается с увеличением степени превращения и порядка реакции. Поэтому секционирование прямоточных реакторов, в особенности клапанными тарелками, устраняющее обратное перемешивание, способствует интенсификации химических процессов. Таким образом, химические, тепло- и массообменные процессы в значительной степени определяются структурой потоков в аппарате, обусловливающей время пребывания частиц в его секциях, а, значит, и степень завершенности процесса. Исследование структуры потоков жидкости обычно проводят путем изучения распределения частиц жидкости по времени пребывания. Поскольку перемещение жидкости в вышележащую секцию в рассматриваемых прямоточных аппаратах происходит путем ее срыва газом с поверхности газожидкостного слоя в зонах пониженного статического давления под отверстиями в полотне тарелки, обратные потоки между секциями отсутствуют уже при скорости газа по сечению аппарата выше 0,4-0,5 м/с. В этом случае аппарат можно представить как каскад последовательно расположенных ячеек, между которыми нет рециркуляционных потоков. Перемешивание в ячейках характеризуется общим коэффициентом продольного перемешивания, включающим коэффициенты турбулентной и осевой диффузии. По виду

функции распределения времени пребывания частиц в секции можно определить, какая математическая модель (идеального вытеснения, идеального смешения, диффузионная, ячеечная) соответствуют процессу в том или ином конкретном случае. Для получения функций распределения времени пребывания используют выходные кривые, получаемые при ступенчатом или импульсном, представляемом в виде функции Дирака или периодически изменяющимся по гармоническому закону вводе индикатора в аппарат или его модель.

Проведенные исследования прямоточного аппарата, секционированного клапанными тарелками с эжекционными клапанами, показали, что в диапазоне скоростей газа 0,6-2,2 м/с, скоростей жидкости $(1,8\text{-}7,5).10^{-1}$ м/с и высот секции 0,2-0,5 м продольное перемешивание вероятнее всего описывается диффузионной моделью, что подтверждается сравнением вида экспериментально полученных Е-кривых с Е-кривыми, полученными теоретически в результате решения уравнения диффузии. Хаотическое пульсационное движение жидкости, возникающее при движении газовых пузырей и струй, позволяет провести формальную аналогию между процессами молекулярной и турбулентной диффузии. Эта аналогия дает возможность использовать закономерности молекулярной диффузии при описании процесса перемешивания жидкости при барботаже.

В литературе рассмотрены решения задачи о продольном переносе индикатора с позиций диффузионной модели при различных краевых условиях и получены уравнения для расчета дифференциальных и интегральных функций распределения. При обработке результатов наблюдений используют операции не с самими функциями распределения, а с их вероятностными характеристиками. Статистический метод позволяет получить исчерпывающую характеристику кривой распределения. Ввиду того, что, как отмечено выше, секционирование прямоточного газожидкостного аппарата клапанными тарелками приводит к появлению явления многократной инверсии фаз, которое можно свести к многократному чередованию входных и концевых эффектов, вызванному образованием и разрушением газожидкостного слоя на каждой ступени контакта, представляет особый интерес исследование эффективности контакта фаз по высоте аппарата.

Многие из эффектов в выделенных выше (Рис.7.2) зонах, в частности, соударение потоков, импульсное воздействие, "концевые" эффекты, давно стали объектом пристального внимания исследователей, так как способствуют значительной интенсификации процессов переноса. Несмотря на то, что проведены теоретические и экспериментальные исследования для случаев одиночного и массового барботажа, образования и коалесценции капель (пузырей), до настоящего времени нет единого мнения о вкладе концевых эффектов в процесс переноса вещества. По данным различных авторов вклад зоны входа газа в жидкость в общий перенос вещества составляет 10-50%, при разрушении газожидкостного слоя - 20-60%.

При исследовании локальной эффективности контакта фаз особенно важное значение приобретает правильный выбор методики отбора проб из зоны контактирования. Ставший традиционным отбор проб в виде газожидкостной смеси с последующей ее сепарацией недостаточно корректен и вносит значительные искажения в общую картину эффективности массопереноса, так как при сепарации фаз непосредственно в сепараторе протекает интенсивный массоперенос, и состав отсепарированной из пробы жидкости не соответствует составу жидкости в газожидкостном слое непосредственно в месте отбора пробы. В наших исследованиях использовались пробоотборники из пористого материала, обеспечивающие за счет поверхностного натяжения отбор из двухфазного потока только жидкой фазы и сепарацию фаз непосредственно в газожидкостном слое, а не в автономных сепараторах, как это делалось ранее.

Исследования эффективности контакта фаз проводили при десорбции CO_2 из воды воздухом в прямоточных аппаратах, секционированных клапанными эжекционными тарелками» Экспериментальный аппарат, секционированный 4 тарелками, был оборудован 9 пробоотборниками жидкой фазы. По результатам анализа проб жидкости строили концентрационные профили по высоте аппарата при различных скоростях газа и жидкости (рис.7.3). Затем записывали уравнения материального баланса по участкам и решением полученной системы уравнений получали вклад каждой зоны в общий процесс переноса массы. Следует обратить внимание (рис.7.2) на то, что при восходящем прямотоке в режиме многократной инверсии фаз появляются два дополнительных участка высокой эффективности (при срыве жидкости газом с поверхности слоя в зоне сепарации I и при ударе образовавшегося двухфазного потока о внутреннюю поверхность клапана 3 в зоне эжекции). При разрушении газожидкостной системы высвобождается значительное количество энергии, обновляется поверхность контакта фаз, образуются быстродвижущиеся пленки, струйки, капли жидкости, возникают гидравлические удары, что способствует интенсификации переноса веществ.

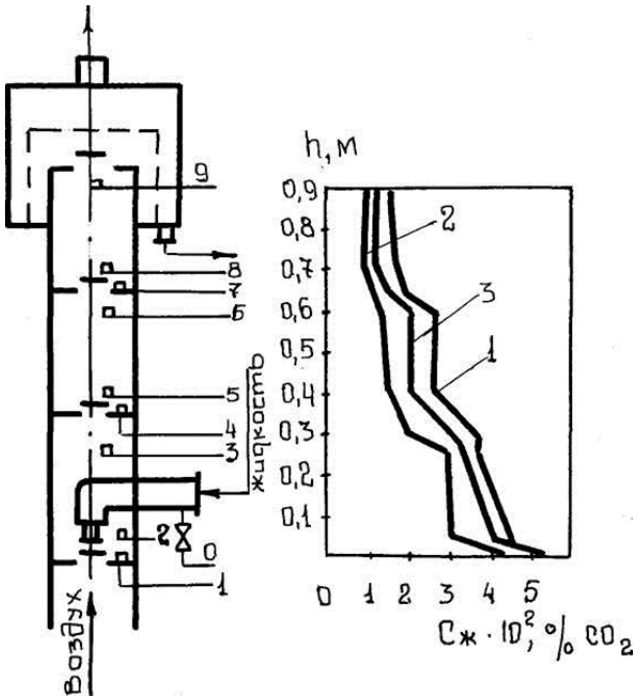


Рис. 7.3. Концентрационные профили в прямоточном секционированном аппарате: Wr= 0,6 м/с, 2 - 1,2, 3-2 м/с.

Поэтому в прямоточных аппаратах следует ожидать более высокий вклад сепарационной зоны в общий процесс переноса. Для облегчения обработки экспериментальных данных по вкладу различных участков газожидкостного слоя в общий процесс массопередачи в ступени контакта разбивали высоту каждой ступени на 3 зоны:

I. Зона входа газа в жидкость (включает участки 3-6 на рис.7.2).
II. Зона пены (участок 7).
III. Зона сепарации фаз (участки 1-2).

На рис.7.4 показаны в качестве примера результаты, полученные при плотности орошения 10,3-23 м/ч для скоростей газа по сечению аппарата 0,6-2 м/с. Видно, что вклад отдельных

участков в общий перенос в значительной степени определяется скоростью газа. Можно отметить, также, что наиболее эффективный массообмен происходит в I зоне, в особенности при высоких скоростях газа, когда усиливаются эффекты соударения и эжекции, а при средних скоростях в зоне III, когда сепарационное пространство выражено наиболее четко и эффект многократной инверсии проявляется наиболее сильно. Интересно, что вклад II зоны слабо зависит от скорости газа и меняется в пределах 0,4-0,6 (в то же время газожидкостный слой занимает до 75% высоты аппарата). С учетом этого, видимо, не следует стремиться к увеличению расстояния между секционирующими перегородками и высоты газожидкостного слоя.

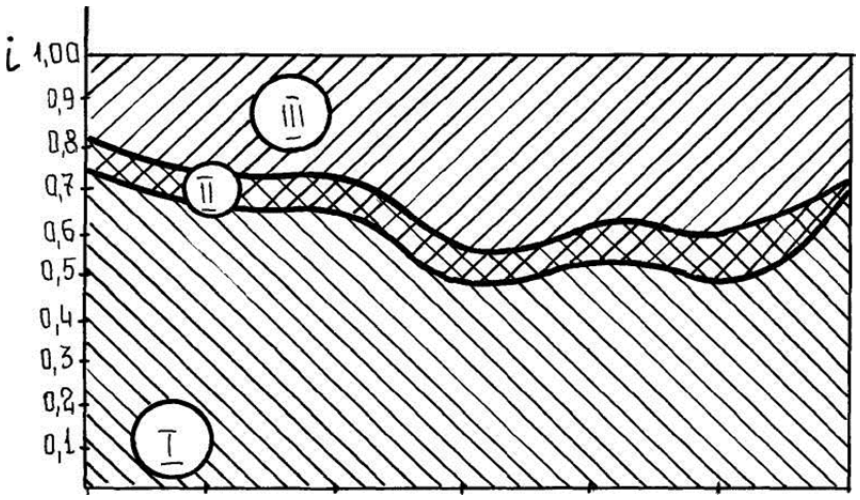


Рис. 7.4. Зависимость относительной интенсивности массопереноса различных зон барботажного слоя в прямоточном, секционированном клапанными тарелками аппарате при L_f =10,3 м/ч

Таким образом, из вышеизложенного ясно, что прямоточные секционированные реакторы с многократной инверсией фаз обладают рядом существенных преимуществ в сравнении с другими барботажными аппаратами аналогичного назначения (например, газлифтными):

а) обеспечивают высокую эффективность контакта фаз;
б) гарантируют стабильную работу в широком диапазоне нагрузок по газу и жидкости;
в) обеспечивают большое время пребывания жидкости в ступени контакта;
г) обеспечивают большое время контакта жидкости с газом (в особенности, при использовании эжекционных контактных устройств);
д) обеспечивают режим полного перемешивания жидкости в ступени контакта;
е) обеспечивают режим отсутствия обратного перемешивания жидкости между ступенями контакта;
ж) обеспечивают транспортировку жидкости газом на более высокую отметку, что во многих случаях позволяет упростить топологию ХТС;
з) просты по конструкции и в эксплуатации;
и) позволяют осуществить неадиабатический режим взаимодействия фаз путем размещения теплообменных элементов внутри секций;
к) обеспечивают высокую интенсивность процессов.

Новизна, отмеченные преимущества, оригинальность и простота аппаратов с многократной инверсией фаз позволила защитить их конструкцию не только в нашей стране, но и патентами в ФРГ, Франции, Японии.

Практика показала, что особенно эффективно (ввиду наличия преимуществ а-е) использование данного конструктивного решения в качестве совмещенного реакционно-десорбционного аппарата. В главе 7 будут даны примеры внедрения таких аппаратов в качестве хемодесорберов в процессах дегидратации, ацилирования, аминирования, окисления, дегидратации и др. Отмеченные выше преимущества, и в особенности пункт "в", позволяет использовать пря-

моточные секционированные аппараты в качестве унифицированного модуля при создании совмещенных реакционных и реакционно-массообменных аппаратов.

С учетом этого разработано несколько вариантов комбинированных аппаратов, внедренных или апробированных в промышленности в производствах диметиламидов монокарбоновых кислот и диоксана, комбинированного реактора аминирования акрилонитрила на базе модульного подхода. Последний реактор выполнен в виде колонны, состоящей из двух секций: прямоточной, секционированной эжекционными контактными тарелками и расположенной в верхней части аппарата, и отгонной противоточной, секционированной клапанными противоточными тарелками. На нижней тарелке прямоточной секции образуется газожидкостная смесь, которая транспортируется аммиаком и водяным паром вверх по колонне. В расширителе, смонтированном в верхней части колонны, происходит сепарация непрореагировавшей смеси. Избыточный аммиак с помощью инжектора возвращается в цикл, а жидкие продукты подаются на верхнюю тарелку отгонной секции.

Такое технологическое оформление стадии аминирования, как показала эксплуатация установки на Уманском витаминном заводе, является удобным, простым, позволяет проводить процесс при атмосферном давлении в интенсивных режимах (скорость парогазовой смеси по аппарату равна 1,6 м/с, необходимое для полного связывания акрилонитрила время пребывания жидкости в реакционной зоне составляет 0,13 ч. Далее читатель может ознакомиться с этими и другими разработками комбинированных и блочно- модульных реакторов высокой гибкости.

7.2. Оптимизация конструкций регулярных насадок для совмещенных и массообменных аппаратов.

Многие хемосорбционные и хемодесорбционные процессы требуют для своей реализации использования насадочных аппаратов. При этом особенно важное значение приобретают вопросы обеспечения в аппаратах равномерного распределения фаз, особенно при больших поперечных размерах, так как даже допустимая в массообменных аппаратах поперечная неравномерность в случае совмещенного реакционно-массообменного аппарата неизбежно усилится из-за локального выделения (поглощения) тепла химической реакции и появления температурных градиентов.

В данном разделе предложено несколько новых конструкций регулярных насадок, обеспечивающих высокую эффективность контакта и постоянное перераспределение потоков контактирующих фаз по высоте и сечению аппарата, относительно высокое время пребывания жидкости, и отвечающих, вследствие этого, требованиям совмещенных процессов.

Одним из эффективных методов интенсификации газожидкостных в том числе реакционно-массообменных процессов химической технологии является обеспечение движения жидкости в пленочном режиме. Уже сейчас пленочные аппараты широко применяются в процессах выпаривания, испарения термолабильных жидкостей, охлаждения и конденсации, хемосорбции, хемодесорбции, для улавливания газовых выбросов и др. Аппараты со свободно стекающей пленкой, с восходящей пленкой, с закрученным газожидкостным потоком и роторные применяются также для проведения быстрых химических реакций при больших соотношениях расходов газа и жидкости, когда особое значение приобретает их равномерное распределение по сечению аппарата.

К регулярным насадкам, где наиболее часто реализуют пленочный режим течения, относят плоскопараллельную (листовую) насадку, выполненную из поставленных не ребро плоских элементов, образующих решетки, уложенные друг на друга (или на расстоянии друг от друга) с разворотом

на некоторый угол, и, наконец, различные типы блочных насадок (рулонная, "сотовая", "Спрейпак[11] и др.).

Несмотря на то, что проведен целый ряд фундаментальных исследований пленочных аппаратов (П.Л.Семеновым, Н.М.Жаворонковым, В.А.Малюсовым, В.М.Олевским и др.) и разработаны сотни конструкций регулярных насадок, широкое использование их в промышленности существенно замедляется из-за отсутствия надежных и обоснованных методик инженерного расчета.

Расчетные методики, основанные на исследовании закономерностей пленочного течения, проведенном в лабораторных условиях, зачастую не подтверждаются при создании промышленных аппаратов. Их эффективность значительно ниже, чем у базовых вариантов, так как в промышленных аппаратах не удается обеспечить такое же равномерное распределение контактирующих фаз по сечению аппарата, как в лаборатории. Однако, и в случае использования самых совершенных распределителей газа и жидкости уже достигнутое относительно равномерное распределение фаз при больших высотах промышленных аппаратов сохранить не удается вследствие пристеночных эффектов, отекания жидкости в одну сторону из-за незначительных перекосов насадки, стягивания пленки жидкости в "жгуты" под действием сил поверхностного натяжения, местных загрязнений, коррозии, шероховатости элементов насадки и т.д.

Как показали исследования, более эффективной является не равномерная, а нестационарная, пульсирующая во времени (и по площади поперечного сечения насадочного аппарата) подача жидкости, что приводит к секционированию жидкостного потока по высоте аппарата, снижает обратное перемешивание, уменьшает унос жидкости, повышает движущую силу процесса в сравнении со стационарными процессами.

Пульсирующие режимы орошения могут обеспечиваться конструктивными особенностями самих оросителей. Такой режим обеспечивает, например, ороситель типа сегнерова колеса [32,57,58]. Недостатком вращающихся оросителей является наличие громоздких элементов, ненадежность в эксплуатации, быстрая забивка щелей и отверстий. Автором совместно с Н.В.Васиным и В.И.Олембергом предложен простой статический ороситель, способный генерировать импульсную подачу жидкости (рис.5.5). Ороситель работает следующим образом, Жидкость подается на плиту постоянно. После заполнения оросителя до верха патрубка жидкость переливается через него, увлекая и вытесняя при этом воздух из-под колпачка. Образуется сифон, и жидкость начинает сливаться через патрубок полным сечением до тех пор, пока уровень жидкости на плите не понизится до низа колпачка.

Для определения возможности использования оросителя в промышленных аппаратах необходимо знать его основные характеристики (время срабатывания, область устойчивой работы, основные размеры зоны орошения). Исследования показали, что на работу оросителя влияют диаметр сливного патрубка, толщина стенки патрубка, диаметр колпачка, зазор между крышкой колпачка и началом патрубка, длина патрубка, высота колпачка, зазор между концом патрубка и отбойным диском, расстояние между началом патрубка и концом колпачка, форма сливного патрубка, расход и вязкость жидкости.

Важнейшей характеристикой работы оросителя является частота циклов. Частота циклов с увеличением длины патрубка увеличивается, при этом время заполнения остается постоянным, а

время слива жидкости уменьшается. Частота циклов увеличивается при увеличении сливного зазора

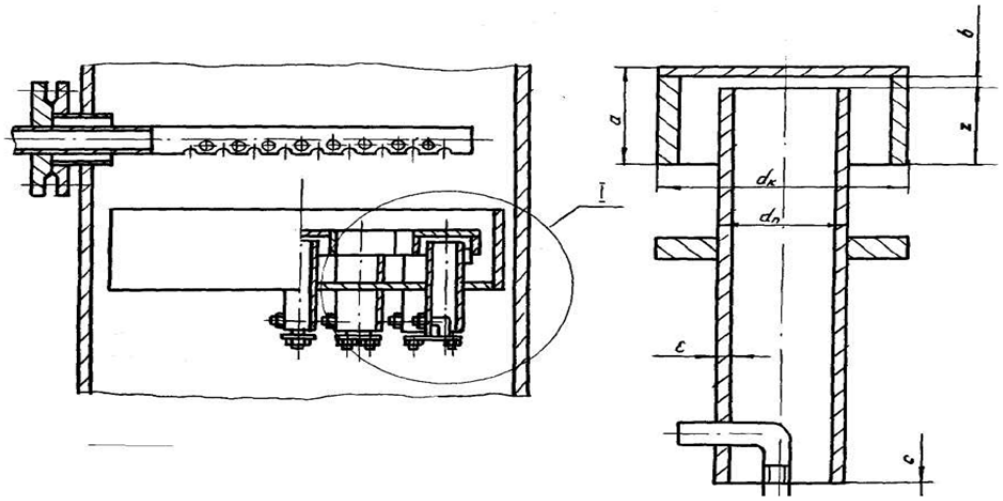


Рис.5.5. Пульсирующий ороситель сифонного типа.

между патрубком и колпачкоми колпачком. Оросители такой конструкции использованы для орошения насадочных скрубберов в производстве дивинила (диаметр 1,2 м, расход жидкости для орошения 15 м/ч диаметр оросительной ванны 0,6 м, 40 патрубков диаметром 32 мм) на Карагандинском заводе СК.

Пульсации расхода жидкости, создаваемые с помощью специальных оросителей или за счет конструктивных особенностей внутренних устройств колонны, оказывают значительное влияние на эффективность массообменных процессов в газожидкостных системах. В связи с необходимостью учета этого метода интенсификации при разработке новых конструкций регулярных насадок для совмещенных аппаратов были проведены специальные исследования с целью определения оптимальных параметров пульсаций».

Исследования проводили при прямо- и противоточном движении контактирующих фаз в трубчатом пленочном элементе при десорбции углекислого газа из воды воздухом (в ряде серий применяли водные растворы глицерина) при 25°С. Амплитуду колебаний *А* варьировали от 15 до 25 мм, частоту - от 2 до 13 $^{c-1}$. Скорость воздуха в свободном сечении аппарата составляла 0,3 м/с. Плотность орошения изменяли в пределах 0,1-0,25 м/ч. Растворы насыщали углекислым газом до концентрации порядка 1,4 г/л Коэффициенты массопередачи относили к поверхности трубки.

Как видно из рис.7.6а. колебания трубчатого пленочного элемента по вертикали приводят к существенному увеличению коэффициента массопередачи. Зависимость его от частоты пульсаций носит экстремальный характер, причем максимум смещается в сторону уменьшения частот при увеличении амплитуды пульсаций. По-видимому, при интенсивности пульсаций 200 мм/с происходит отрыв пленки от вибрирующей трубки. Если последнее предположение верно, то увеличение вязкости жидкости должно привести к получению более высоких значений коэффициентов массопередачи , так как колебания трубчатого элемента вызовут более сильную турбулизацию жидкостной пленки и изменения на ее поверхности. Действительно, как видно из рис.7.6б, увеличение вязкости жидкости способствует интенсификации процесса переноса вещества в рассматриваемом случае.

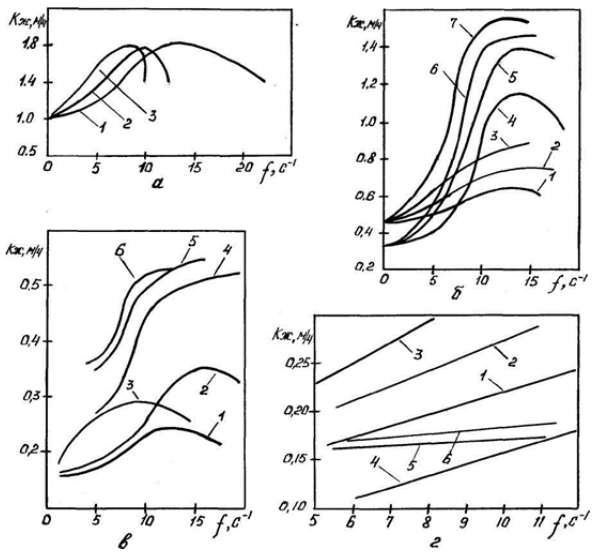


Рис. 7.6. Экспериментальные данные по влиянию пульсаций трубчатого элемента на процесс массопереноса (зависимость $K_п = f(A, f)$: а - при абсорбции углекислого газа водой (прямоток) на элементе со спиральной навивкой проволоки (диаметр 1,5 мм, шаг 16 мм, при Q = 40 л/ч, 14^=0,15м/с, t = 20°С), при абсорбции углекислого газа водой (кривые 1-3), 20%-водным раствором глицерина в воде (кривые 4-6), 50%-ным

О роли внутреннего трения в нисходящей пленке и влиянии на массообмен искусственной шероховатости (навивки проволоки на гладкий элемент) свидетельствуют данные, приведенные на рис.7.6в. Коэффициенты массопередачи для элемента с навивкой значительно превосходят полученные в тех же условиях значения К0 для гладкого элемента, что обусловлено перераспределением и раствором глицерина в воде (кривая 7) на прямоточном пленочном элементе со спиральной навивкой (Q=1бл/ч, $W_г$= 0,15 м/с,250С), в - при десорбции кислорода из воды воздухом на гладком элементе (кривые 1-3) и элементе со спиральной навивкой (4-6) при Q = 12л/ч, $W_г$= 0,32м/с, 25°С, г - при десорбции углекислого газа из воды воздухом (противоток, гладкий элемент) при Q=5л/ч (кривые 1-3; и Q =9л/ч (кривые 4-6); 1-4 - А=15мм, 2,0 - А = 20 мм, 3,6 - А = 25 мм. турбулизацией поверхностных слоев жидкости.

При прочих равных условиях интенсивность массопереноса возрастает с увеличением значения амплитуды пульсаций. В то же время увеличение расхода жидкости (рис.7.6) вызывает уменьшение $К_ж$ и влияния амплитуды, что можно объяснить увеличением толщины пленки жидкости и соответственным уменьшением турбулизации ее поверхности. Следует обратить внимание на тот факт, что чаще всего максимальные значения $K_ж$ получаются в довольно узком диапазоне частот налагаемых колебаний - 8-15 $с^{-1}$

Явление интенсификации переноса вещества при пленочных режимах контактирования, вызванное наложением пульсаций на смоченную поверхность, можно использовать в практике интенсификации промышленных массообменных аппаратов, по крайней мере, в трех направлениях: вибрация непосредственно контактных элементов, пульсация расхода жидкости, организация периодических возмущений - пульсаций расхода вследствие конструктивных особенностей внутренних устройств аппарата. Если первое направление нельзя признать перспективным ввиду сложности, дороговизны, отсутствия эксплуатационной надежности, то второе и третье направления успешно развиваются.

Совершенствование конструкций насадок с пленочным режимом контактирования идет по пути турбулизации пленки стекающей жидкости. По мнению автора, особого внимания заслуживают те варианты конструкций регулярных насадок, где обеспечено постоянное перераспределение потоков контактирующих фаз между конструктивными элементами насадок, выравнивание профиля скоростей газа и жидкости по сечению аппаратов.

Предлагаемое направление интенсификации промышленных аппаратов подтверждает и наметившаяся тенденция к уменьшению высоты пакетов листов ППН и высоты рулонов рулонной насадки, к использованию гофрированных, а также снабженных просечными отверстиями различной формы листовых

материалов. Все это не только способствует турбулизации жидкостной пленки, но и улучшению распределения потоков фаз.

Имеется возможность интенсифицировать ППН путем снабжения вертикальных элементов регулярно чередующимися специальными конструктивными элементами (направленно-просечными отверстиями, выступами, зигзагообразными вставками в пространстве между вертикальными листами и т.п.). В отличие от предложенных недавно аппаратов с вертикальными решетками такое техническое решение не приводит к преобразованию пленочного аппарата в барботажный, а позволяет интенсифицировать процесс массообмена путем активизации стекающей пленки жидкости за счет наложения на нее периодических регулярных возмущений. Как показали исследования, аппараты с такой насадкой обладают высокими технико-экономическими показателями, практически не изменяющимися с увеличением поперечных размеров аппарата, и могут быть использованы в вакуумных процессах, накладывающих ограничения на гидравлическое сопротивление.

В одном из вариантов такого аппарата насадка отличается от обычной ППН тем, что к ее вертикальным листам I прикреплены срезающие 2 и перераспределительные 3 элементы (рис.7.7), установленные по высоте попарно.

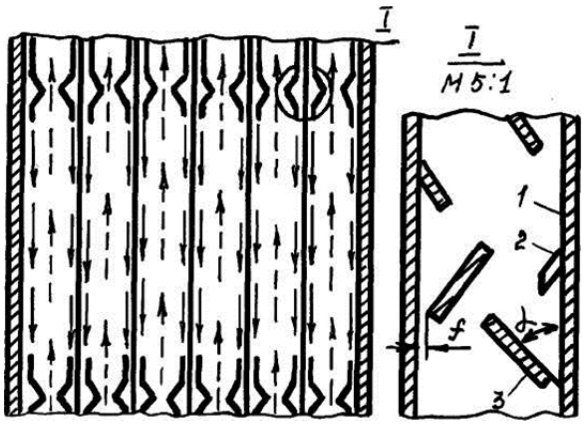


Рис.7.7..Регулярная листнасадка с перераспределителями ППН

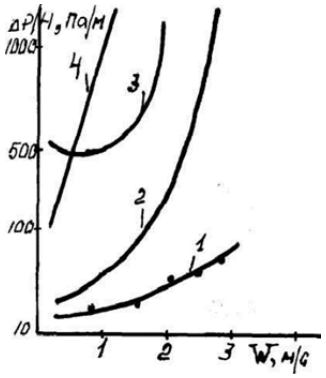


Рис 7.9.Зависимость гидравлического сопротивления I м высоты насадки от скорости газа. 1-насадка ППЭ, 2-насадка "Зульцер", 3-насадка ВР, 4-кольца Рашига 25х25 мм.

Постоянство толщины пленки и равномерность ее распределения по поверхности насадки обеспечивают стабильные характеристики и высокую эффективность аппаратов, имеющих плоскопараллельную насадку с перераспределительными элементами (ППЭ), в широком диапазоне изменения нагрузок по фазам, а также в случае изменения физических свойств и расходов

перерабатываемой жидкости по высоте аппарата, что характерно для ректификационных процессов.

При набегании пленки жидкости на срезающий элемент 2 происходит срыв ее со стенки листа I и соударение с плоскостью элемента 3, что приводит к перемешиванию жидкости на элементе, периодическому перераспределению слоев и их обновлению. Последнее способствует интенсификации тепло- и массообмена. Установка элементов 2,3 уменьшает образование осадков на пластинах при переработке загрязненных продуктов или насыщенных растворов ввиду регулярного перемешивания и перераспределения слоев пленки жидкости. Установка перераспределительных элементов препятствует провалу жидкости, так как при срыве она вновь попадает на плоскость элемента и возвращается на вертикальные пластины. Наконец, установка дополнительных элементов между вертикальными листами способствует многократному изменению направления движения и турбулизации газовой фазы.

Дальнейшим развитием конструкции насадки ППН является насадка, состоящая из параллельных листов с синусоидальными выпуклыми или вогнутыми элементами, также обеспечивающими .перераспределение потоков. Высота волн элементов и расстояние между ними определяются расходом и физическими свойствами фаз, а также оптимальной частотой перераспределения слоев пленки жидкости. Поступающая на насадку жидкость стекает пленкой по стенкам вертикальных листов, контактируя с газом (паром), При этом с гребней элементов большая часть жидкости перемещается по поверхности волн к впадинам, образуя локальные области повышенной плотности орошения. При слиянии струй (потоков; жидкости, стекающих с соседних гребней элемента во впадины, происходит их соударение, перемешивание с выравниванием концентраций и температур в поперечном направлении по листам и последующее разделение на новые струйки при набегании на гребни следующего элемента. Наряду с интенсификацией процесса, при этом уменьшаются инкрустации и расширяется диапазон устойчивой работы из-за постоянного перераспределения слоев жидкости за счет накладываемых на нее возмущений, что особенно важно при переработке вязких жидкостей и повышенных плотностях орошения, когда толщина пленки существенно возрастает, и участие нижних слоев в процессе массообмена затрудняется. При плотности орошения 1,15 м/ч толщина пленки изменялась от 0,2 до 0,8 мм, неорошаемых участков на пластине не наблюдалось (в то же время, при тех же условиях около 20% гладкой пластины оказалось неорошаемым). Соответственно, у новой насадки в сравнении с ППН оказались примерно в 3 раза выше экспериментальные значения коэффициентов массопередачи (соответственно 0,68 м/ч и 0,186 м/ч).

Одной ~~из~~ наиболее перспективных в плене реализации предложенных выше направлений совершенствования конструкций насадок для совмещенных процессов является хордовая насадка, где само размещение элементов конструкции в пространстве предопределяет возможность использования этой конструкции в аппаратах любого поперечного сечения. Помимо улучшения распределения фаз по сечению аппарата, а также способности быстро восстанавливать нарушенное распределение, хордовая насадка реализует одновременно два режима взаимодействия газа и жидкости - пленочный и брызговый. Действительно, в зазорах между досками, из которых ее обычно изготавливают, газ взаимодействует с нисходящими по боковым сторонам пленками жидкости. При отекании последних с нижних ребер досок образуются струйки и капли жидкости, поверхность которых достаточно велика и вполне соизмерима с поверхностью пленок. При этом в пространстве между соседними решетками имеет место брызговый режим взаимодействия. На верхних ребрах элементов нижележащих решеток вновь образуются пленки и т.д. Столь частое образование и разрушение пленок в хордовой насадке способствует повышению ее эффективности вследствие проявления так называемых входных и концевых эффектов. Кроме того, турбулизации фаз и интенсификации массопереноса способствует многократное дросселирование газового потока по высоте при расширении его в междурешеточном пространстве и сужении в зазорах между досками. В монографиях Т.Хоблера и В.М.Рамма приводится описание наиболее распространенной в градирнях и скрубберах коксохимпроизводств хордовой насадки, выполненной из поставленных на ребро досок, образующих решетки, укладываемые на расстоянии 20 мм с разворотом решеток на 45 или 90°. Рекомендованы следующие

размеры элементов насадки: толщина досок 10-13 мм, высота -100-150 мм, в нижней части досок через каждые 200-250 мм выполняются вырезы для предупреждения стекания жидкости в одну сторону в случае перекоса насадки.

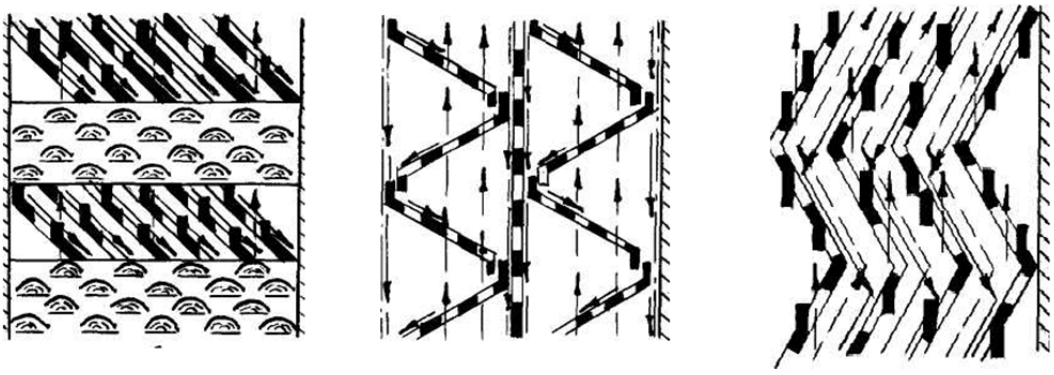
С учетом рекомендаций об оптимальных параметрах пульсаций, вызываемых конструкцией насадки в контактирующих фазах, и повышенных требований совмещенных процессов к распределению фаз по сечению аппарата автором была предпринята попытка оптимизировать конструктивные параметры хордовой насадки применительно к условиям ее работы в башнях абсорбции-десорбции брома установок воздушной десорбции брома из рапы. В качестве параметра оптимизации использовали предложенный В.П.Майковым комплексный технико-экономический критерий , позволяющий сделать выбор между интенсивностью процесса массопередачи, удельной производительностью, энергетическими затратами на перемещение потоков и удельной стоимостью конструкций.При оптимизации геометрии хордовой насадки использовали методику факторного планирования эксперимента, которая в сочетании с выбранным комплексным технико-экономическим параметром оптимизации позволяет с минимальными затратами на проведение экспериментов оптимизировать хордовую насадку с учетом требований хемосорбционных и хемодесорбционных установок бромных производств.

В такой хордовой насадке газовый поток при движении вверх многократно дросселируется, На скорость и давление в газовом потоке при этом налагаются пульсации, частота налагаемых пульсаций изменяется в пределах 2-15 $с^{-1}$. Сопоставление этих значений с оптимальными значениями частот пульсации, приведенными выше, показывает, что создаваемые за счет конструктивных особенностей в хордовой насадке пульсации близки к рекомендуемым. Многократное дросселирование газа в продольных каналах приводит к модулированию низкочастотных колебаний, уже созданных в газовом потоке пакетами насадки, за счет наложения колебаний более высокой частоты (100-200 $с^{-1}$), что способствует дополнительной интенсификации процесса переноса вещества. Постоянное разрушение и обновление поверхности жидкостной пленки также интенсифицирует процесс массообмена. И, наконец, свой вклад вносит завихрение газа в расширительной камере, обеспечивающее соударение потоков контактирующих фаз.

Результаты исследования двух вариантов насадки (с гладкими боковыми поверхностями и снабженными выступами) показали, что в равных условиях сопротивление насадок практически не изменялось, а коэффициент массопередачи в хордовой насадке с выступами увеличился примерно на 20-25%. В результате внедрения новой насадки фактор интенсивности в сравнении с насадкой из колец Рашига (внавал) увеличился в 1,5-2 раза для башен абсорбции и в 1,3-1,6 раза – для башен десорбции.

Сопоставление аппаратов с новой насадкой и аппаратов с уложенными рядами кольцами Рашига размером 50х50 мм подтвердило преимущества аппаратов с хордовой насадкой. Их сопротивление при одинаковых нагрузках оказалось на 15-20% ниже, а эффективность гораздо выше; они обеспечили повышение степени извлечения брома не 3-4%.

Предложенная конструкция насадки может быть использована не только для совмещенных, но и для других установок абсорбции-десорбции , где традиционно применяют неметаллические материалы (дерево, фарфор, пластмассу, керамику, углеграфиты и т.п.), например, в коксохимической промышленности для башен масляной абсорбции, в теплоэнергетике для градирен и др.



б а в

Рис.7.10. Регулярные насадки с наложением пульсаций на контактирующие фазы, а - хордовая из просечных листов, б- пленочно-барботажная, в - зигзагообразная из просечных листов.

Для тех процессов, где возможно применить хордовую насадку из листового материала (металл, армированный стеклопластик с искусственно нанесенной на поверхность сеткой и т.п.) и где требуется низкое гидравлическое сопротивление и высокая эффективность контакта фаз, может быть рекомендована насадка, являющаяся дальнейшим развитием вышеописанной хордовой. Она состоит из развернутых один относительно другого пакетов, собранных из параллельных пластин, снабженных направленно-просечными отверстиями (Рис.7.10 а).

Идея интенсификации контакта фаз при проведении процесса по встречных струях, реализованная в этой конструкции, нашла отражение также в насадке, отличающейся от вышеизложенной тем, что смежные по высоте решетки развернуты на 180°, а кромки просечных отверстий соседних пластин направлены в противоположные стороны и расположены в смежных по высоте пластинах соосно (Рис.7.10 б).

Сопоставление двух последних конструкций регулярных насадок по критерию технико-экономической эффективности, величине сопротивления слоя высотой I м, коэффициентам массопередачи в жидкой фазе подтверждает значительные преимущества новых насадок в сравнении с деревянной хордовой с выступами.

Для целого ряда совмещенных реакционно-отделительных процессов требуются регулярные насадки, обладающие не только с высокой эффективностью контакта фаз, но и большим временем контакта при сравнительно невысоких нагрузках по жидкости. Этим требованиям соответствует регулярная пленочно-барботажная насадка, сочетающая преимущества барботажного и пленочного режимов (рис.5.10 в). Насадка состоит из вертикальных пластин и расположенных между ними наклонных перфорированных пластин, плоскость которых может снабжаться просечками с отогнутыми под углом кромками. Кроме наложения на стекающую пленку возмущений с определенной частотой, такая конструкция насадки обеспечивает гарантированную толщину пленки при различных нагрузках по жидкости, что расширяет диапазон устойчивой работы аппаратов. Интенсификация технологических процессов достигается также вследствие увеличения поверхности массопередачи, поскольку жидкость, стекающая по наклонным пластинам, также участвует в процессе контактирования с газом, проходящим через отверстия. Изменяя направление его прохода изменением угла просечки отверстий, можно либо ускорять, либо замедлять движение жидкости по пластинам, обеспечивая необходимое время контакта фаз.

Степень интенсификации процесса зависит от частоты перераспределения слоев пленки жидкости, что подтверждено исследованиями, проведенными в процессе десорбции углекислоты из воды и водных растворов глицерина воздухом. Для жидкости вязкостью 1-5,5 сП наибольшие значения коэффициентов маосопередачи достигались при наложении на жидкостную пленку пульсаций частотой 12-13 $с^{-1}$. Предварительные технико-экономические расчеты показывают, что целесообразно для изготовления такой насадки использовать титановые сплавы (в частности, ВТ-I0). Однако, в связи с ограниченными ресурсами по титану этот проект, к сожалению, пока не удалось реализовать в промышленности.

Хордовые насадки из неметаллических материалов (керамики, ситалла, фарфора и т.п.) или просечного металлического листа, несомненно, будут унифицированы и найдут более широкое применение в химической, коксохимической и других отраслях промышленности в аппаратах с большими поперечными размерами, предназначенных для работы в условиях высоких нагрузок по газу и малых сопротивлений.

В заключение этого раздела остановимся на возможности совершенствования конструкции регулярных трубчатых насадок для неадиабатических реакционно-массообменных аппаратов. Можно выделить несколько АК-методов интенсификации: а) однотипное комбинирование аппаратов - предполагает использование одних и тех же свободных поверхностей как для организации теплообмена, так и массообмена; б) оптимизация формы теплообменник элементов -обеспечивает интенсификацию теплообмена за счет оптимальных направлений и величины тепловых потоков и температурных полей, например, путем сочетания восходящих и нисходящих потоков продукта; в) установка турбулизирующих вставок в теплообменные трубки - предотвращает налипание на внутреннюю поверхность теплообменных трубок и турбулизирует газо-жидкостную систему; г) закручивание потоков в трубках обеспечивается установкой завихрителей на входных участках - интенсифицирует съем тепла и процесс массообмена; д) установка генераторов колебаний (например, клапанов) в трубках - обеспечивает низкочастотные колебания в газо-(паро)-жидкостной системе, которые ин те не и р пируют процессы тепло-массообмена; используется при вводе дополнительного потока паровой фазы растворителя или неконденсирующегося газа; е) поперечное секционирование - обеспечивает перераспределение газового (парового) потока по трубкам с целью выравнивания тепловых нагрузок на каждой трубке; ж) пульсационный ввод жидкости в аппарат - обеспечивает локальные изменения полей скоростей, концентраций и давлений в зоне тепломассообмена.

Частично указанные методы использованы автором в работах, связанных с созданием реакционно-массообменных аппаратов для синтеза ДМФА и диоксана, а также интенсификацией выпарных и дистилляционных установок, используемых в химической и пищевой промышленности. На рис.7.11 дана схема установки дистилляции масляных мисцелл с рециклом соковых паров, В аппарате обеспечено восходящее движение фаз по трубкам. Начальный участок каждой теплообмен-ной трубки (до 1/3 по высоте) является зоной подогрева, на которой происходит конвективный теплообмен с наиболее низким значением К . Ввод перегретых соковых паров в импульсном режиме именно на начальном участке увеличивает общую величину *К.* Этот способ дистилляции масляных мисцелл с рециклом соковых паров реализован применительно к экстракционной линии НД-1250. Интенсификация процесса, улучшение качества масла и снижение энергетических затрат на предварительной стадии дистилляции, достигается за счет отбора части паров растворителя (10-30%), компримирования их до давления (1,05-1,45).10 кПа, перегрева до температуры 100-120°С и равномерного распределения паров растворителя, которые возвращают в мисцеллу, подогретую до бб-7б°С, с последующим выпариванием парожидкостной смеси в восходящем потоке.

Кроме того, ввод в вертикальные трубки не гомогенной жидкости, а газо-жидкостной смеси значительно снижает температуру начала кипения и практически устраняет необходимость перегрева жидкости. Это можно объяснить введением уже сформировавшихся пузырьков пара достаточно большого размера в зону подогрева, в которые затем поступают пары, образующиеся при кипении. При традиционных методах проведения процесса в вертикальных трубках трудности связаны с образованием первых пузырьков пара. Снижение температуры начала кипения особенно важно при переработке термолабильных веществ. Аналогичное решение использовано при разработке реактора десорбера для производства 1,4-диоксана, Совместное течение пара и жидкости в трубках такого аппарата носит сложный характер, В связи с этим были проведены исследования гидродинамики двухфазных адиабатных и диабатных течений в вертикальном стеклянном аппарате, что дало возможность визуально наблюдать за движением воздушно-водяной смеси, выбранной в качестве модельной для двухфазного потока» В нижнюю часть исследуемого выпарного аппарата подавали воздух» При исследовании диабатных процессов подаваемый в аппарат воздух предварительно подогревался до 100° и в рубашку аппарата подавалась вода, нагретая до 90°С. Для каждого из режимов работы фиксировался запас жидкости в вертикальных трубках аппарата в зависимости от режима работы.

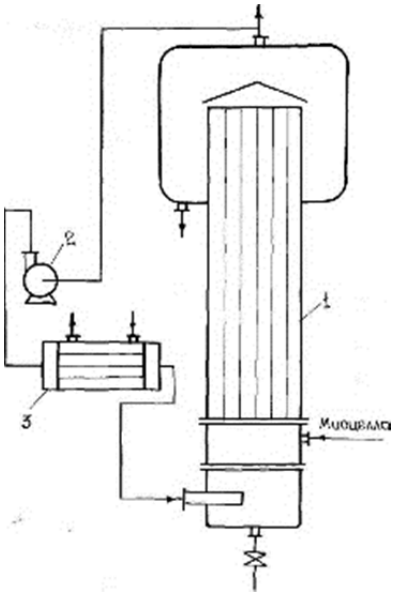


Рис 7.11. Принципиальная схема дистилляционной установки с рециклом соковых паров: I-трубчатая секция, 2-конпрессор, 3-перегреватель, 4-тарельчатая секция

Было обнаружено, что образуются дисперсии, состоящие из воздуха и воды, структура которых зависит от соотношения их расходов, В начальный момент работы внизу трубок аппарата имеется однофазный жидкостной поток, который, по мере подачи воздуха, переходит в двухфазную систему из пузырьков пара, распределенных в потоке жидкости. При увеличении объемного расхода воздуха пузырьки слипаются друг с другом и укрупняются, часть из них приобретает форму снарядов, В результате возникает пузырьково-снарядная структура, переходящая в снарядную при увеличении расхода воздуха. При дальнейшем увеличении расхода воздуха отдельные снаряды сливаются, переходя в дисперсно-снарядный и дисперсно-кольцевой режимы. При диабатном процессе, теплообмен вызывает более быстрые фазовые превращения, поэтому режимы течения от пузырькового до кольцевого наступают при более низком объемном расходе воздуха.

На основании проведенных исследований установлено, что оптимальным режимом является снарядный и снарядно-кольцевой, что необходимо учитывать при конструировании таких трубчатых аппаратов и выборе методов интенсификации. Для интенсификации процесса путем закручивания потоков в трубках последние целесообразно снабдить завихрителями, способными свободно перемещаться по высоте для очистки внутренней поверхности трубок от инкрустаций.

Описанные конструкции неадиабатических насадок, обеспечивающие восходящее движение газожидкостной смеси, могут быть использованы в качестве унифицированного модуля и хорошо сочетаются при конструировании совмещенных реакционно-массообменных аппаратов с модулем "прямоточный секционированный реактор с многократной инверсией фаз”. Чередование этих модулей в комбинированных аппаратах позволяет создать из унифицированных элементов нестандартные аппараты, наиболее полно соответствующие требованиям реакционно-массообменных процессов. При необходимости конструирования неадиабатических противоточных реакционно-массообменных (например, реакционно-ректификационных) аппаратов с использованием трубчатого модуля целесообразно организовывать пленочные режимы течения жидкости по внутренней поверхности трубок, используя одну из известных конструкций распределителей жидкости.

При создании реакционно-разделительных аппаратов с использованием трубчатых модулей особенно эффективным оказывается их сочетание в одном агрегате унифицированных трубчатых прямоточного и противоточного модулей, разделенных сепаратором. Такие аппараты могут быть использованы для организации неадиабатических реакционно-отделительных процессов.

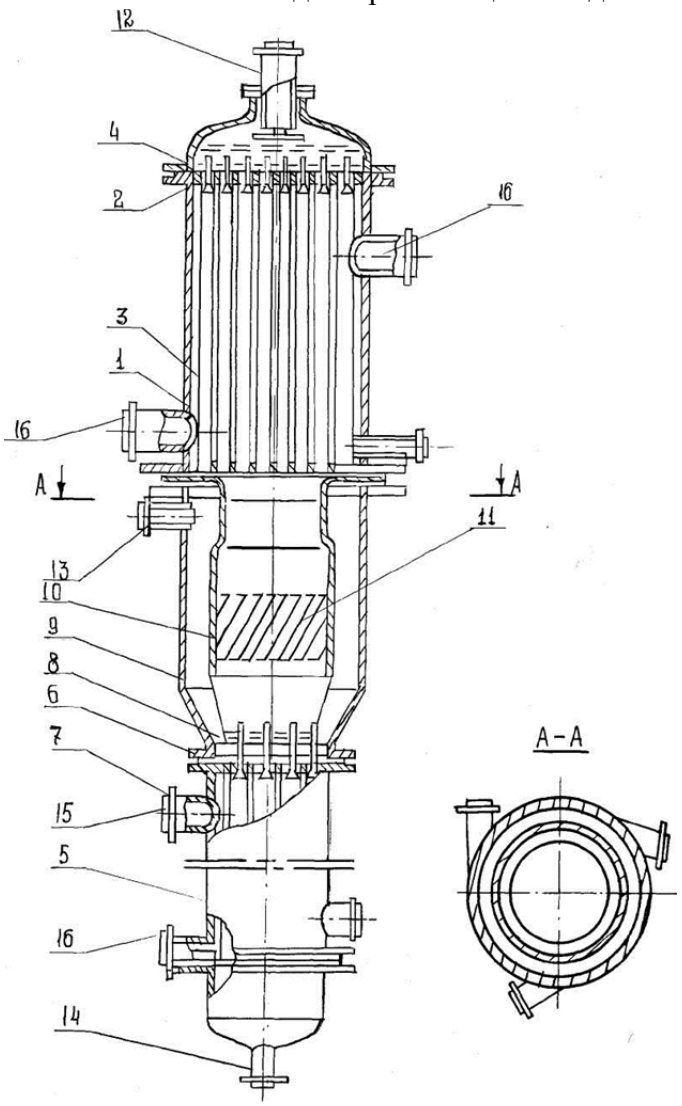


Рис.7.12. Пленочный секционный испаритель: I-кожух, 2- трубная доска, 3- испарительные трубки, 4- распределительные устройства, 5- кожух, б- трубная доска, 7- испарительные трубки, 8- распределительные устройства. 9- переходная часть, 10 -сепаратор, II- прорези, 12-16 — штуцера

Более подробно конструкция такого аппарата показана на рис.7.12. Этот вариант предназначен для установок дистилляции, где выполняет функции пленочного секционного испарителя. Аппарат состоит из нескольких секций. Верхняя секция состоит из кожуха I и трубной доски 2, испарительных трубок 3, распределительных устройств 4, выполненных заглушёнными. Нижняя секция состоит из кожуха 5, трубной доски 6, испарительных трубок 7, распределительных устройств 8, выполненных свободнопроходными. Переходная часть снабжена сепаратором 10, выполненным в виде тела вращения, соосного секции аппарата, снабженного направленно-просечными отверстиями II. Для подачи исходной смеси имеется штуцер 12, для отвода паров - штуцер 13, для отвода жидкости - штуцер 14, для подачи пара и отвода конденсата -штуцера 15, 16. Конструкция аппарата обеспечивает сочетание пленочного режима нисходящего прямотока в верхней секции с пленочным противоточным в нижней секции, что в сочетании с развитой тепло- и массообменной поверхностью способствует интенсификации процесса в 1,3-1,4 раза в сравнении с трубчатыми теплообменниками -традиционных конструкций. Одна (нижняя) ступень такого аппарата используется в качестве реактора-ректификатора для производства ДМФА. Несколько таких аппаратов уже эксплуатируются в качестве реакторов-десорберов и дистилляторов на предприятиях химической, пищевой и витаминной промышленности.

Контрольные вопросы по главе 7.

1.Можно ли провести честкую границу между РТ- и АК- методами интенсификации газожидкостных систем?
2. Что представляет собой химическая рециркуляция как метод оптимизации, почему вугодно ограничить степень конверсии?
3. Где при химической рециркуляции выводят непрореагировавший реагент из рецикла?
4. Почему совмещение химического процесса с диффузионным реализует основной принцип рециркуляции (реакция - разделение - реакция)?
5.Как использовать рециркуляцию для интенсификации массообменнiх процессов? Покажите на примере єкстрагирования.
6. Какие вы знаете методы реализации циклических (пульсирующих) режимов в аппаратах?
7. Как очистить выбросные газы от субмикронных частий методом дифузиофореза с использованием конденсационного эффекта?
8. Какие средства и методы используют для увеличения движущей силы массопереноса?
9. Что вы знаете о явлении многократной инверсии фаз и его использовании в секционированных эрлифтных аппаратах?
10. В чем преимущества эжекционных клапанных контактных устройств? Покажите зоны натболее эффективного контакта.
11. Является ли устранение обратного перемешивания фаз преимуществом прямоточных секционированных эрлифтных аппаратов. Если да, то почему?
12. Назовите хотя бы 3 из 10 преимуществ аппаратов с многократной инверсией фаз в сравнении с эрлифтными аппаратами.
13. Какие АК – методы использованы при разработке высокоинтенсивных регулярных насадов для массообменных аппаратов?
14. Где можно использовать циклический ороситель, что єто даст?
15. Какие частоты колебаний контактирующих фаз наиболее эффективны в масообменных аппаратах?
16. Какие методы можно использовать для совершенствования конструкции регулярных трубчатых насадок для неадиабатических реакционно-массообменных аппаратов?

Литература.

1. Балашов М.И. Физико-химические основы и технологические принципы организации реакционно-ректификационных процессов. Автореф. Дис. докт. техн. наук. -М.-1980 - 46 с.
2. Майков В.П. Методика сравнения эффективности контактных массообменных устройств. - Теор.осн.хим.техн., 1972, т.6, №2, с.269.
3. Федоткин И. М., Жарин Б. Н., Погоржельскин Б.Н. Интенсификация технологических процессов пищевых производств.— Киев : Техніка, 1984. I76 с.
4. Химико-технологические системы. Синтез, оптимизация и управление. Под ред.
5. И. П. Мухленова.— Л, : Химия, 1986.— 424 с.
6. Эмануэль Н. М., Кнорре Д, Курс химической кинетики. М. : Высш. шк., 1974— 395 с.
7. Николаев Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979. 512 с.
8. Мандельштам Л. И.Лекции по колебаниям. М.Изд-во АН СССР, 1955.503 с.
9. Synergetics. A Workshop / Ed. by H. Haken. 3rd ел. B. etc, 1977. 277 p.
10. Synergetics far from equilibrium/Ed. by A. Pacault, C. Vidal. B. etc, 1978 143p.
11. 114. Structural stability in physics/ Ed. by W. Guttinger, H. Eikenmeier. B. ete., 1978. 311 p.
12. Pattern formation by dynamic systems and pattern recognition / Ed. bv H. Haken. B. etc, 1979. 305 p.
13. З а д о р с к и й В. М. Синергия в инженерной химии. Средства и методы. Просто о сложном. 2016. Palmarium Academic Publishing/ Germany/ с. 398
14. Задорский В. М. Интенсификация газожидкостных процессов в химической технологии, —
15. Киев: Техника, 1979. — 198 с,
16. Нагиев М. Ф. Теория рециркуляционных процессов в химии,— М. : АН СССР, 1962.- 460 с.
17. Задорский В. М., Фокин А. П., Яковенко М. М. К вопросу оптимального
18. конструирования оборудования для технологических процессов получения
19. химических реактивов. // Тр ИРЕА, выпуск 44, —М., 1982, — С. 185—200.
20. Мандельштам Л. И.Лекции по колебаниям. М.Изд-во АН СССР, 1955.503 с.
21. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. 18с.
22. Synergetics. A Workshop / Ed. by H. Haken. 3rd ел. B. etc, 1977. 277 p.
23. Synergetics far from equilibrium/Ed. by A. Pacault, C. Vidal. B. etc, 1978 143p.
24. Кафаров В.В., Дорохов И. Н. Системный анализ процессов химической
25. технологии (основы стратегии).— М. : Наука, 1976.— 499 с.
26. Кафаров В. В. Принципы создания безотходных химических производств, М.:Химия, 1982-288с.
27. Легасов В. А., Сафонов М. С. Гибкая химическая технология. Хим. пром-ть, 1985, N8C. 471—477.
28. Нагиев М. Ф. Теория рециркуляционных процессов в химии,— М. : АН СССР, 1962.- 460 с.
29. Разработка аппаратов на основе унифицированных модулей для высокоэффективных химико-технологических процессов/В, В. Кафаров, В. П. Мешалкнн, Г. И. Манко, В. М. Задорский // Информ, бюл. Химич. пром, СЭВ, 4 {107}, 1984.—с. 36—38
30. Рамм В. М, Абсорбция газов. — М. : Химия, 1976,— 656 с,
31. Розовский А.Я. Гетерогенные химические реакции, М, Наука, 1980.— 323 с,
32. Системное проектирование химико-технологических комплексов / Г. А, Статюха, И, М, Кисиль, И. И. Браславский; Под ред. И, Д. Зайцева. — К, : Техніка, 1983,— 120 с,
33. Dynamic of synergetic systems/ Ed. by H. Haken. B. etc., 1980. 271 p.

Глава 8. Гармония колебаний – оружие синергии.

Техника, о которой я дальше буду писать, впервые была применена человеком при изготовлении спиртных напитков типа самогон, по - моему до нашей эры (шучу, конечно, но, если не до нашей эры, то достаточно давно). Речь будет идти о массообменной технике,

прежде всего, для наиболее распространенных систем газ (пар) - жидкость. Предприятия химической и родственных отраслей промышленности ассоциируются у нас с огромными высокими аппаратами, называемыми ”колоннами” (самогонные аппараты имеют примерно тот же принцип действия, но в них сеанс обмена веществом между паром и жидкостью происходит однократно, а в колоннах – десятки, а то и сотни раз по мере продвижения потоков жидкости и пара, соответственно вниз и вверх по аппарату). Легко написать об этой премудрости колонн, а попробуй ее реализовать. Это надо делать в каждой ступени контакта потоков фаз – как можно более равномерно распределить и привести в тесный контакт (попросту перемешать) паровой и жидкий поток (мы будем рассматривать только наиболее прогрессивные тарельчатые аппараты, хотя есть и много других, так называемых насадочных аппаратов). Для этого предназначены так называемые контактные устройства, от совершенства конструкции которых зависит эффективность технологического процесса. Вот теперь с минимальными упрощениями разобрались с технологией и терминологией и можем, в соответствии с тем же алгоритмом, который был изложен раньше, перейти к декомпозиции системы по вертикали (для экономии места, опять разместим иерархическую цепь горизонтально). Тогда иерархическая лестница имеет вид: 1. установка> 2. колонна> 3. ступень контакта фаз> 4. контактная тарелка> 5. контактное устройство> 6. факел (струя) газа/ пара> 7. пузыри, оторвавшиеся от факела, образующие пену> 8. надмолекулярные конгломераты> 9. Молекулы. Длинная цепочка (лестница) получилась, не правда ли.

Двигаемся по алгоритму дальше. Анализ многовекового опыта показывает, что исходным (лимитирующим) уровнем является 5-й – контактное устройство. В самом деле, не начинать же нам креативное деяние с первых четырех – они есть в любых производствах и там можно оптимизировать только болты – гайки, материал, вес, прочность, эстетику, антикоррозионную защиту и т.п. Оставим все это конструкторам – эстетам, а займемся движением от 5 исходного уровня вниз по иерархической лестнице. Многочисленные кинетические исследования показали, что определяют, лимитируют технологию массопереноса процессы на 6 и 7 уровнях. Но, проблема в том, что использовать только технологические приемы (мы их назвали ”режимно – технологическими – РТ- методами) недостаточно. Ну, можем “подергать” температуру и скорость, можем как-то изменить вязкость жидкости и поверхностное натяжение. Вот и все. А, вот для более глубоких изменений придется привлечь 5-й уровень – контактное устройство, ведь то, что происходит с помощью его конструкции, определяет кинетические характеристики процессов массообмена и даже интенсивность на 6 и 7 уровнях. Делаем вывод, что нужно наградить титулом ”лимитирующий ” сразу три уровня – с 5 по 7. К сожалению, в технике это случается часто. Именно, изменяя конструктивное оформление контактного устройства, мы сможем изменить кинетические характеристики (в данном случае, коэффициенты массоотдачи, массопередачи и к.п.д. взаимодействия фаз). При этом возможно конструктивными ухищрениями создать целый ряд новых эффектов, которые мы не смогли бы реализовать только на 6 и 7 уровнях иерархии. К примеру, можно организовать соударение потоков контактирующих фаз, увеличить длину линии барботажа, создать колебания факела в момент его входа в жидкость, обеспечить постоянную оптимальную скорость входа пара/ газа на входе в слой жидкости, независимо от скорости его подачи в аппарат. Иными словами, можно организовать то самое синергическое единство режимно – технологических и

аппаратурно – конструктивных методов воздействия на систему, о необходимости которого мы уже неоднократно говорили.

Итак, мы уже фактически определили много направлений решения задач оптимизации массообменной техники. Давайте рассмотрим конкретные примеры дальнейшей работы. Конструкций контактных устройств 5 уровня в мире придумано очень много. Только в моей базе данных их более тысячи. Спрашивается, зачем так много? Ответ простой – идет конкурентная борьба между машиностроительными предприятиями на огромном рынке массообменной аппаратуры (примерно 50% от всего химического и нефтехимического оборудования). Как потеснить на рынке корпорации, которые занимают свой сегмент на нем десятки лет. Задача трудная, но решаемая путем появления инновационных решений за счет использования креативных методов.

В свое время наша университетская научная школа по оптимизации тарельчатой колонной аппаратуры была достаточно широко известна в СССР и за его пределами, поскольку мы успешно конкурировали с, так называемыми, головными машиностроительным институтами в Москве, Ленинграде, Харькове, разрабатывая новые направления и конкретные высокоэффективные, а также обладающие высокой гибкостью (т.е.диапазоном устойчивой работы) и высокоинтенсивные конструкции контактных устройств. Кроме того, мы много работали над развитием так называемого блочно- модульного подхода к конструированию массообменной техники.

Особое внимание мы уделили развитию так называемых клапанных контактных устройств, впервые появившихся где-то в 1940 г. в США. Они привлекли нас тем, что впервые обеспечили саморегулирование за счет того, что положение способного перемещаться по вертикали над отверстием в полотне тарелки клапана зависело от расхода пара/ газа через это отверстие. При изменении нагрузки на колонну (а это происходит постоянно) клапан поднимается или опускается и размер отверстия (кольцевой зазор между полотном тарелки и клапаном) обеспечивает более или менее постоянную скорость истечения струи газа, а, значит, стабильные оптимальные кинетические характеристики процесса при входе факела в жидкость. Мы уже знаем, что это является важной локальной характеристикой процесса на лимитирующем уровне, обеспечивающей оптимальные характеристики на более высоких уровнях. Это явление было известно до нас за счет работ немецких и американских специалистов. Однако, нам удалось в процессе креативной деятельности обнаружить и использовать в целом ряде систем новое, неизвестное ранее конкурентам явление. Суть его в том, что клапан не просто поднимается или опускается в зависимости от изменения скорости газа, но вследствие своей инерционности проскакивает положение равновесия (соответствующее расходу газа) и открывает или закрывает отверстие под клапаном больше, чем нужно. Давление под клапаном изменяется и нарушается равновесие двух сил, действующих на клапан – силы его веса и давление газа снизу на внутреннюю поверхность клапана. Вследствие этого, клапан начинает перемещаться вниз или вверх, чтобы это равновесие восстановилось. Дальше вследствие инерционности клапана явление повторяется и клапан совершает постоянные колебания относительно положения равновесия.

Последствия оказались очень интересными:

- За счет колебаний клапана начинаются пульсации факела (струи) газа, истекающего из – под него, а, значит, начал изменяться угол раскрытия кольцевой струи газа, которая теперь охватывала за счет колебаний переменный объем жидкости,
- За счет пульсаций струи отрыв пузырьков газа от нее происходил также в пульсирующем режиме и в самих образовавшихся пузырьках возникали колебания, частотой которых можно было управлять.
- На поверхности струи и пузырьков возникали турбулентные пульсации, которые также способствовали повышению эффективности и улучшению кинетических характеристик процесса массообмена.
- Каждый колеблющийся клапан (их на тарелке может быть много в зависимости от диаметра аппарата) становился генератором колебаний в жидкости, расположенной над ним.
- Самое главное, что теперь появилась возможность сознательно генерировать в ступенях контакта практически любые колебания, не применяя для этого никакой новой техники, и управлять их характеристиками. Сразу возник вопрос, а какие колебания нужно создавать в аппарате. Если вы внимательно читали предыдущие главы, вы ответите сразу же – необходимо обеспечить выполнение принципа соответствия (или гармонии – так мне больше нравится). Налагаемые колебания по частоте и амплитуде должны соответствовать по частоте и амплитуде собственной частоте и амплитуде элементов системы на лимитирующем уровне. Наступает эффект резонанса со всеми вытекающими последствиями.

Мы не нашли в литературе работ, посвященных этому вопросу (вернее двум вопросам – надо не только знать характеристики колебаний, имеющихся в системе, но и научиться управлять колебаниями клапанов). Вот этим и занялся я с моими аспирантами. Мы обнаружили, что в слое пены на тарелке преобладают элементы (пузырьки) диаметром 4 – 5 мм, имеющие частоту собственных колебаний порядка 10 гц. Значит, близкую частоту должны иметь налагаемые на систему вынужденные колебания клапанов. Решение нашли математически (напрасно я ругал математиков за то, что чаще всего их модели никто не использует). Оказалось, что частотой колебаний клапанов можно легко управлять, изменяя их массу. При этом масса каждого клапана должна была быть при диаметре 50 мм примерно 50 г. Интересно, что позже к подобным выводам об оптимальной массе клапана (без всякого, даже элементарного выяснения причин) пришел мой немецкий конкурент Клаус Хоппе после многолетних дорогих исследований эффективности колонных аппаратов с клапанными тарелками.

Вот так закончились наши поиски в новом направлении оптимизации массообменной аппаратуры за счет использования автоколебательных режимов работы клапанных контактных устройств. Эти работы были поистине пионерскими и позволили предложить ряд инновационных проектов и разработок. К примеру, предложено примерно 50 новых конструкций клапанных контактных устройств для различных условий использования. Их можно разбить на несколько групп конструкций:

- Противоточные клапанные контактные устройства с распределенными по каждому клапану переливами для слива жидкости и второй пленочной зоной контакта фаз чередующиеся с барботажными зонами. Такие контактные устройства отличаются от традиционных клапанов типа Glitch своими уникальными характеристиками. Эффективность выше процентов на 15 – 20 за счет улучшения массообмена в пульсирующем барботажном

слое и наличия второй эффективной пленочной зоны контакта фаз. Пропускная способность колонны по газу возрастает от обычного диапазона 0,2 - 0,8 м/сек у старых конструкций до 0,1 - 2,2 м/сек у новых конструкций. Пропускная способность по жидкости возрастает от 5 – 25 м/час до 2 - 150 м/час у новых контактных устройств в связи с наличием автономных переливов по центру каждого клапанного узла. Эти цифры свидетельствуют также о существенном увеличении гибкости, т.е. диапазона устойчивой работы оборудования, где обеспечивается не только высокая или низкая скорость потоков, но и требуемые характеристики эффективности контакта.

- Эжекционные клапанные контактные элементы, где за счет кинетической энергии газового потока обеспечивается циркуляция жидкости через каждое клапанное контактное устройство. Это приводит к значительному (в несколько раз) увеличению времени обработки жидкости газом, что делает возможным использование обычных массообменных аппаратов в качестве высокоэффективных газо – жидкостных химических реакторов.
- Об использовании пульсаций для повышения эффективности контакта фаз и гибкости написано выше.
- Многоступенчатые кольцевые клапанные контактные элементы с пониженным гидравлическим сопротивлением за счет увеличения длины линии барботажа и увеличенной предельной нагрузкой по газу для вакуумных установок, которых также в перерабатывающих отраслях немало.

Я предвижу замечания критически настроенных читателей типа: «И все это за счет использования колебаний?”. Или ”Что вы выдумываете велосипед? Колебания известны испокон веку, а вы что-то рассказываете о креативности. ”. Попробую возразить. Колебания, в самом деле, известны давно. Знаменитый американский механик С.Тимошенко (фамилия свидетельствует о его славянском происхождении, может даже украинском) написал великолепную книгу ”Колебания в инженерном деле” лет 100 назад. Но есть одна немаловажная деталь. Он обстоятельно описал существующие в оборудовании колебания, но, к сожалению, ничего не предложил по оптимизации оборудования путем наложения внешних колебаний на систему. Оппоненты могут также возразить, что давно появились ультразвуковые аппараты, где электрические колебания создаются специальными генераторами и преобразуются в механические пульсации за счет достаточно сложных, дорогих взрывоопасных преобразователей. Но мы сразу отказались от этого дорогого и энергоемкого направления. К этому решению нас привела не только тенденция к экономии энергии, но и своеобразие большинства химических производств органического профиля, характеризующихся одним грозным термином – взрывоопасность. Если прибавить к этому ”патологическую” склонность к простым и дешевым решением, то ясно, что внимание разработчиков все больше привлекают возможности использования в химических производствах, так называемой, адаптивной техники, в которой колебания создаются движением контактирующих фаз, параметры которых можно менять за счет конструктивных особенностей оборудования.

В то же время, нельзя не упомянуть о целом ряде перспективных исследований в этом направлении, связанных не с использованием для создания колебаний энергии контактирующих фаз, а с созданием колебаний и управлением их параметрами за счет переключения направления движения потоков фаз через рабочую зону. Наиболее успешными оказались работы по нестационарному катализу в России, где за счет переключения направления движения контактного газа по аппарату удалось не только увеличить интенсивность реакторов, но и значительно увеличить срок пробега катализатора за счет “выравнивания” профиля температур по высоте слоя катализатора и устранения вредных зон спекания катализатора. Жаль, что ученые ограничились при этом низкочастотными колебаниями (принцип соответствия соблюден только по отношению к слою катализатора). Наложение на газовый поток, кроме низкочастотных колебаний, колебаний высокочастотных (создаваемых, к примеру устройствами типа свистка Гартмана) позволило бы увеличить скорость диффузии в порах и капиллярах катализатора, а, значит, усилить эффект оптимизации.

Получили значительное распространение также пульсационные экстракторы в системе жидкость – жидкость, где колебания создавали за счет пульсации контактных тарелок, либо за счет колебаний столба жидкости в колоннах с помощью специальных поршневых или мембранных пульсаторов.

Перечень успешных работ по использованию нестационарных режимов взаимодействия фаз можно было бы продолжить, но в книге я практически полностью опираюсь на результаты авторских работ и поэтому отмечу, прежде всего, два направления, которые нельзя назвать успешными. В реакторе гидратации ацетилена по Кучерову была сделана попытка использовать для интенсификации процесса циклические режимы, создаваемые с помощью метода ”электрогидравлический удар” С.Юткина. Исследования не были закончены из-за небольшого, впрочем, хлопка в реакторе.

Вторая попытка также закончилась неудачей, правда, совсем по другой причине. Для борьбы с уносом большого количества пыли с отходящими дымовыми газами с карбидных печей (я был тогда механиком производства), я разработал и установил по оси дымовой трубы аэродинамический генератор, создающий колебания необходимой для коагуляции и осаждения пыли частоты. Результат получился очень эффектный. Практически вся пыль оседала в трубе. Как говорят, для этого не нужны были приборы – все было видно невооруженным глазом. Да, только через пару недель прибор пришлось демонтировать по требованию жен аппаратчиков – карбидчиков. По их наблюдениям, их мужья в результате моего ”новаторства” перестали выполнять свои супружеские обязанности… Кстати, в мире наблюдается по причине влияния колебаний на организм человека, тенденция в переходе на изготовление ветроагрегатов для производства электроэнергии с горизонтальной осью вращения лопастей на вертикальную. Вроде, при этом вредный эффект исчезает.

А теперь всерьез. Мы оказались первыми, по крайней мере, мы не обнаружили других первооткрывателей, которые бы раньше нас установили эффект создания колебаний при работе клапанных контактных устройств в массообменных аппаратах и сумели использовать

его для управления колебаниями клапанов с целью создания в рабочей зоне колебаний, нужных для реализации принципа соответствия/гармонии параметров, обеспечивающих усиление скорости массообменных процессов. Иными словами, это направления оказалось перспективным не только для управления эффективностью непосредственно массообенной аппаратуры, но и для решения вопросов увеличения ее гибкости и соответствия ее характеристик требованиям технологического оформления не только массообменных, но и химических процессов в газо-жидкостных системах при использовании синергетических подходов для создания установок высокой гибкости.

8.1.Разработка адаптивных клапанных контактных устройств.

При разработке прямоточных, противоточных или прямоточно- противоточных газожидкостных совмещенных аппаратов для массообменных и, в особенности, для реакционно-массообменных процессов приходится учитывать нестабильность потоков фаз не только по сечению, но и по высоте аппарата. Опыт показывает, что в ряде случаев при хемодесорбции или хемосорбции скорости газовой фазы меняются по высоте реактора на порядок. Кроме того, совмещенные аппараты чаще, чем массообменные, выходят из нормального режима. С учетом этого, одним из основных требований, которое необходимо предъявить конструкции аппаратов для совмещенных процессов является способность “самонастраиваться” на различный режим работы в зависимости от нагрузок по фазам.

По аналогии с системами регулирования назовем это свойство способностью к адаптации или адаптивностью. Кроме этого, контактные устройства для совмещенных аппаратов должны обеспечивать большое время контакта жидкости с газом, большое время пребывания жидкости, высокую эффективность контакта фаз, ‘'качественное” секционирование аппарата по высоте. Наиболее полно этим требованиям к конструкции внутренних устройств отвечают получившие в последние годы широкое распространение тарелки с клапанными контактными устройствами (ККУ). Однако, распространенные конструкции ККУ не всегда соответствуют особенностям реакционно-массообменных процессов. Кроме того, имеются реальные возможности совершенствования конструкции ККУ общетехнологического назначения. Данная глава посвящена вопросам исследования и совершенствования конструкции ККУ, в том числе за счет управления их колебаниями, а, значит, колебаниями, создаваемыми в зоне контакта.

Автор считает необходимым отметить, что в этой главе не просто описаны несколько новых конструкций ККУ, предложенных им, но сделана попытка обосновать новые направления в их конструировании (создание ККУ, обеспечивающих оптимальные параметры пульсаций контактирующих фаз; создание эжекционных ККУ; создание противоточных устройств для высоких нагрузок по жидкости и др.). Не вызывает сомнения возможность более широкого использования этих высокоэффективных устройств не только при создании совмещенных аппаратов, но и при разработке современных массообменных аппаратов для газо-жидкостных систем.

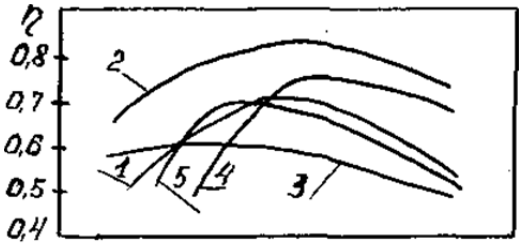
В последние годы резко возрос интерес к выбору массообменных тарелок того или иного типа для проведения разделительных и других процессов с учетом показателей, позволяющих сопоставить эффективность и экономичность конструкций.

Таблица 8.1. Сопоставление показателей распространенных конструкций тарелок

Тип тарелки	Относительная производительность	Относительная эффективность	Диапазон устойчивой работы	Гидравлическое сопротивление
1. Колпачковая	11.0	11.0	2 2 - 5	45 - 100
2. Унифлюкс	11.0 – 1.2	11.0 – 1.1	2 2 - 5	45 - 100
3. Клапанная	11.2 - 1.5	11.0 – 1.17	3 2- 10	40 - 50
4. Ситчатая	11.2 - 1.4	11.0 – 1.1	2 2- 3	30 - 50
5. Противоточная	11.2 -1.4	00.75 – 0.94	12.5 - 3	30 – 40

Как видно из табл.8.1, составленной по данным большого числа авторов, наиболее перспективными являются клапанные тарелки, обладающие способностью саморегулировать свободное сечение в зависимости от изменения нагрузок по газу (или пару). При этом скорость газа в зонах контакта его с жидкостью и основные характеристики тарелок остаются практически стабильными, что обуславливает их устойчивую работу при изменении нагрузок по газовой фазе примерно в 7-10 раз и в 9-10 раз по жидкой фазе. Кроме того, клапанные тарелки обладают относительно высокими производительностью и эффективностью и могут быть использованы при работе с загрязненными или полимеризующимися продуктами [67, 68].

Однако результаты сопоставления массообменных устройств зачастую имеют лишь локальное значение и не учитывают изменения эффективности конструкций при различных нагрузках.



а

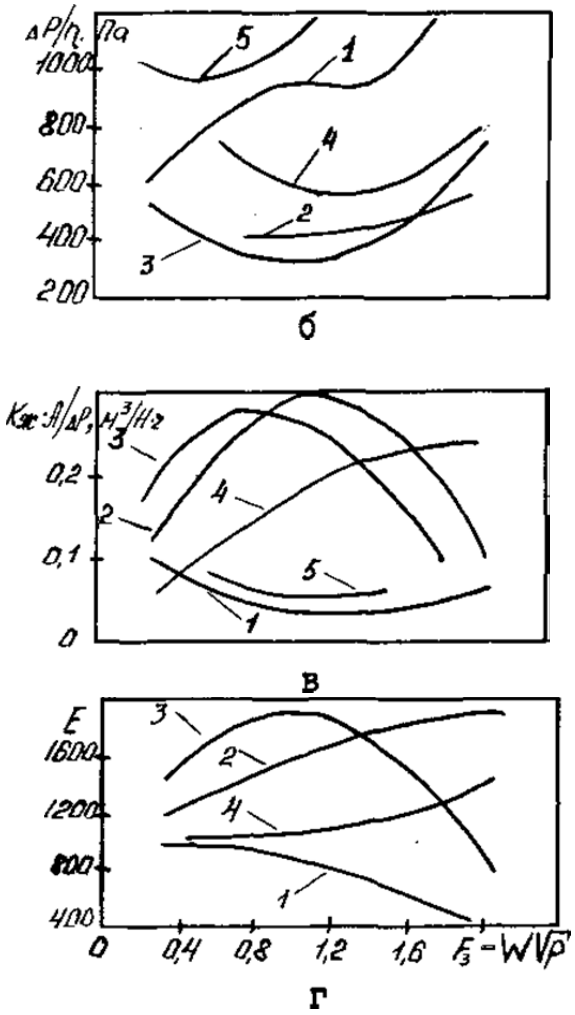


Рис.8.1. Сопоставление показателей барботажных тарелок: а - эффективность, б - потеря напора на теоретической тарелке, в - удельный коэффициент массо- передачи, г - технико-экономическая эффективность; X - колпачковые тарелки, 2- клапанные, 3 - ситчатые, 4 - противоточные, 5 - типа "Унифлюкс".

Поэтому с целью более полного сопоставления технико-экономических показателей некоторых конструкций барботажных массообменных тарелок автором была предпринята попытка (рис.8.1) обобщить данные по их работе в различных условиях разделения. При этом широко использованы экспериментальные данные, опубликованные в отечественной и зарубежной литературе, а также результаты исследований автора. При обработке литературных данных усреднялись результаты большого числа работ различных авторов (как правило, не менее 30 по каждой конструкции).

Как видно из рис.8.1, клапанные тарелки по сравнению с другими конструкциями имеют повышенную эффективность, более широкий диапазон устойчивой работы и имеют определенные преимущества и при сопоставлении их с другими конструкциями по технико-экономическим показателям.

Таким образом, несмотря на то, что однозначно выбрать лучшую из рассмотренных конструкций не представляется возможным, если на первый план выдвигаются синергичные требования обеспечить для совмещенных процессов широкий диапазон устойчивой работы и малые энергетические затраты при высокой интенсивности, то, безусловно, предпочтение следует отдать клапанным тарелкам и только после них ситчатым, провальным, колпачковым, типа Унифлюкс.

С использованием известного метода систематизации все массообменные клапанные тарелки можно классифицировать по признакам, определяющим их качественные характеристики в рабочих условиях. *Такими признаками являются: характер взаимодействия фаз на контактной ступени, отражающий сущность гидродинамического процесса, который определяет условия массообмена на тарелке; характер относительного движения фаз на контактной ступени, определяющий важнейшие особенности работы тарелки; особенность работы клапанного узла, определяемая его конструктивным решением.*

По первому признаку все массообменные клапанные тарелки можно разделить на барботажные и струйные. По второму признаку клапанные тарелки подразделяются на тарелки с противоточным, прямоточным, перекрестным и перекрестно - прямоточным движением фаз.По третьему признаку конструкции клапанных тарелок можно подразделить на девять типов. Барботажные клапанные тарелки с противоточным движением фаз объединяют два типа - с неупорядоченным и упорядоченным перетоком жидкости. Барботажные тарелки с перекрестным движением фаз объединяют три типа: тарелки без непосредственного и с непосредственным участием в контактировании жидкости, расположенной над клапаном, а также тарелки с вращением жидкости вокруг клапана. Основным рабочим элементом последней тарелки чаще всего является вращающийся колпачок [63], который может подниматься или опускаться в зависимости от нагрузки по газу и выполнять в связи с этим те же функции, что и клапан на клапанной тарелке, С целью включения в непосредственное контактирование жидкости, расположенной над клапанами, предложен ряд конструкций контактных устройств, обладающих высокой эффективностью. В отличие от тарелок с дисковыми клапанами барботирование газа из-под клапана в тарелке с предложенными автором кольцевыми клапанами происходит через внутренний и внешний кольцевые зазоры. Это позволило снизить гидравлическое сопротивление тарелки за счет уменьшения скорости газа в кольцевых зазорах и массы клапанов, а также аэрирования жидкости над ними.

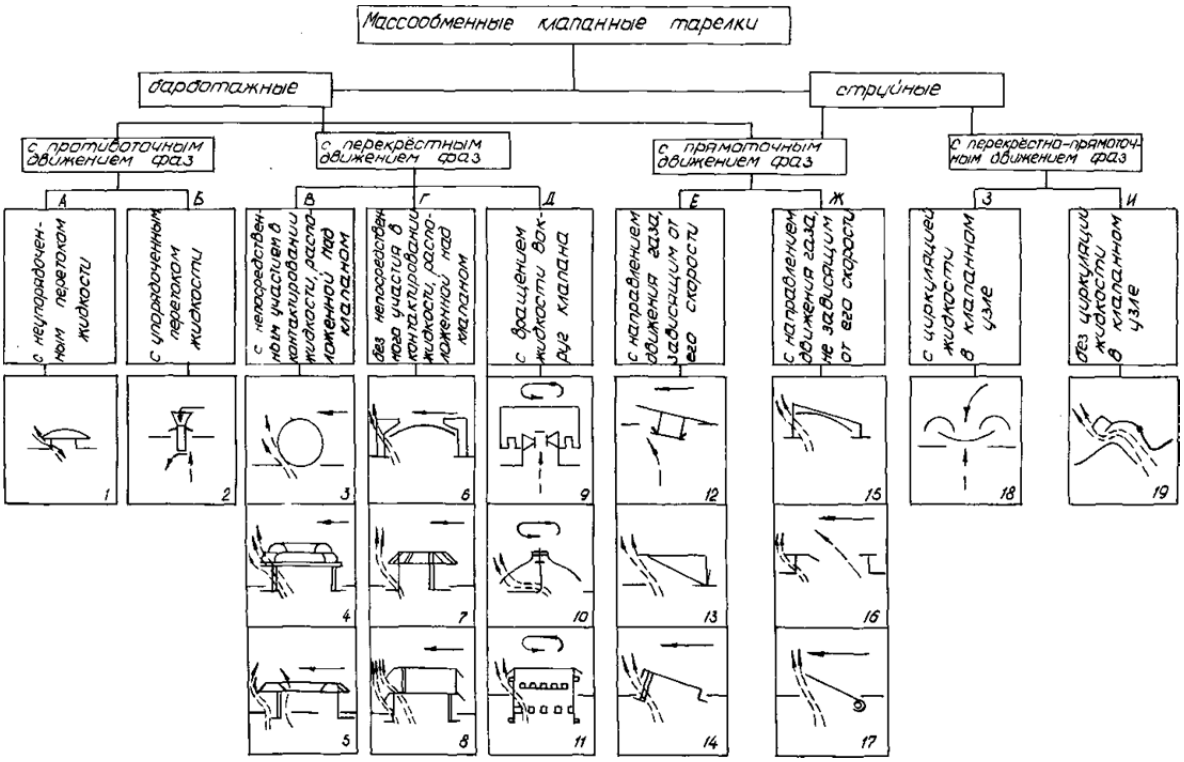


Рис.8.2. Классификация клапанных контактных устройств.

8.2. Колебания клапанов на клапанных массообменых тарелках

Известно, что тарелки, снабженные клапанными контактными устройствами, в области динамической работы клапанов, отличаются более высокой эффективностью в сравнении с тарелками, например, колпачкового типа, несмотря на то что газовые (паровые) струи проходят практически идентичный путь и тарелки обладают практически одинаковыми свободными сечениями. Как уже отмечено, по мнению автора, одной из основных причин более высокой эффективности клапанных тарелок являются спонтанные пульсации клапанов, генерирующие пульсации газожидкостного слоя.

В связи с этим представляет интерес определение связи между колебаниями клапанов и эффективностью клапанных тарелок, а также нахождение взаимосвязи геометрии клапана и его массы с амплитудно-частотными характеристиками его пульсаций относительно положения равновесия, соответствующего расходу газовой фазы через контактный узел.

8.3. Локальная гидродинамика при барботировании в аппаратах с клапанными контактными устройствами.

По данным различных авторов доля переноса массы на входном участке при барботировании газа в жидкость составляет 0,2- 0,7 от количества массы, перенесенной из одной фазы в другую на всей ступени контакта. Гидродинамика входного участка и эффективность контакта в нем в значительной степени определяется конструктивными особенностями и геометрией распределительных устройств для газа. Имеющиеся в литературе сведения о

влиянии особенностей контактных устройств на гидродинамические и массообменные характеристики аппаратов относятся, в основном, к колпачковым тарелкам. Клапанные контактные устройства зачастую конструируются без учета особенностей локальной гидродинамики, обусловленных саморегулированием свободного сечения (кольцевых зазоров между клапаном и полотном тарелки) при изменении нагрузки по газу и явлением колебаний клапанов около положения равновесия, соответствующего среднему расходу газа. В связи с этим целесообразно рассмотреть особенности истечения газа в жидкость в горизонтальном направлении из-под осциллирующего клапана.

При истечении газа в жидкость из одиночного отверстия обычно устанавливают три режима истечения: ***пузырьковый*** для которого отмечают движение в слое жидкости отдельных пузырьков или их цепочки**, факельный**, характеризующийся наличием устойчивого факела (чаще всего небольшой длины, соизмеримой с диаметром пузырей), от которого в наиболее удаленной от сопла части отрываются отдельные пузыри. И, наконец, **фонтанирования**, когда факел достигает поверхности барботируемой жидкости. Несмотря на ограниченную область использования, наиболее обстоятельно изучен первый режим истечения, видимо, вследствие относительной простоты. В то же время факельный режим, наиболее широко используемый в промышленных барботажных аппаратах, исследован, в основном, для одиночных вертикальных отверстий (применительно к ситчатым тарелкам).

Факельное истечение газа в жидкость из-под колеблющихся клапанов в горизонтальном направлении, как показали наши исследования (визуальные, с помощью скоростной киносъемки и фотосъемки при освещении факела стробоскопическим источником освещения), имеет ряд особенностей по сравнению с истечением из одиночного вертикального отверстия. При изменении расхода газа через контактное устройство меняется положение равновесия клапана, соответствующее средней скорости газа через отверстия в полотне тарелки, таким образом, что средняя скорость истечения газа остается примерно постоянной. Это приводит к изменению поперечных размеров факела при сохранении примерно постоянного значения среднего вылета.

Средняя скорость истечения газа определяется массой и геометрией клапана. Изменяя форму контактного устройства, можно направленно изменять профиль скорости газа над контактным устройством. На рис.6.3 приведены профили скоростей газа, определенные с помощью трубки Пито-Прандтля, продуваемой некоторым постоянным количеством азота, на расстояниях 10, 20, 30 мм над клапанами новых конструкций, разработанных автором или при его участии.

Анализируя профили скорости газа, можно сделать вывод о том, что конструкция газораспределителей имеет значение лишь для локальной входной зоны высотой до 10-15 мм над полотном тарелки, а затем скорость газа по сечению практически выравнивается.

Особое влияние на гидродинамику и локальную эффективность контакта фаз оказывают колебания клапанов. Как показал анализ кинограмм истечения газа из-под принудительного осциллирующего (с заданными частотами и амплитудами) клапана, при наложении пульсаций меняются размеры кольцевого сопла (зазора между клапаном и полотном тарелки), что

приводит к колебаниям границы факела во времени, вызывая как бы “блуждание” оси ядра факела.

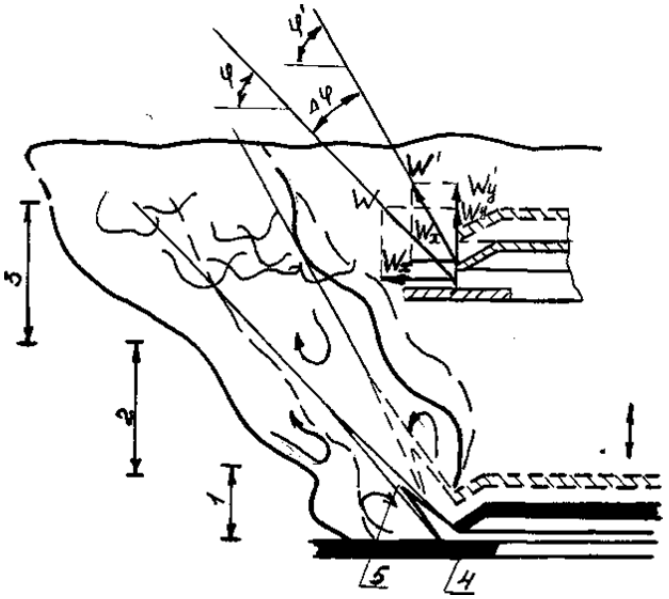


Рис.8.4. Гипотетическая схема истечения газа из-под клапана. I - входной участок, 2 - зона факела, 3 - зона инверсии, 4 - полотно тарелки, 5 - "ядро" факела

Центральную часть факела занимает ядро, граница которого практически совпадает с границей входного участка. Ядро охватывается зоной невозмущенного пограничного слоя, где отсутствуют вихри. Последняя зона, в свою очередь, охватывается зоной вихрей, где наиболее полно проявляются эффекты волнообразования и вихреобразования, вызываемые как внутренним трением потоков, так и наложением пульсации на факел в момент его образования. Зоны невозмущенного пограничного слоя и вихрей составляют участок стабильного существования сплошного факела, переходящий постепенно в участок разрушения факела.

Эта гипотетическая схема позволяет проанализировать некоторые причины более высокой эффективности клапанных устройств при динамическом режиме их работы. Действительно, во входном участке наблюдается интенсивная турбулизация контактирующих фаз, вызванная циркуляцией газа и пульсацией горизонтальной составляющей скорости газа, приводящей к “блужданию" оси (ядра) факела. В зоне вихрей основная часть кинетической энергии турбулентного движения заключена в крупномасштабных пульсациях* Рассматривая движение газа в факеле по аналогии с турбулентным движением в трубе, можно полагать, что наибольший масштаб турбулентных пульсаций по порядку будет равен диаметру факела. Как известно, для крупномасштабных пульсаций вязкие силы не играют заметной роли, и их энергия в теплоту не превращается. При спонтанных колебаниях клапана генерируются пульсации, соизмеримые по масштабу с крупномасштабными, что приводит к усилению последних и интенсификации процесса переноса.

Таким образом» исследования показали, что локальная гидродинамика при истечении газа из-под колеблющегося клапана в жидкость имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать при разработке и оптимизации ККУ:

- Меняется конфигурация границы факела, противостоящей отверстию для выхода газа, в частности, становится меньше вылет струи,
- Частота пульсаций поверхности факела увеличивается (соответствует частоте колебаний клапана), появляется волнистая форма внешней границы факела,
- Возникает вращательное движение газа в факеле,
- Появляются колебания поперечных размеров кольцевого факела и внутренней поверхности кольцевого факела,
- Возникает явление “блуждания*[1] ядра (оси) факела, по- видимому, определяемое колебаниями клапана.

Автором была предпринята попытка смоделировать условия выхода струи из-под клапана (колеблющегося и неподвижного) в слой жидкости. В камере, выполненной из оргстекла, установлено сопло с изменяющимися по высоте размерами, форма канала для прохода газа в котором соответствует поперечному сечению клапана. Верхняя подвижная часть сопла укреплена на штанге, сообщающей ей возвратно-поступательное движение. Частота пульсаций размеров сопла обеспечивалась с помощью двигателя постоянного тока и контролировалась строботахометром СТ-5.

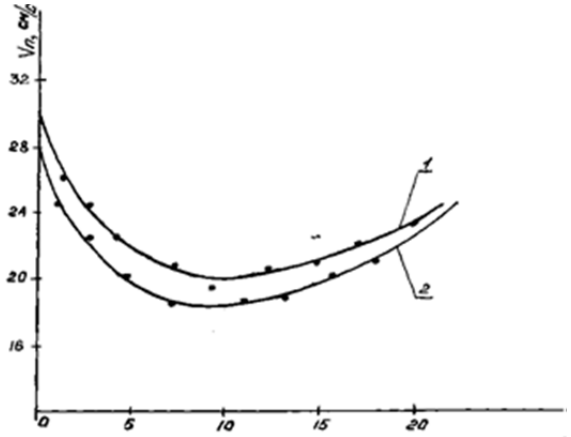
Струя газа освещалась ртутной лампой и снималась скоростной кинокамерой СКС-М или фотоаппаратом ‘‘Зенит” (в последнем случав струя освещалась строботахометром СТ-5). При съемках варьировали высоту слоя барботируемой жидкости в диапазоне 40-80 мм, частоту налагаемых пульсаций изменяли в пределах 5-25 $с^{-1}$, скорость газа в отверстии сопла от 5 до 20 м/с. Даже визуальные наблюдения и анализ фотоснимков показали, что истечение газа из-под колеблющегося клапана существенно отличается от истечения из-под неподвижного клапана. Обращают на себя внимание другие размеры элементов структуры слоя (уменьшение при наложении пульсаций), уменьшение волнообразования на поверхности слоя, уменьшение прорыва факелов на поверхность слоя и др.

При включенном пульсаторе струя (в особенности в нижней части) турбулизирована, имеет другую форму. При увеличении скорости газа эффект наложения пульсаций ослабевает (особенно при скоростях выше 15 м/с), так как струи имеют настолько развитую и турбулизированную поверхность, что вклад пульсаций становится незначительным. Заметно также, что струи, истекающие из-под сопла, размеры которого меняются с частотой 10 $с^{-1}$, отличаются наибольшей турбулизацией, их поверхность изрезана продольными и поперечными волнами.

Следует отметить, что практически при любых из исследованных значениях скоростей истечения газа размеры сплошной части струи, непосредственно примыкающей к соплу, невелики (10-15 мм). Затем струя разрушается, причем при некоторых частотах налагаемых пульсацией отдельные пузыри догоняют расположенные выше, пронзают их и зачастую даже как бы выходят перед ними, обгоняя их при движении. С помощью скоростной киносъемки удалось зафиксировать несколько случаев такого аномального поведения элементов струи

после ее разрушения в случае наложения колебаний по вертикали на сопло. Этот эффект также может быть одной из причин высокой эффективности тарелок, снабженных клапанными контактными устройствами, в сравнении с тарелками, снабженными неосциллирующими распределителями газа.

Вылет газовой струи (максимальный диаметр газового "тора" при истечении газа из-под осциллирующего клапана) практически не зависит от частоты налагаемых пульсаций, крайне незначительно увеличивается с увеличением высоты слоя жидкости на тарелке и, в основном, определяется скоростью истечения. Расстояние, на котором происходит коалесценция пузырьков при истечении газа из сопла с осциллирующим по высоте размером, практически не зависит от частоты пульсаций (в пределах 5-20 $с^{-1}$) и высоты слоя жидкости на тарелке, а определяется только скоростью истечения газа из сопла. Объем пузырьков, образовавшихся при разрушении факела, увеличивается с увеличением скорости истечения газа. Зависимость объема пузырей от частоты налагаемых пульсаций (рис.6.5) имеет экстремальный характер, причем минимальное значение объема (а, значит, и максимальное значение межфазной удельной поверхности) наблюдается при уже отмеченной выше частоте пульсаций, близкой к резонансной частоте 10 $с^{-1}$. Примерно при той же частоте наблюдается минимальное значение скорости подъема пузырьков (рис.6.6). При скоростной киносъемке зафиксировано явление пульсаций одиночных пузырей при их восходящем движении. Мы заметили последовательную смену форм пузыря: сферической, близкой к конической, тороидной, конической вершиной вниз и т.д.



f $с^{-1}$

Рис.8.5. Зависимость скорости подъема пузырьков от частоты пульсаций при А= 2 мм, Н= 50 мм. Скорость газа в отверстии 1- 10,5 м/с, 2- 13,5 м/сек

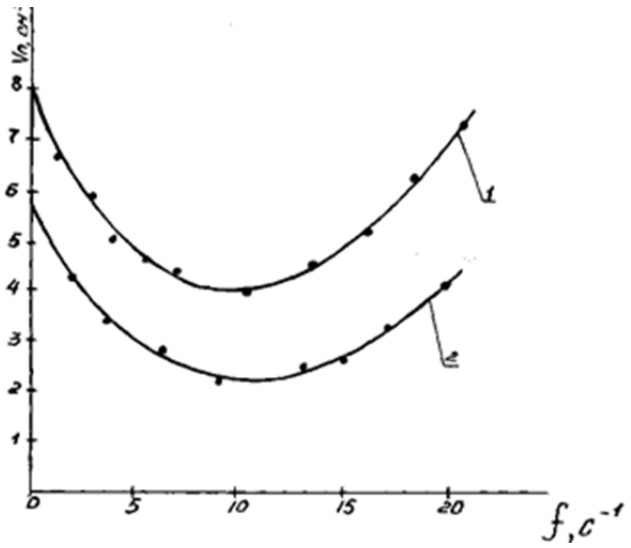


Рис.8.6. Зависимость объема пузырьков от частоты пульсаций при диаметре клапана = 50 мм;

Амплитуда пульсаций пузыря увеличивается с ростом его размеров. Частоту собственных колебаний пузырей согласно [б9] можно определить в зависимости от поверхностного натяжения ***б'*** , радиуса пузыря и вязкости жидкости. Известно [70] , что пузыри газа, попадая в зоны колебаний, распадаются на более мелкие пузыри, размеры которых зависят от режима колебаний. При определенных режимах течения, определяемых скоростью, амплитудой пульсации и т.д., возникает явление параметрического резонанса, при котором дробление газовых пузырей наиболее интенсивно. Изучение влияния вынужденных колебаний сопла на дисперсность эмульсии [71] показало, что и на распад струи, и на размеры образующихся при этом пузырей решающее влияние оказывают те колебания, частота которых совпадает с частотой собственных колебаний струи. Установлено, что существует несколько резонансных частот, при которых происходит образование монодисперсной эмульсии.

Таким образом, пульсации газовой струи на входе ее в жидкость, вызванные осциллированием клапана, способствуют ее дроблению и сообщают пульсации жидкости, которые, в свою очередь, приводят к более интенсивному дроблению образовавшихся пузырей.

На многоклапанных тарелках проявляется взаимное влияние пульсаций газовых струй, истекающих из-под соседних клапанов. Скоростная киносъемка газожидкостного слоя при массовом барботаже не позволила выяснить столь же четкие закономерности, как для случая истечения из единичного сопла с изменяющимся размером по высоте вследствие взаимного влияния струй, неравномерного распределения скоростей газа по сечению, волн на поверхности слоя и т.д. некоторые закономерности локальной гидродинамики при пульсирующем расходе газа проявляются и при массовом барботаже. В частности, анализ кинограмм подтвердил, что и при массовом барботаже средний объем пузырьков имеет минимум при

частоте, близкой к 10 $с^{-1}$.

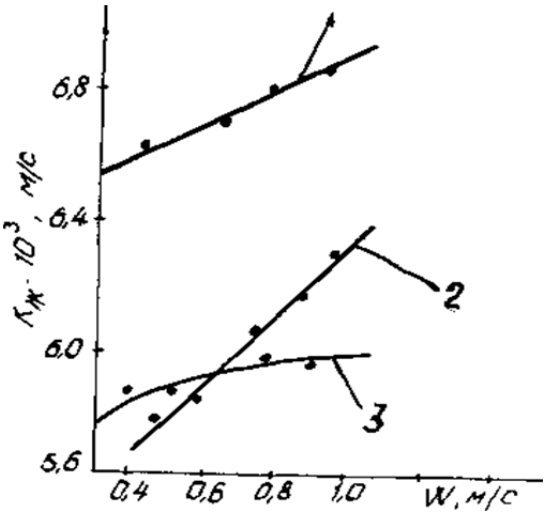


Рис. 8.7. Зависимость Кж- от скорости газа для клапанов различной массы: 1 - 52г, 2- 22, 3 - 72г.

Таким образом, наложение пульсаций на газовую фазу на входе в аппарат не приводит к существенному увеличению коэффициентов массопередачи в газовой и жидкой фазах, что

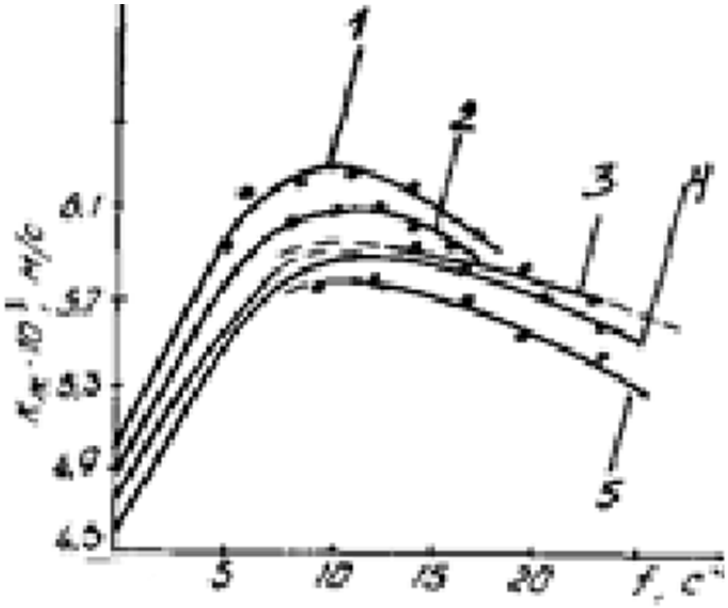


Рис.8.8. Зависимость $К_ж$ от скорости газа. 1 – 0; 2 – 0.9; 3 – 0.5; 4 – 0.6; 5 – 0.4 м/сек

согласуется с данными целого ряда авторов. Кроме того, при пульсациях газового потока или всего слоя для увеличения коэффициента массопередачи в 1,54- 2 раза требуется в 8-10 раз увеличить потери напора газового потока. В то же время, как показано в данном и последующем разделах, целесообразно и энергетически выгодно использовать спонтанные колебания клапанов для генерирования пульсаций в зоне наиболее эффективного контактирования фаз на, так называемом, входном участке, где газовая струя внедряется в жидкость. Следует отметить, что клапан в области динамической работы обеспечивает

широкополосное воздействие на обрабатываемые фазы, так как помимо сравнительно высокочастотных вертикальных колебаний совершается низкочастотные боковые (“бортовая качка"), за счет чего на поток налагаются также колебания низкой частоты. В связи с установленным фактом спонтанных колебаний клапанов по вертикали остановимся на вопросе влияния этих колебаний на эффективность контактирования фаз в следующем разделе.

8.4. Колебания клапанов и их влияние на эффективность контактирования фаз в газожидкостном слое.

Известно, что локальные гидродинамические параметры газожидкостного слоя изменяются по его высоте случайным образом, причем средняя частота пульсаций газонаполнения, скорости газовой фазы, статического давления и-т.д. лежит в пределах 1-15 $с^{-1}$. В этой связи одним из перспективных направлений интенсификации массообменных аппаратов является, как показано автором, генерирование вынужденных колебаний в газожидкостном слое с параметрами, близкими указанным выше. Несмотря на то, что проблеме влияния пульсаций контактирующих фаз на эффективность процессов тепломассообмена в газожидкостном слое посвящено значительное количество работ (наложение пульсаций на расход газа (пара), жидкости**,** регулируемая циклическая подача газа (пара) и жидкости, вибрация аппаратов или контактных элементов в них и т.д.), в литературе пока практически отсутствуют сведения об использовании отмеченных эффектов интенсификации при наложении пульсаций в промышленных газожидкостных аппаратах.

Затруднения в практической реализации результатов исследований, по-видимому, связаны прежде всего с тем, что в газо(паро)- жидкостных системах происходит быстрое затухание налагаемых колебаний, а также вследствие эффекта демпфирования и большого времени пребывания жидкости в ступени контакта. В то же время организация пульсаций контактирующих фаз на каждой ступени контакта в массообменном аппарате требует значительного усложнения его конструкции и неизбежно приводит к увеличению энергетических затрат. Для интенсификации процессов в промышленных аппаратах, по мнению автора, целесообразнее осуществлять не вибрацию самих аппаратов или контактных элементов в них, а сообщать пульсации газовому потоку или непосредственно газожидкостному слою. В связи с этим было исследовано влияние пульсаций газового потока, а также газожидкостного слоя на массопередачу в газовой и жидкой фазах в условиях массового барботажа.

Исследования проводились на прозрачных однотарельчатых стендах диаметрами 100 и 260 мм, снабженных ситчатыми тарелками со свободным сечением 10%. Изучали десорбцию углекислого газа из его растворов в воде воздухом и испарение воды в нагретый воздух. Пульсации газовой фазы создавали с помощью вращающейся заслонки, снабженной приводом с вариатором скорости. Частоту пульсаций газового потока изменяли от 0 до 35 $с^{-1}$. Для создания пульсаций в газожидкостном слое использовали мембранный электровибратор (частота колебаний 50 $с^{-1}$), погруженный непосредственно в газожидкостный слой на тарелке. Исследования показали, что пульсация газового потока и газожидкостного слоя на тарелках

барботажных аппаратов приводит к некоторой интенсификации процессов массообмена в жидкой фазе, в особенности, при частотах, близких к 10 $с^{-1}$. В связи с отмеченным влиянием на процесс места расположения генератора пульсаций следует предположить, что на массопередачу оказывает влияние не только частота пульсаций газовой фазы, но и амплитуда пульсаций.

Для количественной оценки эффекта интенсификации при наложении пульсаций на контактирующие фазы в газожидкостных системах были проведены исследования массообмена при десорбции углекислого газа из воды воздухом на клапанных тарелках. Проведены четыре серии экспериментов: пульсации на газожидкостной слой налагались с помощью вертикально расположенных резиновых диафрагм в боковых стенках колонны (создавались пульсации в горизонтальном направлении), возвратно-поступательное движение которым сообщалось с помощью эксцентрикового механизма (в этой серии клапаны на тарелке были закреплены неподвижно на некотором расстоянии от ее плоскости); пульсации скорости газового потока обеспечивали путем установки на линии подачи газа в колонну вращающейся заслонки, приводимой в движение электродвигателем с регулируемым числом оборотов (эта серия проводилась также при жестко закрепленных клапанах); пульсации в газожидкостном слое создавали путем принудительных колебаний клапанов с помощью автономного привода, обеспечивающего различные амплитуды и частоты колебаний (с целью определения оптимальных значений последних); пульсации на газожидкостной слой налагались за счет спонтанных колебаний клапанов различной массы.

Несмотря на то, что первая серия опытов проводилась при широком варьировании скоростей газа (0,3-1,3 м/с) и частот налагаемых колебаний (10-25 $с^{-1}$), не удалось получить значительного увеличения эффективности контакта фаз. Изменение коэффициента массопередачи при наложении пульсаций составляло не более 2-5%, что находится в пределах ошибки эксперимента. Столь низкий эффект следует, по-видимому, объяснить незначительной деформацией элементов структуры газожидкостного слоя вследствие перемещения его в вертикальном направлении при воздействии боковых сжимающих усилий.

Во второй серии пульсации на газовый поток накладывали с частотой, изменяющейся в пределах 5-16 $с^{-1}$ при скоростях газа 0,55; 0,75; 1,12 м/с и плотности орошения 15 м/ч. Обнаружено, что в этом случае (рис.8.7) коэффициент массопередачи в области оптимальных частот увеличивается не более чем на ***15%,*** Зависимость степени интенсификации (отношение коэффициентов массопередачи при наложении пульсаций и их отсутствии) от скорости вращения заслонки носит полиэкстремальный характер. При малой скорости наблюдается даже некоторое ухудшение процесса. Оптимальные значения параметра "степень интенсификации" получены при числе оборотов заслонки, близком к 5 $с^{-1}$, что соответствует частоте налагаемых на барботажный слой колебаний~10$с^{-1}$ принудительное осциллирование клапанов (или одного клапана) в третьей серии осуществляли с помощью электромагнитного пульсатора. Результаты исследований представлены на рис. 8.7–8.8. Видно, что принудительное осциллирование клапанов приводит к увеличению эффективности контакта фаз на тарелках. Можно отметить также, что наложение колебаний частотой 50 $с^{-1}$

сказывается более сильно при сравнительно невысоких скоростях газа по колонне (порядка 0,2 м/с) и увеличении амплитуды колебаний клапанов. Обращает также на себя внимание четко выраженный максимум на зависимости коэффициента массопередачи от частоты пульсаций. По-видимому, сказанное выше подтверждает целесообразность создания на барботажных клапанных тарелках колебаний частотой порядка 10 $с^{-1}$. Ниже показано, что такие колебания возбуждает незэщемленный клапан массой около 50 г. Действительно, как видно из рис.8.8, исследования интенсивности контакта фаз на тарелках с незащемленндои клапанами подтвердили это положение. Во всем исследованном диапазоне нагрузок по газу (0,3-1,0 м/с) клапаны массой 52 г обеспечивали значения коэффициентов масоопередачи на тарелке значительно более высокие, чем в случае использования клапанов массой 22 или 72 г.

Анализируя результаты исследований влияния способа наложения колебаний на контактирующие фазы, можно отметить, что наибольший эффект интенсификации достигается при вынужденных или спонтанных колебаниях клапана с частотой около 10 $с^{1}$. Примерно то же значение частоты является оптимальным и при наложении пульсаций на газовый поток при входе в аппарат. Однако, в этом случае эффект интенсификации гораздо слабее, по-видимому, из-за демпфирования газа в отверстиях тарелки под клапанами.

Выше отмечено, что тарелки, снабженные клапанными контактными устройствами, в области динамической работы клапанов отличаются более высокой эффективностью в сравнении с тарелками, например, колпачкового типа, несмотря на то, что газовые (паровые) струи проходят практически одинаковый путь и тарелки обладают близкими свободными сечениями. Основываясь на приводимых результатах исследований, автор полагает, что одной из основных причин более высокой эффективности клапанных тарелок являются спонтанные колебания клапанов, генерирующие пульсации газожидкостного слоя. В связи с этим представляет интерес определение связи между колебаниями клапанов и эффективностью клапанных тарелок, а также нахождение взаимосвязи геометрии клапана и его массы с амплитудно-частотными характеристиками его пульсаций относительно положения равновесия, соответствующего расходу газовой фазы через контактный узел.

Для исследования динамики движения клапанов и колебаний давления газа под ними использовали установку, схема которой приведена на рис.8.9. На катушки сильфонового индукционного датчика давления 3 и индукционного датчика перемещения клапана I подавали сигнал V = 60 В, частотой 8кГц с генератора сигналов типа ГЗ-ЗЗ через усилитель 9. Изменение сигналов с датчиков осуществляли по мостовой измерительной схеме. Сигналы с датчиков 1,3 подавали на шлейфовый осциллограф 5 типа Н-700 через набор сопротивлений 4. Датчик давления преобразовывал давление газа в линейное перемещение ферритового сердечника катушки, жестко связанного с сильфоном. Для сохранения равновесия клапана к нему прикреплен противовес 10, масса которого равна массе сердечника* Записывая пульсации клапанов и давления газа под клапаном на орошаемых и неорошаемых тарелках, проводили обработку осциллограмм известным весовым методом.

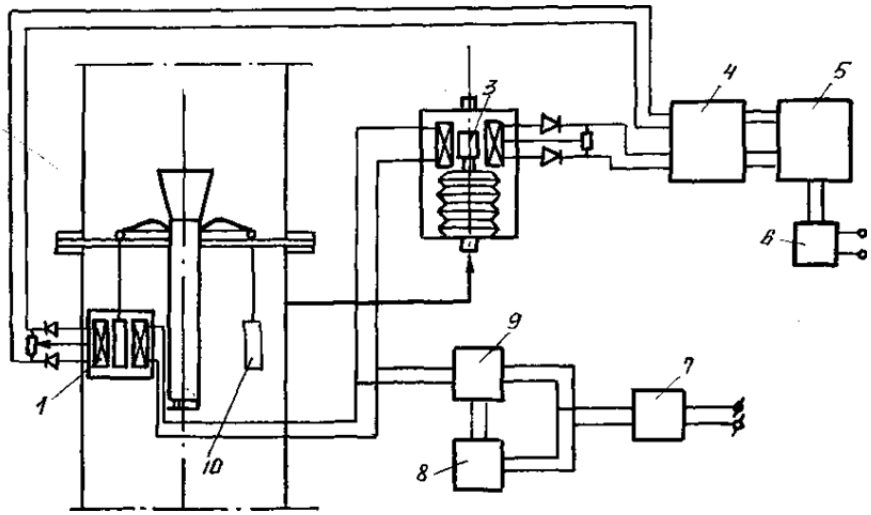


Рис. 8.9. Схема регистраций пульсаций давления газа под тарелкой и перемещения клапана: I-датчик перемещения клапана, 2-клапан, 3-датчик давления, 4-набор сопротивлений, 5-осциллограф, б-блок питания, 7-стабилизатор напряжения, 8-генератор сигналов, 9-усилитель, 10- противовес

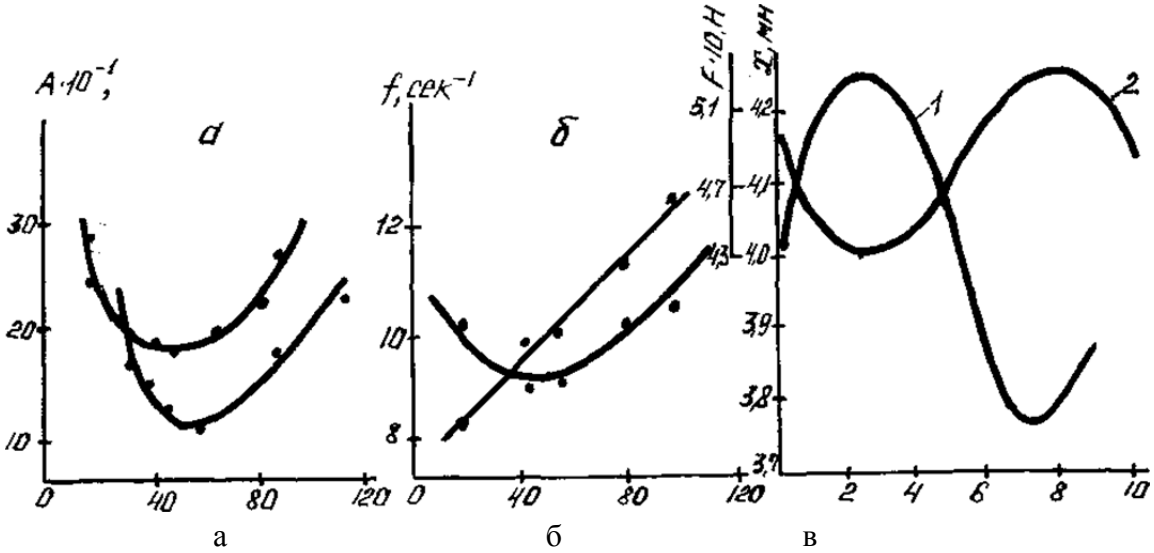


Рис.8.10. Зависимость амплитуды, частоты, перемещения клапана и силы, действующей на него от массы клапана (а,б) и скорости газа в отверстии. 1- $W_г$=0,75 ; 2 – 1,12м/с

Сопоставление осциллограмм пульсаций давления газа под клапаном и синхронных осциллограмм перемещения показало, что колебания клапана практически соответствуют по частоте и по фазе пульсациям давления газа под тарелкой, что свидетельствует о том, что пульсации давления обусловлены колебанием клапана.

Исследование зависимости амплитуды и частоты пульсаций давления газа под клапаном от массы клапана (рис.8.10), показало, что амплитуда имеет минимальное значение при массе клапана 50-70 г. Изменением массы клапана в пределах 20-120 г можно обеспечить изменение амплитуды пульсации давления газа под клапаном в пределах 100-300 Па. Значительно слабее влияние массы клапана на частоту его пульсаций. Из рис.6.10 б видно, что изменение массы клапана от 10 до 120 г приводит к изменению частоты пульсаций лишь от 8 до 13 $с^{-1}$. Таким

образом, варьируя массой, формой и размерами клапанов, можно целенаправленно изменять амплитуду и частоту пульсаций, налагаемых на контактирующие фазы, обеспечивая их оптимальные для данного процесса значения, создающие наибольший эффект интенсификации процесса массообмена.

8.5. Связь гидродинамических характеристик клапанных тарелок с конструкцией ККУ.

Имеющиеся в литературе сведения о влиянии конструктивных особенностей контактных устройств на гидродинамические и массообменные характеристики барботажных аппаратов относятся, в основном, к колпачковым тарелкам. Немногочисленные сообщения о влиянии конструктивных особенностей КУ на эффективность клапанных тарелок не дают зависимостей для количественной оценки этого влияния. Лишь в одной из работ Клауса Хоппе приведена зависимость эффективности контакта фаз от геометрии клапанов и показано, что высота единицы переноса пропорциональна соотношению диаметров клапана и отверстия в тарелке под ним. Оптимальные гидродинамические характеристики имеют клапанные тарелки с диаметром клапанов 50 мм. Интересно, что этот наш вывод полностью совпал с результатами Клауса Хоппе, в отличие от нас проводившим достаточно дорогие исследования на промышленных колонная большого диаметра. Отмечено влияние высоты слоя жидкости на эффективность тарелок**.** Так, оптимальный КПД достигается при высоте сливной перегородки, равной 50 мм. При изучении влияния высоты подъема клапана на работу тарелки установлено, что с увеличением высоты подъема клапана расширяется область постоянных значений гидравлического сопротивления, которое снижается при полностью открытых клапанах, а также сокращается унос жидкости. Однако увеличение высоты подъема вызывает снижение скорости газа (пара) при выходе из-под клапана, а, следовательно, ухудшается турбулизация жидкости и снижается эффективность контакта.

В литературе нет единого мнения об определяющем линейном размере газораспределительного устройства. В ряде работ - это диаметр отверстия в полотне, в других - капиллярная постоянная или поверхностно - объемный размер пузырька, высота статического слоя жидкости, высота газожидкостного слоя на тарелке. По мнению автора, в качестве определяющего линейного размера для ККУ целесообразно использовать такой параметр, который учитывал бы одновременно как размеры клапана, так и изменение высоты его подъема. Таким параметром может служить конструктивный параметр клапана ***К,*** характеризующий степень дросселирования газа через контактное устройство и равный отношению площадей зазоров между полотном тарелки и клапанами $F_{заз}$ и отверстий под клапанами F_0 , для удобства уменьшенный в 4 раза.

Проведенные на лабораторных, промышленных и полупромышленных установках при работе на системах с отличающимися физикохимическими свойствами экспериментальные исследования гидродинамических и массообменных характеристик большого числа клапанных тарелок с контактными устройствами различных типов и размеров позволили установить, что влияние конструктивных и геометрических особенностей контактных устройств на характеристики клапанных тарелок действительно имеет место и может быть учтено введением в расчетные уравнения безразмерного параметра конструкций К, а также

геометрического параметра $P= Kct_{oi}$ учитывающего размеры контактного устройства. Это позволило получить единые расчетные зависимости для всех испытанных конструкций клапанных тарелок и предложить унифицированные методики их расчета.

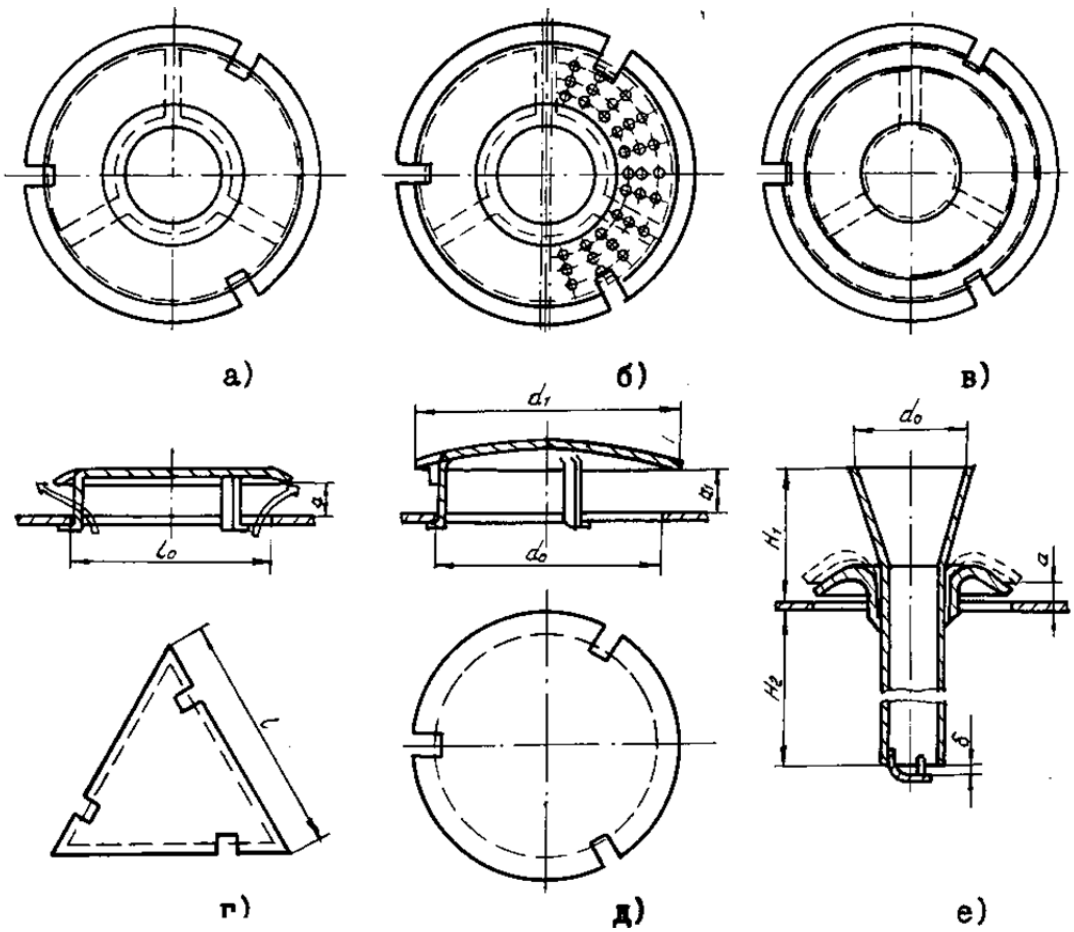
Основные расчетные формулы для гидродинамических характеристик клапанных тарелок были получены нами обработкой результатов исследований ККУ 5 типов, показанных на рис.8.11. Формулы для определения параметра *К* клапана для каждой испытанной конструкции КУ приведены в таблице 8.2.

Таблица 8.2. Конструктивный параметр клапанов различной конструкции

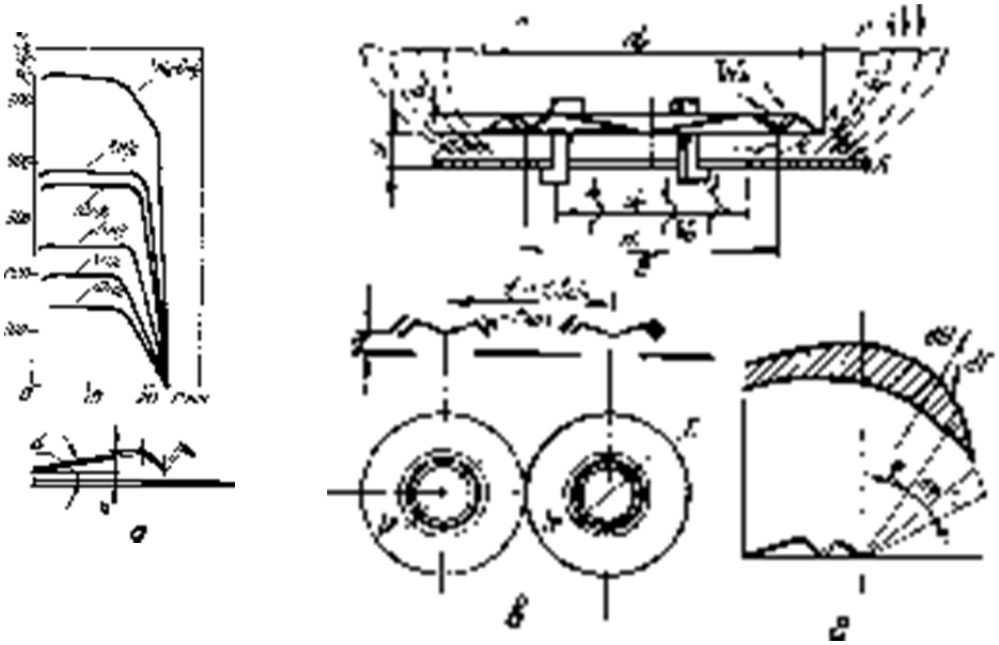
Параметр	Тип клапана
$К = a / (d_0 - d_3)$	Кольцевой
$К = a (d_o + d_4) + o{,}25 d_4^2 п) / (d_o^2 - d_3^2)$	Кольцевой ситчатый
$К = [a(d_7 + d_8) + a d_0] / d_o^2$	Кольцевой двухступенчатый
$К = 1{,}7 a / d_0$	Треугольный
$К = a / d_0$	Типа Glitch **- V**

Приведенные в таблице 8.2 формулы для расчета значений К для нескольких практически важных конструкций ККУ практически сводят на нет необходимость разработки для каждой конструкции контактных устройств индивидуальной методики расчета гидродинамических и массообменных характеристик. Это позволяет существенно сократить объем необходимых исследований при появлении новых конструкций, так как позводяет использовать для расчетов унифицированную методику, которая апробирована нами на значительном количестве конструкций. Эту методику можно посмотреть на стр. 295 – 299 моей докторской диссертации, которую можно скачать из Инета.

В настоящее время лишь для одной методики автор не смог предложить унифицированный конструктивный параметр К – для клапанного эжекционного контактного устройства, предназначенного, прежде всего для хемосорберов и реакционно – разделительных аппаратов. Трудности были вызваны увеличенным сопротивлением контактного узла в связи с циркуляцией через него эжектируемой газом жидкости. Это приводит к увеличению времени контакта жидкости с газом, что важно для многих химических процесов, улучшению массообменных характеристик за счет заполнения факелов газа вокруг клапана капельками жидкости.



Выше на рис.8.11. приведены схемы некоторых исследованных клапанных контактных устройств, которые были коммерциализированы на предприятиях Украины, России, Казахстана. а – кольцевой, б- кольцевой перфорированный клапан, в - двухступенчатый кольцевой клапан, г - треугольный клапан, д - дисковый клапан, е - противоточный клапанный контактный элемент. На рис. 8.12 приведена расчетная схема эжекционного клапана, успешно



используемого к газожидкостных реакторах. а - профили давления газа под клапаном при различных скоростях газа, б - схема эжекционннго клапана с обозначениями, в - расчетная схема эжекционного клапанного контактного устройства для определения диаметра гипотетической трубки, г - расчетная схема площади поверхности кругового элемента, выделенного в околоклапанном пространстве.

8.6. Эффективность контакта фаз в аппаратах с ККУ.

При разработке как секционированных массообменных аппаратов, так и реакторов, а также совмещенных реакционно-мэссообменных аппаратов, необходимо учитывать вклад отдельных зон газожидкостного слоя в общий массообмен на ступени контакта фаз. Выше рассмотрен вопрос о локальной эффективности при секционировании прямоточных аппаратов.

Использование для секционирования прямоточных аппаратов тарелок с отличающимися высокой эффективностью эжекционными клапанными контактными устройствами повышает интенсивность переноса вещества в связи с появлением дополнительных зон контактирования за счет эффекта эжектирования и изменения направления движения двухфазного потока под клапаном, импульсного режима входа газожидкостного потока в барботажный слой, обеспечиваемого колебаниями клапана в области его динамической работы.

Для эжекционных клапанов процесс на перекрестноточной тарелке можно разделить на следующие стадии:

- Массообмен между газом и проваливающейся в отверстия полотна тарелки жидкостью (при рабочих скоростях газа вклад этого участка незначителен вследствие небольшой доли проваливающейся жидкости и им можно пренебречь).
- Массообмен в момент эжекции жидкости газом (первый концевой эффект).
- Массообмен при прямоточном движении газожидкостной смеси.
- Массообмен на входном участке газожидкостной смеси в жидкостной слой на тарелке (второй концевой эффект) и в слое светлой жидкости на тарелке.
- Массообмен в газожидкостном (пенном) слое на тарелке.
- Массообмен в момент сепарации газожидкостного слоя (третий концевой эффект) и в сепарационном пространстве.

Массообмен на каждой стадии можно рассчитать, используя известные соотношения [32,81-83]. Для облегчения изучения вклада различных участков в общий процесс массопередачи на контактной тарелке с эжекционными клапанами их целесообразно, как и в случае прямоточных аппаратов, объединить в зоны:

- Под клапаном (зона эжекции);
- Светлого слоя жидкости и пены (зона пены);
- Разрушения пены (зона брызг).

При анализе принята модель идеального вытеснения по газу и модель идеального смешения жидкости в каждой зоне. Исследование проводили на системе вода-воздух по традиционной методике, осованной на учете испарения, на стендах диаметром 100, 260 и 300 мм. Провели

230 опытов при варьировании скорости газа в отверстиях в пределах 2-18 м/с, плотности орошения 12-180 м/ч.

После статистической обработки экспериментальных данных получили следующие результаты по вкладу различных зон в общий процесс переноса вещества на клапанной перекрестноточной тарелке с эжекционными клапанами.

Таблица 8.3. Сопоставление эффективности зон эжекционного ККУ

	L_f =10.3 м/ч W_0= 5м/с			6,9 м/с, 10,3 м3/м2ч			5 м/с, 7,2 м3/м2ч		
	1 зона	2 зона	Ззона	Iзона	2зона	Ззона	Iзона	2 зона	Ззона
г/л	14,2	5,6	7,5	33	-1,5	13,3	12	2,7	8,
%	52	21	27	74	-3	29	52,6	11,8	35,6

Из приведенных в таблице 8.3 данных следует, что основная доля перенесенной массы при условиях опытов приходится на зоны эжекции (1) и брызг (3). Зона пены (2) вносит небольшой вклад в общий процесс массопередачи на клапанной тарелке, тогда как, например, на ситчатых тарелках основная масса вещества переносится из одной фазы в другую именно в этой зоне. Это объясняется отсутствием на ситчатой тарелке зон эжекции и, соответственно, циркуляции жидкости в области контактного устройства. Кроме того, за счет дополнительных эффектов на эжекционной тарелке (пульсация клапанов, массообмен в момент эжекции, массообмен при прямоточном движении газожидкостной смеси под клапаном, массообмен на входном участке газожидкостной смеси в жидкость) создается особая гидродинамическая обстановка, В области клапанов наблюдается значительная турбулизация фаз, происходит интенсивный массообмен между жидкостью и газом в подклапанном пространстве, наблюдается рост и интенсивное обновление поверхности контакта фаз на тарелке. Причем, с ростом скорости газа в контактном устройстве существенно увеличивается доля вклада в общий процесс массопередачи на ступени зоны эжекции. Это обусловлено тем, что с ростом скорости газа увеличивается количество жидкости, эжектируемой газом под клапан и, соответственно, растет кратность циркуляции ее через контактное устройство, что, в свою очередь, ведет к росту влияния концевых эффектов взаимодействия фаз на массообмен на тарелке.

Уменьшение плотности орошения приводит к снижению доли вклада в общий массоперенос на ступени зоны пены и к увеличению доли вклада зоны брызг. Это связано с соответствующим изменением гидродинамической обстановки на клапанной тарелке, когда основная масса жидкости на ступени переходит во взвешенное состояние в виде капель в сепарационное пространство.

Эффективность тарелок с ККУ различной конструкции может быть также обобщена одним уравнением, если использовать предложенные в данной главе конструктивный параметр K. Однако, ограничусь лишь таблицей 8.4 обобщенных результатов исследований различных ККУ. Для сравнения в качестве базовой конструкции выбрано наиболее распространенно сегодня в мире ККУ типа Глитч.

Табл. 8.4. Основные показатели исследованных клапанных контактных устройств

Тип клапа-на	Произво-дитель-ность	Эффективность	Диапазон устойчивой работы	Диапазон само-регулирования
I. Типа Глитч (тип 5)	11	11	11	11
2.Треугольный (тип I)	11,1	11,2	11,1	11,1
3.Кольцевой (тип 2)	11,2	11,2	11,2	11,2
4.Кольцевой перфорированный (тип 3)	11,25	11,1	11,25	01,9
5.Кольцевой тип двухступенч.(тип 4)	11,4	11,15	11,4	11,5

Видно, что по всем показателям предложенные нами конструкции превосходят базовую конструкцию.

Ввиду значительных отличий режимов и принципа действия клапанных тарелок с противоточными ККУ (см. рис. 8.11е), отличающихся новым направлением дизайна - чередованием по высоте колонны барботажных и пленочных зон взаимодействия фаз, распределенными переливами и т.п., отдельно рассмотрены результаты исследования эффективности таких тарелок. Для оценки эффективности тарелок с противоточными ККУ при разделении реальных смесей использовали колонну диаметром 250 мм (для ректификации смесей бензол-толуол и этанол-вода. При этом молярную концентрацию исходной смеси варьировали в пределах 0,410-0,620 для системы бензол-толуол и 0,017-0,560 для системы этанол-вода, скорость пара 0,3-1,5 м/с, относительное свободное сечение тарелки - 0,116-0,174. Среднюю движущую силу процесса массообмена и эффективность тарелки определяли из условия полного перемешивания жидкости и вытеснения пара. При определении величины коэффициентов массоотдачи в жидкой и паровой фазах использовали известный способ разложения общего коэффициента масоопередэчи на частные. В результате исследований массообмена в колонном аппарате с противоточными клапанными тарелками установлено, что значения эффективности тарелки по Мерфри для паровой и жидкой фаз во всем диапазоне нагрузок по фазам достаточно высоки. Так, для тарелок с относительным свободным сечением 0,174- при разделении смесей бензол-толуол и этанол-вода 0,9 и 0,5-0,8 соответственно. Причем, для обеих разделяемых систем меньшие значения эффективности наблюдали при низких скоростях фаз в колонне. Частные коэффициенты массоотдачи в жидкой и паровой фазах во всем диапазоне исследованных нагрузок превышали значения аналогичных коэффициентов, полученных для тех же скоростей газа в аппарате с ситчатыми тарелками.

8.7. Совершенствование конструкций ККУ.

Расширение диапазона устойчивой работы по газу.
Анализируя конструктивные особенности наиболее распространенных клапанных контактных устройств с дисковыми и пластинчатыми клапанами типа “Флекситрей”, "Глитч" и др. следует отметить ряд недостатков, ограничивающих возможности их использования. Это прежде всего сравнительно узкий диапазон устойчивой и динамической работы клапанов. При малой массе клапанов уже при низкой нагрузке по газу все клапаны поднимаются до упоров, и тарелки работают как обычные ситчатые без саморегулирования. Увеличение массы клапанов нежелательно, так как пропорционально массе увеличивается сопротивление неорошаемых тарелок. Балластные тарелки, в которых утяжеление клапана происходит за счет включения в работу дополнительных балластов, имеют более широкий диапазон саморегулирования и рабочих нагрузок по газу, однако и они не соответствуют требованиям практики.

Недостатком клапанных тарелок с дисковыми клапанами является также то, что жидкость, находящаяся на тарелке непосредственно над клапанами, практически не участвует в процессе барботажа. Производительность таких тарелок ограничивает регламентируемый максимальный подъем клапанов (8-10 мм). При большей высоте подъема клапанов и низких нагрузках по газу увеличивается утечка жидкости и ухудшается диспергирование газа вследствие увеличения поперечного размера газовых факелов, что уменьшает эффективность контакта фаз. Для устранения этих недостатков, а также с учетом требований совмещенных процессов автором самостоятельно или с учениками предложены новые конструкции клапанных контактных устройств, описанные в данном разделе.

На рис.8.11а показан элемент тарелки, оснащенный клапанами кольцевой формы. Как отмечено выше, такое выполнение клапанов позволяет уменьшать гидравлическое сопротивление, увеличить пропускную способность по газу, повысить эффективность контакта фаз и расширить диапазон устойчивой работы тарелки, что особенно важно для реакционно-отделительных процессов. Кроме того, такое конструктивное решение обеспечивает образование над клапанами зон интенсивного соударения газовых струй, вытекающих из-под внутренней кольцевой щели между клапаном и полотном тарелки, что также способствует интенсификации процесса переноса.

По-иному решена задача включения в процесс активного массообмена с газом жидкости, находящейся непосредственно над клапанами, в конструкции, где клапаны снабжены отбортованной цилиндрической частью с окнами для прохода газа в объем жидкости над клапаном и отражательной отбортовкой в форме усеченного конуса. Последнее способствует увеличению зеркала барботажа, способствует более равномерному распределению газа по плоскости поперечного сечения и хорошему самоцентрированию клапана (рис.8.11 б).

На рис.8.11.в показан один из вариантов двухступенчатого клапана, где верхний клапан одновременно выполняет роль балласта для нижнего помимо выполнения своих прямых функций# Такое конструктивное решение резко расширяет диапазон саморегулирования и увеличивает производительность колонн. Тарелка с такими клапанами обладает более низким

сопротивлением из-за ступенчатого включения клапанов в работу, а также меньшей скорости газа в кольцевых зазорах под клапанами.

Увеличение пропускной способности по жидкости.

Решение этой задачи особенно важно для реакционно-разделительных процессов, где зачастую L_f в десятки раз выше, чем в массообменных аппаратах. Для массообменных и совмещенных колонных аппаратов с традиционными переливными тарелками (перекрестный ток на ступени контакта фаз) объем жидкости в колонне с увеличением ее диаметра при постоянной плотности орошения возрастает пропорционально квадрату диаметра, а длина переливной пленки, через которую происходит перелив жидкости, растет пропорционально только диаметру. Это приводит к необходимости увеличения площади тарелки, занятой переливами, и к снижению активной барботируемой поверхности.

Пропускная способность по жидкости традиционных клапанных тарелок с перекрестным движением фаз лимитируется напряженностью слива, т.е. нагрузкой, приходящейся на I м длины переливной пленки. При напряженностях 40-60 м3/м^2.ч такие тарелки работали удовлетворительно, однако для реакционно-отделительных аппара- тов удельные нагрузки по жидкости достигают 180-200 м^3/м^2.ч. Кроме того, расходы жидкости могут колебаться в столь же широких пределах, что и расходы газа. Поэтому, решая вопросы интенсификации клапанных контактных устройств для прохода газа, нельзя забывать о необходимости одновременного совершенствования переливных устройств. Одним из перспективных направлений в решении этого вопроса является использование принципа продольно-поперечного секционирования для организации по поперечному сечению аппарата локальных участков, где осуществляется противоточное движение контактирующих фаз.

При использовании дисковых клапанов центральная часть клапана участвует в процессе массообмена в меньшей степени. С учетом этого целесообразно разместить переливные устройства по оси клапанов, что позволит обеспечить автономные условия работы для каждого противоточного контактного элемента и создать аппараты широкого диапазона размеров поперечного сечения, не решая проблем масштабного перехода. На рис.8.11 е показана конструкция противоточного контактного устройства клапанного типа, где обеспечено движение каждой из контактирующих фаз по определенным каналам контактного узла: газа - через кольцевую щель между клапаном и полотном тарелки, жидкости - через автономный или совмещенный с клапаном центральный переливной патрубок.

Предложен также контактный элемент противоточной клапанной тарелки, который содержит клапан и переливное устройство в виде патрубка с отбойным элементом. Коаксиальное отверстие в основании тарелки, перекрываемое клапаном, обеспечивает неза- висимое раздельное движение фаз, расширяет диапазон устойчивой работы и повышает пропускную способность тарелки по фазам. Патрубки с отбойными элементами закреплены жестко относительно отверстия в основании тарелки и служат направляющими для верти- кального перемещения клапанов. Жидкость по переливным патрубкам поступает на отбойные элементы и отбрасывается ими, создавая дополнительную зону контакта газа с жидкостью. Описанное контактное устройство обеспечивает стабильные гидродинамические и

массообменные характеристики в широком диапазоне нагрузок по фазам и может быть использовано при разработке реакционно-ректификационных и реакционно-десорбционных колонн, а также массообменных аппаратов большой единичной мощности, предназначенных для эксплуатации при атмосферном и повышенном давлении.

Для увеличения производительности, расширения диапазона устойчивой работы тарелок и повышения их эффективности разработан клапан с центральным переливным устройством в виде конуса, направленного меньшим основанием вниз. Контактные устройства такой конструкции обладают минимальной металлоемкостью. Для дальнейшего увеличения пропускной способности по жидкости и расширения диапазона устойчивой работы под переливным конусом целесообразно поместить распределительное устройство, выполненное в виде диска с радиальными прорезями, образующими сектора, отогнутые в разные стороны.

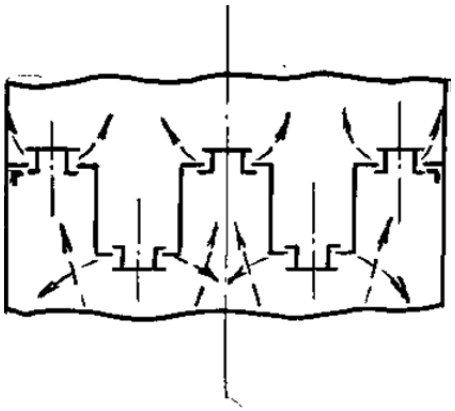
В случае больших жидкостных потоков целесообразно использовать переливные патрубки с расширяющимся вверх конусом, снабженными зубчатыми краями, увеличивающими длину линии перелива и уменьшающими напряженность слива. Гидрозэтвор в переливном устройстве может быть динамическим или клапанным. В тех случаях, когда обработка жидкости газом сопряжена со значительными колебаниями нагрузок по жидкости целесообразно использовать клапанный затвор на сливе жидкости. Можно выполнить переливы в виде днищ с отверстиями для прохода жидкости, под которыми помещены клапаны с ограничительными ножками, направленными вверх, или разместить под патрубками свободно перемещающиеся вдоль вертикальной оси диски с направляющими лопатками . В этом случае жидкость после взаимодействия с газом стекает в переливной патрубок и ударяется о диск. Вытекающая жидкость, проходя между направляющими лопатками, вызывает вращение диска, что способствует диспергированию сливающейся жидкости и образованию второй зоны эффективного контакта фаз.

Вторая зона контакта фаз, состоящая из жидкостных пленок, капель, струй, появляется под тарелками, снабженными практически любыми из описанных клапанных противоточных контактных устройств.

Распределенный или упорядоченный слив жидкости, организуемый на рассматриваемых противоточных тарелках, повышает гидродинамическую устойчивость тарелки, практически устраняет градиент жидкости на ней, что обеспечивает равномерный профиль скорости движения газа по сечению аппарата.

При стабильных нагрузках по фазам, когда использование клапанов для саморегулирования свободный сечений отверстий не имеет смысла, эффективно применение тарелок, на полотне

которых выштампованы углубления и выступы с отверстиями на боковых поверхностях для прохода фаз.



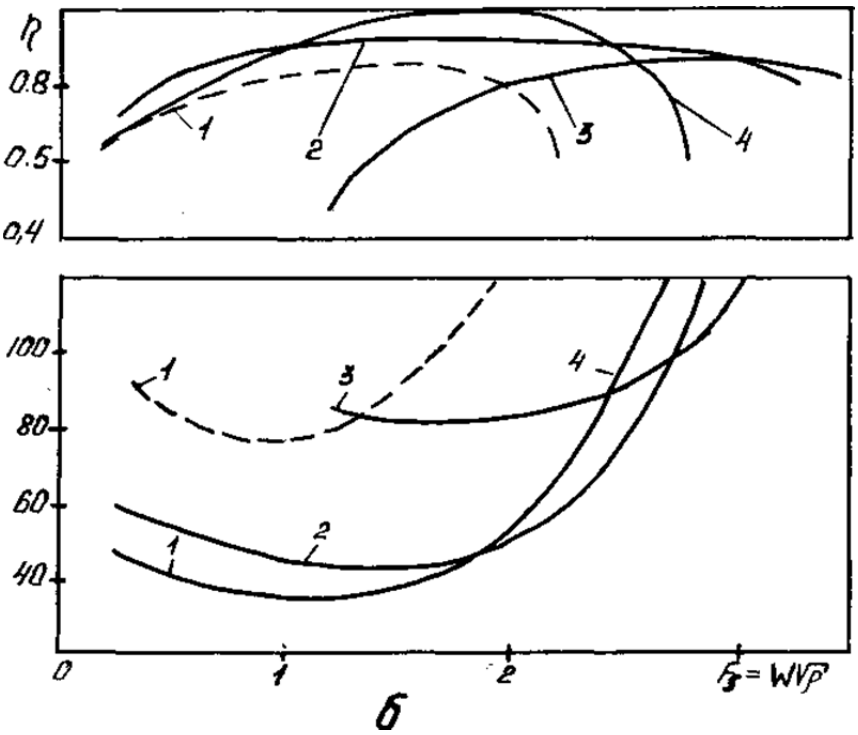


Рис. 8.13. Клапанная тарелка с саморегулированием по газу и жидкости (а) и сравнительные характеристики противоточных клапанных устройств): I - типа "Глитч", 2- с неподвижным переливным патрубком, снабженным отбойным диском, 3- с коническим раструбом для слива жидкости, 4- с саморегулированием по газу и жидкости обладают высокой интенсивностью при максимальной простоте и дешевизне.

Из рис.8.13 б видно, что в сражении о наиболее распространенной конструкцией клапанного узла типа "Глитч" противоточные контактные устройства обладают улучшенными гидродинамическими характеристиками.

Использование энергии газового потока для эжектирования жидкости.

Ряд химических, массообменных и совмещенных процессов, лимитируемых диффузионным сопротивлением в жидкой фазе, может быть интенсифицирован путем увеличения времени пребывания жидкости в ступени контакта и времени контактирования ее с газом. Одним из затронутых выше путей осуществления этого направления является эжектирование жидкости

газовым потоком за счет использования его энергии и организация рециркуляции жидкости через контактный узел.

На рис.8.11 - 8.12 показаны варианты эжекционных клапанов . Газовый поток, проходя через кольцевую щель между поддоном и отогнутыми кромками перфорированного основания тарелки, сужается и эжектирует под клапан жидкость, поступающую в поддон из над-клапанного пространства. Это вызывает постоянный отток жидкости и газожидкостной смеси от периферии клапана к центру, способствует вихреобразованию и включению в процесс непосредственного контактирования с газом жидкости, находящейся над клапаном. В образовавшемся при эжектировании газожидкостном потоке в подклапанном пространстве происходит интенсивный массообмен между фазами. Затем этот поток проходит через слой жидкости на тарелке, где происходит дополнительное контактирование. Поскольку из-под клапана в этом случае барботирует не газ, а сформировавшаяся газожидкостная смесь с развитой поверхностью контакта (внутри элементов структуры смеси - ячеек, пузырей и т.п. - имеются частицы жидкой фазы в виде .капель и пленок), достигается интенсификация переноса вещества. Положительный эффект эжекции увеличивается с ростом скорости газа ввиду увеличения количества циркулирующей жидкости и степени турбулизации кон-тактирующих фаз в подклапанном пространстве.

На рис.8.12 приведен вариант конструкции эжекционного клапана, изготовленного методом штамповки из листового материала. Предложен также клапанный узел, сочетающий в себе достоинства балластного контактного устройства и эжекционного клапана, так как при повышении нагрузок по газу в работу включается верхний клапан и в образовавшуюся при этом щель эжектируется циркулирующая жидкость. Для интенсификации массообмена в подклапанном пространстве целесообразно обеспечить соударение сформировавшегося газожидкостного потока с газовой струей, истекающей из кольцевого профилированного отверстия в полотне тарелки.

Относительно просто можно обеспечить эжекцию жидкости газом в противоточных клапанных контактных устройствах, причем как из областей, близких к оси клапана, так и из периферийных областей. Возможна также организация двойного рециркуляционного контура по жидкости благодаря расположению между клапаном с коническим переливом тела вращения и снабжению переливного конуса направленно-просечными отверстиями [97].

Разработка пульсационных клапанных контактных устройств.

Как было показано выше, колебательный режим работы характерен для клапанов практически любой конструкции. Отмечена также связь этого явления с повышенной эффективностью контакта фаз на клапанных тарелках. Процесс массообмена на тарелках с клапанными противоточными контактными устройствами может быть дополнительно интенсифицирован путем наложения на контактирующие фазы низкочастотных крупномасштабных пульсаций. Последние сообщаются, например, газовым потоком, пульсации скорости которого обеспечиваются выполнением на клапане и полотне тарелки фигурных отверстий с отогнутыми в противоположные стороны лепестками [98] . При вращении клапана вследствие

совпадения отверстий в нем и полотне тарелки или перекрытия их на газовый поток накладываются низкочастотные колебания, а отогнутые лопатки клапана сообщают газожидкостному слою над ним вращение, что также способствует интенсификации массообмена.

Амплитуда пульсаций клапана может быть увеличена благодаря обеспечению упругой связи его с полотном путем снабжения зэвихряющим элементом, выполненным в виде цилиндрической пружины, прикрепленной к клапану и полотну тарелки . Сдвинутые по фазе колебания газа и сливаемой с тарелки жидкости обеспечиваются клапанным противоточным устройством, выполненным по типу золотникового механизма. Клапан совершает колебательные движения по вертикали и попеременно открывает отверстия для прохода газа и для слива жидкости. Варьируя массой клапана и его размерами, можно изменять частоту колебаний в пределах 20-120 мин$^{-1}$. Для получения колебаний жидкости более высокой частоты возможно техническое решение, где клапан жестко связан с незакрепленным отбойным диском и составляет с ним единую динамическую систему.

Эффект наложения пульсаций усиливается при совмещении низко- и высокочастотных колебаний, как это сделано в конструкции. Тарелка с продольными прорезями снабжена поворачивающимися на оси клапанами, выполненными в форме цилиндра, внутрь которого помещен свободно перемещающийся цилиндрический элемент. При пересечении пути движения газа, выходящего из прорези тарелки, с газом, выходящим из-под клапана, возникают высокочастотные пульсации газового потока, а низкочастотные пульсации создаются вследствие периодического перекрывания отверстия для прохода газа цилиндрическим элементом, подхватываемым газовым потоком.

Оптимизация формы и размеров контактного устройства.

При совершенствовании конструкции контактных устройств важен не только поиск новых конструктивных решений, но и оптимизация формы и размеров основных рабочих элементов. Выше уже показано на примере хордовой насадки, что именно это направление зачастую приводит к оригинальным техническим решениям и является результативным. При оптимизации формы элементов контактного устройства разработчик чаще всего стремится вначале обеспечить плавность формы с тем, чтобы избежать потери напора при формировании газового потока перед встречей его с жидкостью. На предварительном этапе оптимизации удобно воспользоваться методом электрогидродинзмической аналогии (ЭГДА) . В дальнейшем при оптимизации соотношений размеров можно использовать аналитическое решение с привлечением экспериментального материала. В частности, нами показана возможность оптимизации соотношения диаметров кольцевого клапана с использованием уравнений для пропускной способности дискового и кольцевого клапанов. В случае более сложной геометрии клапана такой подход не позволяет решить оптимизационные задачи без постановки значительного количества экспериментов, связанных с изготовлением многочисленных моделей контактных элементов. В связи с этим целесообразно использовать аналогично оптимизации хордовых насадок методы математического планирования эксперимента.

Рассмотрим пример оптимизации противоточного клапанного контактного устройстве. Для тарелок с такими устройствами, не предназначенных для обеспечения высоких нагрузок по жидкости, удобно использовать в качестве параметра оптимизации площадь диапазона устойчивой работы в диаграмме "плотность орошения - скорость газа". Задача сводится к поиску таких размеров внутренних элементов, которые обеспечивали бы максимально возможную площадь зоны диапазона устойчивой работы тарелки в целом и контактного устройства, в частности. В число независимых переменных включили: максимальный зазор между клапаном и полотном тарелки , высоту и переливного патрубка над и под полотном тарелки, ширину ***a.*** щели сливного устройства, массу клапана, максимальный внутренний диаметр перелива. Скорость газа в свободном сечении аппарата варьировали в пределах О,5-2,1 м/с, жидкости в пределах 5-60 м/ч.

В связи с тем, что при оптимизации получение расчетного уравнения для определения параметра оптимизации не является обязательным, осуществляли программу крутого восхождения по градиенту, хотя аппроксимация уравнения регрессии полиномом первой степени оказалась неадекватной.

Как видно из рис.8.14. - 8.15 в результате оптимизации удалось увеличить в несколько раз диапазон устойчивой работы исходной конструкции (площадь 2). Для оптимизации эжекционного контактного устройства также использовали метод математического планирования эксперимента. Для отыскания оптимальных конструктивных параметров устройства использовали метод крутого восхождения по поверхности отклика.

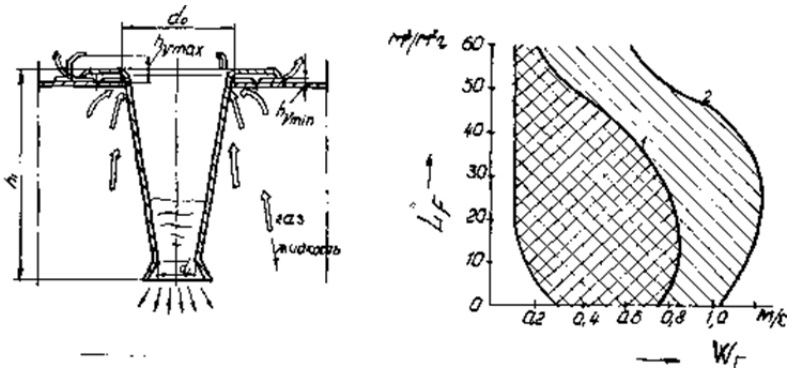


Рис.8.14. Оптимизация противоточного ККУ

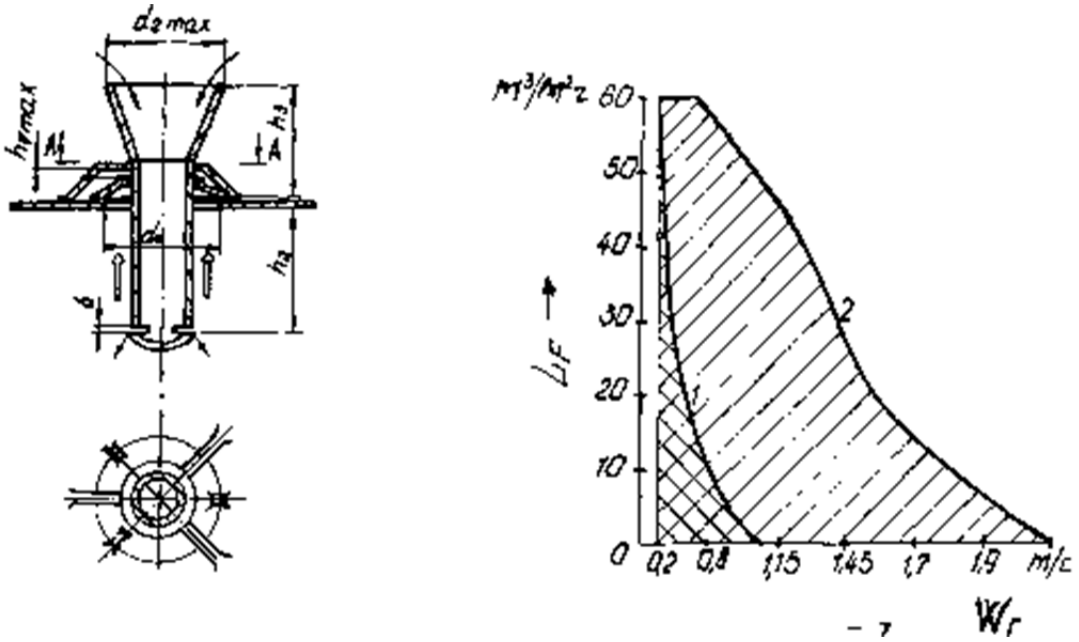


Рис.8.15. Оптимизация противоточного ККУ с переливным патрубком

На Рис.8.14 -8.15. показаны результаты оптимизации диапазона устойчивой работы (гибкости) противоточных ККУ с использованием математического планирования эксперимента.

8.8.Реализация с помощью клапанных контактных устройств принципа соответствия (гармонии) на базе синергийных подходов.

У читателя давно возник вопрос, зачем так много конструкций ККУ предложено, отчего такое внимание автор уделяет оптимизации каждой конструкции по нескольким показателям. Почему столь много внимания уделено в книге колебаниям клапанов и их использованию для улучшения процессов тепло- массообмена в барботажном слое.

Для ответа на этот вопрос, вернее, группу вопросов, придется вновь вспомнить о том, что для реализации декларированного в данной монографии принципа целесообразности обеспечения в химической технике реализации принципа соответствия технологии аппаратуре, с помощью которой она реализуется, необходимые средства и методы, способные обеспечить эту гармонию. Для химико-технологических процессов в газо – жтдкостных системах пока не предложено лучшего конструктивного решения, чем секционирование аппаратов тарелками с клапанными контактными устройствами. В то же время в промышленной химии прходится заниматься самыми различными процессов, проыодимых в газо – жидкостных системах: ректификация, когда скорость паров по колонне сравнительно невелика, а соотношение потоков жидкости и газа близко к 1, абсорбции, когда и скорость газа значительно выше и соотношение скоростей газа и жидкости гораздо выше, хемосорбции, когда скорость газа мала, а соотношение скоростей еще выще, но большое значение приобретает поверхность контакта фаз и размер пузыриков из-за химической реакции, протекающей на межфазной поверхности, пылеулавливания и

десорбции (например, брома из рапы или морской воды), когда неоюходиы огромные потоки обеиз фаз и т.д. Этот перечень огромен и удовлетворить требования каждой технологии к оборудованию только несколькими конструкциями унифицированного оборудования не удастся.

Для того, чтобы в соответствии с принципами синергии максимально гармонизировать зачастую чрезвычайно противоречивые требования технологии к оборудованию, где она реализуется (и наоборот!), пришлось столь значительное внимание уделить совершенствованию конструкции клапанных контактных устройств и созданию достаточно большой базы (как сейчас модно называть, облака) конструкций ККУ, позволяющих удовлетворить синергичные требования технологов. Замечу, это не индивидуальные конструкции – для каждого процесса своя. Нам удалось, как показано выше, предложить совершенно новые средства и методы для:

- увеличения гибкости и адаптивности ККУ за счет эффекта саморегулирования свободного сечения под клапаном,
- увеличения эффективности контакта фаз в барботажном слое за счет управления спонтанными пульсациями клапанов, использования эффекта эжектирования жидкости газом, чередования барботажной и пленочной зон контактирования, соударения потоков контактирующих фаз и мчпользования других локальных средств и методов,
- увеличения времени контакта жидкости с газом и улучшения гидродинамических характеристик межфазной поверхности для проведения химических реакций в оптимальных режимах,
- обеспечения самооочистки рабочих поверхностей аппаратуры за счет конструктивных особенностей ККУ при переработке загрязненных, полимеризующихся и инкрустируемых веществ.

Этот перечень достоинств принципиально новых конструкций ККУ, большинство из которых запатентовано в Украине и за ее пределами, можно было продолжить дальше, но у профессионального читателя уже наверняка возник вопрос, как все это многообразие конструкций можно использовать в практической работе конструктора оборудования, проектировщика при создании новых или реконструкции действующих химических производств. Хочу успокоить коллег, мы разработали (выше приведены результаты) универсальные конструктивные показатели для самых различных конструкций ККУ и унифицированные методики их расчета, а также совместно с головными институтами химического машиностроения еще в СССР целый ряд унифицированных конструкций (к сожалению, эта работа по известным причинам так и не была закончена).

Но, самое главное, целый ряд разработок новой массообменной аппаратуры удалось реализовать в реальных производствах, где было, в основном, подтверждено все, что написано выше.

8.9. Промышленное использование аппаратов с новыми ККУ.

Опыт использования новых ККУ в массообменных, совмещенных и реакционно - разделительных аппаратах освещен в ряде разделов диссертации выше, а также и в этой главе и в следующих

главах книги. В данном разделе автор считает целесообразным рассмотреть некоторые результаты внедрения в промышленность массообменных аппаратов, преимущественно ректификационных колонн новой конструкции. Обследование промышленных ректификационных колонн с целью определения их эффективности всегда связано с целым рядом трудностей экспериментального характера, к числу которых, прежде всего, относятся: многокомпонентность разделяемых систем; наличие застойных зон на тарелках и несоответствие состава проб среднему составу жидкости на тарелке; ограниченное количество экспериментальных данных и неточность методик расчета данных по равновесию в многокомпонентных реальных системах; неидеальность большинства систем, подвергаемых ректификации, неточные методики аналитического контроля и др.

В рассмотренных ниже примерах использования аппаратов новых конструкций для разделения многокомпонентных систем трудности усугубляются тем, что ректификации с целью получения химических реактивов и особочистых веществ во многих случаях подвергались сильно разбавленные растворы.

Ввиду вышеизложенного автором применена упрощенная методика обследования промышленных колонн, основанная на максимальном испльзовании ставших уже практически стандартными и апробированными многими проектными и исследовательскими организациями программ расчета многокомпонентной ректификации на ЭВМ. При обследовании промышленных колонн в большинстве случаев ставились следующие задачи: определение оптимальных режимов работы; определение средней эффективности всей колонны и отдельных участков; уточнение места ввода питания. Методика обследования была принята следующей. После вывода установки на режим производили отбор проб и запись показателей технологического режима. Об установившемся режиме свидетельствовали неизменяющиеся в течение часа температура куба и верха колонны и расходы материальных потоков.

Для анализа отбирались пробы исходного сырья, флегмы и кубовой жидкости, фиксировались расход воды на дефлегматор, расходы сырья, дистиллята, флегмы, кубовой жидкости, температуры флегмы, куба, верха колонны, питания, а также в ряде точек по высоте колонны. Число теоретических тарелок, соответствующее достигнутому качеству разделения (обеспечиваемому промышленной колонной), рассчитывали на ЭВМ. К расчету принимали усредненные данные 4-5 серий. Программа расчета была составлена с учетом предположения о постоянстве молярных потоков по высоте колонны и линейных зависимостей коэффициентов относительной летучести от концентраций по высоте и позволяла рассчитать зависимость числа теоретических тарелок от флегмового числа.

Оценку правильности определения средней эффективности колонны можно определить по сходимости экспериментального концентрационного профиля с концентрационным профилем, рассчитанным о учетом эффективности колонны. Однако, эта процедура связана со значительными трудностями экспериментального характера. Задачу определения экспериментального концентрационного профиля можно заменить задачей построения расчетного "условно-экспериментального" концентрационного профиля, построенного по

экспериментальному температурному профилю и измеренным значениям давления по высоте колонны. Такой "условно-экспериментальный" концентрационный профиль при наличии опытных данных о температуре и давлении рассчитывали по программе "Свогаж".

Сопоставляя "экспериментальный" с расчетным концентрационным профилем, с учетом данных о средней эффективности, можно сделать вывод о правильности определения средней эффективности промышленной колонны. С помощью концентрационных профилей можно уточнить место ввода питания и определить эффективность отдельных участков колонны. Такая методика позволяет упростить процедуру обследования промышленных ректификационных колонн, “получить достаточную информацию об их эффективности, облегчить обработку опытных данных.

Колонна ректификации тетрахлорида германия из фторопласта предназначена для его глубокой очистки с целью использования для производства полупроводников. Эта колонна обеспечивает чередование барботажных и пленочных зон взаимодействия газа и жидкости, четкое секционирование по высоте и получила широкое распространение для производства химреактивов и чистых веществ.

Следует отметить, что для ректификации сильно разбавленных растворов оказались неприемлемыми как традиционные методики, так и вышеописанная методика обследования промышленных колонн, прежде всего, в связи с отсутствием методик аналитического контроля столь невысокого содержания примесей, а также тем, что в рассматриваемом случае трудно использовать такие показатели как "эффективность по Мерфри" ввиду того, что, по-видимому, вступают в силу другие механизмы переноса примесей (к примеру, диффузия твердых частиц по высоте колонны и т.п. В связи с этим, для анализа эффективности новой колонны и сопоставления показателей ее работы в сравнении с ранее использовавшейся колонной эмульгационного типа того же диаметра (разработки Гиредмета) были использованы данные по свойствам конечного продукта, в частности, электропроводность так называемого "королька" германия. В качестве показателя эффективности работы колонны был принят средний выход в % в 20-омную часть. Сравнение результатов работы колонн обеих конструкций показывает, что, несмотря на простоту в изготовлении новой колонны, она обеспечивает в подавляющем большинстве случаев более высокое качество очистки, чем эмульгационная. Действительно, выборка данных при работе обеих колонн на одном и том же германийсодержащем сырье за год эксплуатации показывает, что средний выход в 20-омную часть у новой колонны составляет 84,06% против 81,54% у эмульгационной колонны.

Колонна предварительной ректификации хлорсиланов (D= 500мм), секционированная клапанными тарелками с кольцевыми клапанами ($F_{св}$= ***10%;*** а =2,6 мм; $G_{кл}$ =50 г), была установлена на Запорожском титано-магниевом комбинате и предназначена для предварительного отделения азота, водорода, HCI, трихлорсилана и низкокипящих хлоридов от твердой фазы, $SiCl_4$ и высших хлоридов. Несмотря на ограниченную высоту колонны (число тарелок 26), она обеспечивает достаточно высокое качество разделения, несмотря на наличие в исходной смеси твердых частиц, способных образовывать аэрозоль. До установки колонны с клапанными тарелками эксплуатировалась колонна с тарелками провального типа с большим

свободным сечением, не обеспечивавшими создание запаса жидкости на тарелке. Фактически провальные тарелки лишь смачивались жидкостью и колонна работала в режиме, близком к пленочному. В связи с тем, что тарелки в новой колонне снабжены клапанами и переливами с затворами, гарантируется барботажный режим контактирования, способствующий улавливанию частиц аэрозоля при чередовании процессов конденсации и испарения при ректификации на тарелках колонны по мере движения паровой фазы снизу вверх.

Ряд конструкций колонн с новыми ККУ автору впервые удалось использовать в производствах химических реактивов и особо чистых веществ, предъявляющих особые требования к эффективности разделительной аппаратуры и гибкости. В области производства химических реактивов положение сложилось таким образом, что производимые в этой подотрасли вещества все шире используются как чистое технологическое сырье при производстве пластических масс, фармацевтических препаратов и т.д. и их объем достигает десятков тысяч тонн в год (например, диметилформамида , диметилацетатамида “ХЧ”, диоксана “СЦ", изопропилового спирта “ОСЧ[и]).

Еще до последнего времени для получения веществ использовали преимущественно установки периодической ректификации, колонны в которых по аналогии с лабораторными ректификационными колоннами загружали нерегулярной насадкой одной из эффективных конструкций (чаще всего использовали насадку Левина).

Как показали проведенные автором обследования промышленных насадочных колонн, их использование для получения особочистых веществ является нецелесообразным (как и колонн эмульгационного типа) вследствие значительного обратного перемешивания жидкости при интенсивных режимах работы, загрязнения продукта материалом насадки при ее истирании. Ряд работ автора, внедренных в промышленности химических реактивов, подтвердил целесообразность использования для ректификации с целью получения чистых веществ и химических реактивов аппаратов, секционированных клапанными тарелками различных модификаций (в зависимости от назначения колонны). Обследование новых промышленных колонн проводилось на следующих установках ректификации Шосткинского завода химических реактивов: изопропилового спирт (колонна секционирована тарелками с противоточными клапанными контактными устройствами); диоксана (колонна секционирована тарелками с кольцевыми клапанными контактными устройствами); уксусного ангидрида (колонна секционирована тарелками с клапанными контактными устройствами, обеспечивающими закручивание газожидкостного потока).

Первая из этих установок ректификации предназначена для получения из изопропилового спирта классификации "технический” изопропилового спирта классификации ХЧ. Содержание основного вещества в исходном продукте не менее 84%, в изопропиловом спирте "ХЧ” - не менее 99,8. Колонна диаметром 0,6 м была секционирована 60 тарелками с противоточными ККУ (27 штук на каждой тарелке). Основные показатели колонны, определенные в результате ее обследования, и результаты расчета ее средней эффективности и концентрационного профиля, рассчитанного по экспериментально полученным температурам, практически совпали.

На том же предприятии успешно внедрены также колонны для ректификации диметилформамида и диметилацетатамида с целью получения продуктов квалификации "ХЧ", в которых использованы тарелки с клапанными противоточными контактными устройствами в сочетании с кольцевыми клапанами.

В колонне ректификации уксусного ангидрида для получения продукта квалификации “ч** и “чда“,' смонтированной также на ШЗХР, использованы тарелки с ККУ, обеспечивающими закручивание потоков за счет тангенциального выхода газовых струй из-под клапанов. Основные показатели работы колонны были определены по методике, изложенной выше. При коэффициенте избытка флегмы 1,3 число теоретических тарелок равно 18,321. Тогда средняя эффективность 18,321/25 = 0,733. Близкие значения расчетных и "расчетно-зкспериментальных концентраций УК” свидетельствуют о высокой эффективности колонны и правильности ее определения расчетом.

На Шосткинском заводе химических реактивов ректификация диоксана производилась периодическим методом в колонне с насадкой из колец Рашига. В связи с большим временем пребывания диоксана в зоне высоких температур (что неизбежно при периодической ректификации; происходило значительное его осмоление; насадка колонны забивалась смолой, что нарушало режим работы колонны. В связи с этим замену насадки приходилось производить не менее двух раз в месяц, что увеличило себестоимость продукции и ограничивало производительность установки, а также способствовало увеличению в продукте количества перекисных соединений. В связи с увеличением производства диоксана и ужесточением требований к чистоте продукта появилась необходимость создания установки непрерывного действия, обеспечивающей получение продукции квалификации ”чда[и] и "сц"*. Требования производства были полностью удовлетворены путем создания трехколонной установки непрерывной азеотропной ректификации диоксана (использованы колонны с кольцевыми клапанными контактными элементами). В первой колонне производится отделение азеотропа бензол-вода, во второй колонне - азеотропа бензол-диоксан (возвращается на первую колонну) и в третьей колонне диоксан отделяется от смолы и тяжелокипящих примесей. Обследование первой колонны (работающей в наиболее трудных условиях при больших колебаниях нагрузок, высоких скоростях контактирующих фаз) по вышеприведенной методике показало, что ее средняя эффективность составляет 17/23 =0,74 и колонна обладает высокой гибкостью.

Тарелки с клапанными контактными устройствами новых конструкций были использованы также при реконструкции ряда действующих колонн в других производствах основного органического синтеза с целью увеличения их производительности или улучшения качества продукции. готовой продукции. Ниже приведено только несколько примеров, характеризующих возможности новых аппаратов при различных условиях их эксплуатации. В течение нескольких лет на Карагандинском заводе синтетического каучука успешно эксплуатируется ректификационная колонна, снабженная тарелками с кольцевыми клапанами. Внедрение новой колонны в производстве дивинила по способу С.В.Лебедева позволило при ректификации углеводородов снизить потери диэтилового эфира с кубовым остатком при

работе в условиях значительно изменяющихся нагрузок. Колонна предназначена для отгонки легкой дивинильной фракции от тяжелых (C_4-C_9) углеводородов и имеет следующую техническую характеристику: диаметр - 0,5 м, высота - 7,2 м, число тарелок - 27, расстояние между тарелками - 0,2 м, число кольцевых клапанов на тарелке - 16 шт. При испытаниях колонны изменяли нагрузки на нее в 4-5 раз. Эффективность определяли по методике, изложенной выше. Для среднего флегмового числа R = 0,15 число теоретических тарелок оказалось равным 17, при этом средняя эффективность составила 0,63.

В этом же производстве эксплуатируется промышленный абсорбер с клапанными тарелками в процессе абсорбции дивинила этиловым спиртом при давлении 0,6 мПа. Диаметр аппарата - 0,6 м, высота - 15 м, количество тарелок - 30 шт. Аппарат заменяет насадочный абсорбер диаметром 1,2 м и работает первым по ходу абсорбента (последним по ходу контактного газа). Основными показателями работы аппарата являются содержание дивинила на выходе и расход абсорбента. При испытаниях изменяли нагрузку по газу в 2,5 раза. Скорость была равна в среднем 0,8 м/с , плотность орошения 45 м/ч. Испытания показали, что в случае насадочного абсорбера содержание дивинила в абгазе гораздо выше и не отличается стабильностью, в то время как в случае тарельчатого аппарата (несмотря на то, что расход абсорбента был на 1,5 м/ч меньше) содержание дивинила выдерживалось примерно постоянным.

Все изложенное в этом разделе подтверждает высокую гибкость, эффективность, интенсивность новой массообменной аппаратуры, что делает возможным ее широкое использование при реконструкции и создании новых производств с учетом обеспечения синергичного взаимодействия технологии и оборудования.

Аналогичные результаты были получены при испытании ректификационной колонны, оснащенной тарелками с двухступенчатыми клапанами, в опытно-промышленном цехе виниловых эфиров для азеотропной ректификации сырца винил-бутилового эфира. По высоте колонны диаметром 0,4 м установлены 24 клапанных тарелки с 5 контактными узлами каждая. Расстояние между тарелками 400 мм. Общая высота колонны 12000 мм.

Эфир-сырец и необходимое количество разделяющего агента - воды непрерывно подавались через подогреватель при температуре 80°С на 16 тарелку. Количество подаваемого эфира-сырца составляло 200-600 л/час и ограничивалось производительностью других технологических узлов цеха. Температура куба колонны поддерживалась в пределах 108 - 112°С, верха ?6-78°С. Полное гидравлическое сопротивление тарелки не превышало 1000 Па. Основным показателем работы колонны является концентрация винил-н-бутилового эфира-ректификата, которая на колонне с тарелками новой конструкции составляла 93-96%.

Эффективность работы тарелок оценивали по вышеприведенной методике по результатам анализа работы колонны. Определенное расчетом на ЭВМ число теоретических тарелок, соответствующее среднему флегмовому числу 2, поддерживаемому при работе колонны, оказалось равным 14,3, а средняя эффективность колонны составила 60%. Учитывая изменяющийся в широких пределах состав питания, а также склонность разделяемой смеси к

расслаиванию, следует признать полученную среднюю эффективность колонны достаточно высокой.

Клапанные тарелки с противоточными устройствами испытывались также в промышленных колоннах ректификации ацетальдегида, кротоновой фракции ацетальдегидного производства, этилацетата и др. Была показана возможность увеличения нагрузок по паровой фазе до 2,4 м/с и по жидкости до 110 м/ч и подтверждена высокая эффективность новых колонн при ректификации бинарных и многокомпонентных систем.

Коксохимическая промышленность и в настоящее время использует преимущественно колпачковые тарелки устаревших конструкций. Между тем, условия разделения, например, в сероуглеродной колонне, требуют использования контактных устройств, способных к работе в условиях высокого содержания твердой фазы, в условиях высокой инкрустации.

В толуольной и сероуглеродной колоннах цеха ректификации коксохимического производства Карагандинского металлургического комбината были испытаны клапанные тарелки с кольцевыми клапанами. При скоростях пара в свободном сечении колонны ~ 0,35 м/с значения эффективности клапанных тарелок по обеим фазам были достаточно высоки (к.п.д.= 0,6-0,8).

Целью промышленных испытаний клапанных тарелок при отгонке сероуглеродной фракции от смеси БТКС было определение целесообразности использования их при переработке загрязненных продуктов, содержащих твердые частицы. Сероуглеродную колонну диаметром 1200 мм с колпачковыми тарелками обычно отключают для очистки от загрязнений не менее двух раз в год. За это время паровые патрубки и колпачки покрываются слоем плотного осадка толщиной от 2 до б мм, а полотно тарелки - до 10-20 мм. Испытываемая клапанная тарелка была снабжена двумя типами клапанов - дисковыми и кольцевыми балластовыми и установлена ниже ввода питания в месте наибольшей забивки колонны. Через б мес работы было проведено первое контрольное вскрытие колонны. Клапанная тарелка оказалась незагрязненной, в то время как колпачковые тарелки были забиты твердым осадком.

Забивка колпачковых тарелок, по-видимому, обусловливается наличием на них сравнительно большой поверхности, не омываемой жидкостью и являющейся вследствие этого местом образования центров осмоления, кристаллизации и полимеризации. Поверхность соприкосновения клапанов с паром незначительна, и поэтому вероятность образования осадка на них уменьшена. Кроме того, на клапанных тарелках жидкость более турбулизовэна за счет улучшения условия парораспределения и динамической работы клапанов, сообщающих низкочастотные пульсации пазрожидкостному потоку, и вероятность образования осадка на полотне тарелки также уменьшается. Это подтверждает данные двухлетних наблюдений за работой испытываемых тарелок в сероуглеродной колонне коксохимического производства, в течение которых полотно тарелки и клапаны оставались незагрязненными.

Контрольные вопросы по главе 8.

1. Какие направления совершенствования массообменной техники вытекат из системного анализа процессов массооьмена?
2. За счет чего происходит саморегулирование свободного сечения массообменных тарелок с клапанными контактными устройствами?
3. Почему клапанный элемент совершает постоянные колебания относительно положения равновесия?
4. Можно ли управлять колебаниями клапана? От чего они зависят?
5. Почему клапанные тарелки обладают свойством адаптивности?
6. Почему клапанные тарелки имеют повышенную эффективность?
7. Отчего “блуждает” факел газа , истекающего из-под клапана?
8. Кто такой Клаус Хоппе? Чем интересно его состязание с украинскими специалистами?
9. Какие вы знаете пульсационные аппараты? В чем их преимущества?
10. Какая связь между адаптивностью и спонтанніми колебаниями клапанов?
11. Какая частота колебаний клапанов является оптимальной?
12. Сопоставьте характерстики клапанных тарелок с другими барботажными тарелками.
13. По каким признакам классифицированы клапанные контактные устройства?
14. Какие три режима истечения газа из-под клапана вам известны?
15. Какие направления совершенствования конструкций адаптивных клапанных контактных устройств разработаны учеными кафедры ОХВ УДХТУ?

Литература

1. А. с. 212987 СССР, МКИа ВО1D3/30. Контактное устройство.
3. А. с. 295314 СССР, МКИ9 ВО1D 53/20. Насадка.
4. А. с. 338231 СССР, МКИ2 В01D 3/30, Клапанная тарелка.
5. А. с. 345926 СССР, МКИ2 ВО1D3/30, Контактный элемент,
6. А. с. 355963 СССР, МКИ2 ВО1D3/32, Способ осуществления массообмена в магнитном поле
7. А. с. 413953 СССР, МКИа ВО1D3/30, Контактный элемент противоточной клапанной тарелки.
8. А. с, 416070 СССР МКИ2 ВОl D 3/30. Массообменная тарелка.
9. А. с. 423431 СССР, МКИ2 В01D 3/30. Клапанная тарелка.
10. А. с. 424575 СССР. МКИ2 ВО1D 3/30. Контактная Тарелка.
11. А. с, 439298 СССР, МКИ3 ВО1D 11/04, Насадка для Экстракционных аппаратов.
12. А. с. 446283 СССР, МКИ3 ВО1D 3/20. Контактное устройство,
13. А. с 454034 СССР, МКИ3 ВО1D3/30. Клапанная тарелка.
15. А. с. 476882 СССР, МКИаВ01D 3/32, Аппарат для проведения массообменных и реакционных процессов,
17. А. с. 503586 СССР, МКИЙ ВО1D 53/20. Регулярная насадка для тепломассообменных аппаратов.
18. А. с. 50734] СССР, МКИ4 ВО1D 53/20. Насадка.
20. А. с- 521117 СССР, МКИ2 ВО1D 3/30. Клапанная тарелка.
21. А. с, 26375 СССР, МКИа ВО1D 53/20. Регулярная насадка для тепломассообменных аппаратов.
22. А, с. 535798 СССР, МКИ2 С07С 101/08. Способ получения ß-аланина,
23. А. с 541480 СССР, МКИ2 В01D 3/20. Тепломассообменный аппарат
24. А. с. 550376 СССР, МКИ2 С07С 31/16, Способ получения бензинового спирта.
25. А. с. 556826 СССР, МКИа ВО1D 53/20. Регулярная насадка.
26. А. с. 563997 СССР, МКИ2 ВО1D 53/20. Регулярная насадка.
27. А. с. 567453 СССР, МКИ4 ВО1D 3/00. Способ проведения массообменных и реакционных процессов,
28. А. с. 570369 СССР, МКИ! ВО1D 3/30. Контактное устройство.
29. А. с. 571281 СССР, МКИ2 ВО1D 3/30. Клапанное контактное устройство.
31. А. с. 580867 СССР, МКИ 3 ВО1D 3/30. Тарелка.
32. А. с, 581951 СССР, МКИ3 ВО1D 3/30. Способ взаимодействия гада с жидкостью.

33. А. с. 584865 СССР, МКИа ВО1D 3/30, Контактное устройство.
34. А. с. 592420 СССР, МКИ2 ВО1D 3/30. Контактный элемент массообменной тарелки.
35. А. с. 601015 СССР, МКИ2 ВО1D/30. Контактное устройство,
36. А. с. 603390 СССР, МКИ3 ВО1D 3/30. Колонный аппарат для проведения тепломассообменных и реакционных процессов,
37. А. с. 6116332 СССР, МКИ* ВО1D 3/30. Контактное устройство.
38. А. с. 626786 СССР, МКИ2 ВО1D 3/30, Тепломассообменный аппарат.
39. А. с. 636004 СССР, МКИ2 ВО1D 3/30, Контактная тарелка
40. А. с. 643166 СССР, МКИ2 ВО1D 11/04. Способ проведения массообменных процессов, преимущественно процессов экстракции, растворения и выщелачивания,
41. А. с. 644516 СССР, МКИ2 ВО1D 53/18. Ороситель для тепломассообменных аппаратов.
42. А. с. 659165 СССР, МКИг ВО1D 3/30. Массообменная тарелка.
45. А. с. 665962 СОСР, МКИЗВО1D 1/Е0. Способ экстракции.
46. А. с. 670306 СССР, МКИ3 ВО1D 3/30. Клапанное контактное устройство.
47. А, с. 671826 СССР, МКИ2 ВО1D 3/30. Контактное устройства.
48. А. с. 683758 СССР, МКИ3 ВО1D 3/30. Тепломассообменный аппарат,
49. А. с, 729237 СССР, МКИ3 СИ В 1/10. Способ дистилляции масляных мисцелл.
50. А. с. 71191 СССР, МКИ- В01Р 7/22. Устройство для перемешивания жидкости.
51. А. с. 793620 СССР, МКИ4 ВО1D 3/30, Тепломассообменный аппарат.
52. А. с. 799775 СССР, МКИ2 ВО1D 3/30. Контактное устройство.
53. А. с, 799794 СССР, МКИ2 ВО1D 3/30. Абсорбер.
54. А. с. 806048 СССР, МКИ2 ВО1D 1/22. Пленочный секционный испаритель.
56. А, с. 835456 СССР, МКИа ВО1D 3/30. Тепломрссообменный аппарат.
57. А. с, 841632 СССР, МКИ2 ВО1D 3/30, Массообменная тарелка.
58. А. с, 844115 СССР, МКИЗ ВО1D11/00. Способ экстрагирования из твердых тел.
59. А. с. 865307 СССР, МКИ2 ВО1D 11/04. Способ массообмена газа с жидкостью.
60. А. с. 874142 СССР, МКИЗ ВО1D 3/30. Абсорбционная колонна.
61. А, с. 880437 СССР, МКИЗ ВО1D 3/30, Контактное устройство.
64. Астарита Дж. Массопередача с химической реакцией, Л, : Химия, 1971,-224 с.
66. Городецкий И, Я. Васин А, А., Олевский В, М. Вибрационные массообменные аппараты. — М.: Химия, 1980, — 100 с,
68. Данквертс, Газо-жидкостные реакции, — М.: Химия, 1973,- 296 с,
69. Джефферс Дж. Введение в системный анализ: Применение в экологии, — М, Мир, 1981. —256 с,
70. Дитрих Я- Проектирование и конструирование; Системный подход; Пер. с польск, — М.: Мир, 1981, — 456 с.
71. Задорский В. М. Интенсификация газожидкостных процессов в химической технологии, — Киев: Техника, 1979. — 198 с,
72. Задорский В. М., Васин Н, В. К вопросу о влиянии пульсаций газожидкостного слоя на массоотдачу в барботажной колонне, ТОХТ,1974, т. 8, № 1, с. 105—107.
73. Задорский В. М., Фокин А. П.р Яковенко М. М. К вопросу оптимального конструирования оборудования для технологических процессов получения химических реактивов. // Тр ИРЕА, выпуск 44, —М., 1982, — С. 185—200.
74. Зайцев И, Д. Теория и методы, автоматизированного проектирования химических производств. — Киев: Наукова думка, 1984. — 306 с.
75. Зайцев Я. Д, Садыга В. И, Автоматизация проектирования непрерывных производств. — Киев; Техніка, 1979. — 157 с.
80. Кардашев Г. А., Михайлов П. Е. Тепломассообменные акустические процессы и аппараты.— М. : Машиностроение, 1973,—223 с.
81. Карпачева С, М., Захаров Е. И. Основы теории и расчета пульсационных колонных реакторов. — М. : Атомиздаг, 1980.—256 с.

Глава 9. Креативность при создании технических систем.

9.1. Креативизм или кретинизм?

Беда нашей науки в том, что в самое ближайшее время процесс ее деградации будет успешно завершен из-за тотального вымирания украинских научных школ, отсутствия смены научных поколений, из-за неспособности нашей высшей школы готовить креативных молодых ученых достаточно высокой квалификации. Как оценить качество подготовки специалистов, какие критерии для этого использовать? Неужели, в самом деле, только тестирование, столь назойливо навязываемое в последнее время, спасет нас. Нет, конечно. Нужны иные подходы для развития креативности, да и, к сожалению, зачастую тесты разрабатывают преподаватели, которые просто не обучены готовить креативных специалистов требуемой для науки и производства квалификации.

А, собственно, какие качества специалиста неспособна сегодня обеспечить высшая школа? И почему так важно установить это? Дело в том, что какой Украине быть завтра, во многом определяется состоянием нашей системы образования, ее идеологией, структурным, содержательным, качественным наполнением, отсюда неслучайно проблема совершенствования системы образования становится одним из важнейших национальных приоритетов страны.

Нынешний этап развития системы образования нашей страны, подписавшей Болонскую конвенцию, характеризуется, по крайней мере, по заверениям высоких чиновников от образования, ориентацией на вхождение в мировое образовательное пространство и, как следствие, на значительные изменения в структуре и содержании традиционного для Украины образования. В наших вузах этот процесс идет очень нелегко и медленно. Сторонники вхождения Украины в Европейскую систему образования полагают, что это само по себе уже гарантирует повышение качества образовательного процесса, академической и профессиональной мобильности студентов и специалистов, решит проблему нострификации дипломов, и т.д. В самом деле, это собираются обеспечить за счет реализации нескольких основных принципов:

- Преимущественно двухступенчатое высшее образование.
- Сопоставимое качество образования.
- Использование европейской системы планирования трудоемкости образовательного процесса и оценки результатов образования.
- Сопоставимое приложение к диплому.
- Мобильность преподавателей и студентов.

А теперь попробуем найти в этих принципах хотя бы один, касающийся качества, содержания образования. Не найдем, их просто нет. Основное внимание уделено лишь планированию затрат и оценке результатов образования с помощью пресловутой тестовой системы оценки знаний, разумеется. В то же время, качество образования – это система свойств и характеристик, отражающих соответствие образования современным потребностям общества и его ценностям, а также представлениям о его будущем. Декларируемое властью инновационное развитие Украины окажется невозможным, если не обеспечить у выпускников университетов умение творчески мыслить. Для этого необходимо разрешить противоречие адаптивной сущности образования креативной сущности человека, перейти от традиционного образования (непрерывного усвоения

новых знаний и их накопления) к креативному образованию. Образование нового века характеризуется отходом от привычных моделей трансляции знаний и ”наполнения” знаниями мозгов учащихся к поиску новых концептуальных идей для реализации совсем другой стратегии (не наполнения, а развития мозга обучающегося в сторону повышения его креативных способностей, в которых столь нуждается сегодня Украина). Об отсутствии креативных способностей даже у нашей политической и управленческой элиты говорит хотя бы тот печальный факт, что за два десятка лет “незалежности” они так и не смогли предложить программы устойчивого или хоть какого-нибудь развития для нашей страны, не определили даже, какой строй мы строим.

Развитые государства уделяют специальное внимание образованию творческой элиты. В США есть специальная система подготовки таких кадров для всех ответственных постов, в Великобритании действует сословная форма такого образования. В Украине сложилась странная ситуация, когда система управления как бы "выталкивает" умных людей (иногда они сами не хотят заниматься управлением). Здесь стоит напомнить изречение Платона: "Умные люди расплачиваются за то, что не идут в государственное управление тем, что ими управляют дураки…" . Отсюда все чаще возникает вопрос: чему и как учить студентов для того, чтобы они, став профессионально компетентными специалистами, были реально востребованы и конкурентоспособны на рынке труда, а, главное, чтобы они были готовы к необходимости поиска нестандартных креативных решений, для обеспечения динамичного развития в эпоху рыночной экономики, профессиональному росту и профессиональной мобильности, гибкости мышления, межнациональному диалогу, толерантности и сотрудничеству.

Давайте поставим простой опыт в Интернете, использовав лучший сегодня поисковик Google. В ответ на запрос “креативное образование Украина” мы получим 750 тысяч гиперссылок. На запрос ”креативное образование Россия” мы получим примерно столько же - 755 тысяч гиперссылок. Но главное не это. В первом случае (для Украины) подавляющее большинство ссылок относится к потребности науки, производства, бизнеса в специалистах, обладающих креативным мышлением. А для России подавляющее большинство ссылок относится к методике и новым формам креативного образования. И вот это вызывает серьезную обеспокоенность. Видимо, наша высшая школа пока не занялась всерьез этой проблемой, а потребность рыночной Украины в ее решении велика. С одной стороны наиболее, как сейчас модно говорить, “продвинутые” преподаватели учат студентов творчеству постоянно: при решении задач, в деловых играх, на личном примере и т.д., поэтому в специальном курсе обучения творчеству, вроде, и нет необходимости. Другие считают, что творчеству вообще нельзя научить. По словам Рассела Акоффа, американского ученого в области исследования операций и системного анализа, "что касается смелости принятия решений и творческого подхода к решению проблем, то большинство преподавателей считает эти качества врожденными и поэтому убеждено, что их нельзя ни привить, ни "усвоить". И, наконец, большие потоки студентов в наших аудиториях не оставляют места для творчества ни студенту, ни преподавателю. В то же время, для выпускника вуза сегодня недостаточно иметь хорошие знания по общим и профессиональным дисциплинам и даже умение аналитически мыслить. Необходимо умение творчески переосмыслить полученные знания, генерировать эффективные идеи в нестандартных ситуациях.

9.2. Зачем нам креативное образование?

При нынешнем динамичном развитии мира часто усвоение накопленного другими опыта и знаний становится почти бесполезным во многих профессиональных областях. Объем знаний сейчас таков,

что усвоить их даже частично уже невозможно, тем более, что количество информации, по некоторым оценкам, увеличивается каждые десять лет вдвое. Любой участник образовательного процесса, будь то преподаватель или студент, не может освоить все знания даже по одной дисциплине. На встречах с выпускниками прошлых лет я часто спрашиваю, что из полученных ими знаний было востребовано в практике их инженерной деятельности. Чаще всего я слышу ответ – практически ничего. Однако те скудные навыки, которые дала высшая школа по методам решения нестандартных задач, креативным методам почти всегда были использованы. Анализ ситуации показывает, что сейчас нужно не столько что-то знать (ибо большая часть знаний быстро забывается), сколько понимать, что нужно знать для решения той или иной задачи, уметь находить ее решения, используя творческие способности или умение самостоятельного поиска необходимой информации с использованием информационных технологий и приобретения знаний. Только творчески ориентированное образование может сформировать нестандартно мыслящих людей, способных эффективно работать в самых разных областях знаний независимо от их специальности. Это особенно важно в рыночной ситуации, когда выпускник вуза зачастую не может найти работу по специальности или по разным причинам должен часто менять работу.

Важно и то, что при рыночных механизмах хозяйствования с их атакующим менеджментом и маркетингом зачастую оказывается недостаточным эволюционное постепенное совершенствование технологии и оборудования. Время, рынок, законы конкуренции часто требуют полной замены технологии и оборудования, использования революционных решений. Все чаще наши менеджеры понимают, что штопание старых дыр сегодня выгоднее заменить демонтажом старой установки и заменой ее принципиально новой с революционной технологией. Еще совсем недавно японские спецы на мой вопрос: как долго будет работать у нас их крупнейшая в мире линия по производству аммиака, ответили – примерно 7-10 лет. А что потом, спросил я. Они ответили – бульдозер и новая технология, новая установка. К тому времени будут найдены новые решения. На мое замечание, что на рубежанском ПО ”Краситель” есть технологические линии, которым более века, и где аппараты изготовлены не с использованием сварки, а еще на заклепках. И ничего, работают за счет капитального ремонта, реконструкции. Вот тогда не без раздражения японские коллеги сказали, что это экономически невыгодно, проще и выгоднее заменить старье вовремя. Кстати, те решения в химии и нефтехимии, которые пришли в последние годы в Японии, Германии, США, практически все основаны на использовании синергически совмещенных технологических процессов. Читатель, видимо заметил, что из нашего быта практически исчезли часовые и другие мастерские бытовой техники. Видимо, большинство видов бытовой техники выгоднее заменить новыми, чем ремонтировать.

Ставка на узкую специализацию высшего образования по европейскому образцу (вспомним расхожие выражения о том, что узкий специалист подобен флюсу и отличается дебильностью, так как напрочь не признает и не принимает никаких новшеств) сейчас представляется бесперспективной уже потому, что для плодотворной работы и создания чего-то нового необходимо обладать широким кругозором и уметь грамотно решать проблемы. В этом отношении представляется наиболее перспективным японский корпоративный менеджмент, где кадровые вопросы решаются в рамках ротационного механизма и специалист планово приобретает и широкий, и творчески ориентированный профессиональный кругозор.

Что бы ни говорили о привитии навыков творчества студентам, в большинстве вузов основное внимание уделяется лишь исполнительскому труду. Студентам дается слишком много узкоспециализированных сведений, которые они могут найти в книгах, справочниках, Интернете. А вот научить его нетрадиционно мыслить высшая школа как система, к сожалению, пока не может, и

творчески ориентированные выпускники - это чаще всего заслуга не вуза как такового, а отдельных преподавателей.

9.3. Как реализовать креативное образование?

Итак, человечеству нужен новый тип мышления - креативный. Формирование человека креативного типа предполагает освоение им принципиально новой культуры мышления, суть которой, в конце концов, заключается в развитии интеллекта человека с помощью нетрадиционных технологий обучения. В таких технологиях акцент делается не столько на организацию и переработку знаний, сколько на их порождение. Этот вопрос тесно смыкается с технологиями порождения интеллектуальной собственности, которые являются предметом озабоченности человечества очень давно. Таких технологий человечество придумало очень много. В качестве наиболее популярных можно назвать: метод проб и ошибок, морфологический анализ, метод контрольных списков, метод ”национальных” решений, мозговой штурм, синектикс и др. Пока трудно назвать какую-то из этих технологий, как окончательно признанную, да и трудно большинство из них рассматривать в качестве образовательных.

Мне бы хотелось остановиться именно на образовательных технологиях, направленных на развитие интеллекта и креативных способностей. Первое место среди них, несомненно, занимают игровые методы. Едва ли не самыми популярными являются телепередачи с интеллектуальным наполнением ”Самый умный” Тины Канделаки, ”Кто хочет стать миллионером”, ”Клуб веселых и находчивых”, ” Брейн ринг ” и некоторые другие. Но, странное дело, все эти популярные передачи отражают (и, часто, развивают) лишь наполнение и быстроту работу памяти человека, в лучшем случае, его аналитические, но отнюдь не креативные способности.

Среди деловых обучающих игр можно отметить особый вид игр с будущими инженерами, которыми одно время часто увлекались в технических вузах - игры по принятию решений по совершенствованию техники. Основными этапами такой игры, фактически являющейся вариантом мозгового штурма, являются:

- Погружение в проблему.
- Формирование команд генераторов и критиков – экспертов идей. Это один из наиболее важных этапов деловой игры, ибо многое зависит от психологических особенностей игроков.
- Получение начальной информации о проблеме и постановка задачи.
- Генерирование вариантов решения задачи группой генераторов (с обязательной фиксацией автора того или иного варианта видеосъёмкой, диктофонной или простой записью). Этот этап характеризуется наибольшим эмоциональным накалом, но особенностью мозгового штурма является то, что споры, дискуссии, столкновение мнений и, вообще, всякая критика на этом этапе запрещены. Все это проводится другими экспертами на следующем этапе игры.
- Экспертиза предложений, отбор оптимальных, выработка рекомендаций по реализации. Многолетний опыт автора показывает, что этот метод работает и является методологически чрезвычайно эффективным в сравнении с другими методами лишь в том случае, если рассматривается сложная, но близкая, понятная всем участникам проблема. К примеру, трудную проблему оптимизации технологии обработки капиллярно – пористых тел автор рассматривает со

студентами этим методом на примере обеспечения наиболее полного извлечения компонентов кофейного напитка из кофейных зерен. И все же деловые игры и даже мозговой штурм – это не столько методы поиска креативных решений, сколько методы активизации деятельности мозга человека по перебору вариантов решения задачи, то есть вариант все того же метода проб и ошибок.

9.4. Еще о методах поиска креативных решений.

Рассмотрим некоторые современные методы поиска креативных решений на примере наиболее близкой мне химической технологии. Современный химический инжиниринг (под инжинирингом сегодня понимают единство оборудования и технологии процессов, которые в этом оборудовании совершаются, ибо разорвать их при креативном подходе просто невозможно) основан не только и не столько на дизайне современной химической технологии, но и на искусстве выбора оптимального оборудования и методов воздействия на объект на базе системного анализа с его синергичным подходом. Прежде, чем рассказать об этом искусстве и его методах реализации, остановимся на двух других современных подходах к креативному творчеству. Наиболее существенным достижением в решении проблемы повышения эффективности креативной деятельности является теория решения изобретательских задач (ТРИЗ), разработанная Г.С.Альтшуллером (которого люди постарше помнят как хорошего детского писателя Генриха Альтова). Он попытался формализовать процесс творчества, отталкиваясь от идеи устранения технических противоречий, и показал, что для устранения примерно полутора тысяч наиболее часто встречающихся технических противоречий имеется 40 наиболее сильных приёмов, дающих эффективные решения, а также разработал специальную таблицу, где по вертикали расположил характеристики технических систем, которые необходимо улучшить, а по горизонтали - характеристики, которые при этом недопустимо ухудшаются. На пересечении граф таблицы он указал номера приёмов в его специально созданной базе данных, которые с наибольшей вероятностью могут устранить выявленное техническое противоречие.

В настоящее время уже ученики и последователи Г.Альтшуллера ведут активные работы по дальнейшему совершенствованию ТРИЗ, связанные, в основном с разработкой компьютерных программ, помогающих изобретателю анализировать исходную ситуацию и находить в диалоговом режиме необходимые физические явления, типовые и стандартные решения изобретательских задач. Ещё в 1979 г. Г.С.Альтшуллер писал: "ТРИЗ пока не осиливает некоторые классы задач (получение новых веществ, выявление оптимальных режимов работы и т.п. Со временем и эти задачи окажутся под силу ТРИЗ, здесь нет принципиальных затруднений". Однако этому пророчеству не суждено было осуществиться. Я имел удовольствие познакомиться с этим очень интересным человеком на семинаре в Днепропетровске примерно в это же время. Тогда у меня уже было примерно сто изобретений и патентов, связанных с химическим инжинирингом. Я поинтересовался, сколь успешен личный вклад Г.Альшуллера в создание интеллектуальной собственности. Он ответил – около десяти изобретений. И вот тогда я спросил, достаточно ли хорош и универсален ТРИЗ, если, руководствуясь альтернативным подходом (о нем позже), я создал примерно в 10 раз больше инновационных решений. Ответ меня удивил – кто мешает вам защищать ваши подходы? Почему сегодня ТРИЗ не вытеснил с рынка технологий креативного творчества другие подходы? Видимо, формализовать с помощью ТРИЗа можно лишь наиболее простые задачи. Но есть принципиальные различия между такими техническими задачами, суть которых сводится к поиску технических противоречий и выбору одного из множества известных

способов их преодоления, и технологическими задачами (к примеру, получение новых веществ и выявление оптимальных режимов работы при разработке новых и совершенствовании действующих технологических процессов, создание принципиально новых технологий не только новых, но и известных веществ), для решения которых нужно владеть другими методиками, обладать определёнными знаниями и, прежде всего, креативными способностями.

9.5."Знание - это набор моделей окружающего нас мира" [1]

Из приведенного в подзаголовке выражения можно сделать вывод о том, что столь модное сегодня моделирование может обеспечить генерирование новых знаний и решать креативные задачи. Так ли это? С коллегами ”моделировщиками” у меня было много дискуссий о том, является ли модель лишь отражением существующего объекта и тогда вряд ли она может быть основным источником креативного решения. Или можно создать креативную модель для несуществующего еще объекта. Четкого ответа от них мне пока получить не удалось. Мало того, когда я попытался разобраться с результатами использования математического моделирования для целей обычной оптимизации промышленных объектов, обнаружил, что реальных успешных пилотных проектов – раз – два и обчелся. Больше разговоров по поводу… Специалисты поймут меня, больше всего моделей ”разговорного жанра” (описательных, не количественных, без намека на практическое использование). Большинство ”моделировщиков” и не скрывают особенно, что формальные модели ”в общем виде” без попытки раскрытия функциональной зависимости и практического использования нужны им лишь для украшения статьи, диссертации и др. Одним словом ”они хочуть свою образованность показать…”. Объясняют это тем, что: "Процесс построения математических моделей не является формализованным. Он всегда содержит предположения, расчеты на их основании и сравнение с накопленной информацией" [2].

И все же в последнее время появились попытки получить необходимую для создания креативных решений информацию об изучаемой системе и решения главной задачи искусственного интеллекта - с помощью формальных процедур (т.е. без участия экспертов) по имеющимся экспериментальным данным генерировать новые, не известные ранее специалистам системные знания о закономерностях, связывающих её входные и выходные переменные. Для решения этой задачи украинским профессором М.Д.Кацем предложена Интеллектуальная технология изучения и совершенствования сложных систем (ИТИСС) [http://www.mosaicportrait.co.uk] и разработан принципиально новый метод математического моделирования (метод мозаичного портрета, позволяющий на основании исходных экспериментальных данных построить адекватную изучаемой системе математическую модель и с её помощью реализовать алгоритм изобретения в технологических задачах).

Исходными данными для построения мозаичной модели является таблица экспериментального материала, каждая строка которой содержит значения входных параметров и выходных показателей в одной реализации изучаемого объекта. ИТИСС отличается от АРИЗ (алгоритма решения изобретательских задач, разработанного на основе ТРИЗ) не только областью применения (с помощью АРИЗ решаются задачи создания изобретений в технике, а с помощью ИТИСС - в технологии и науке), но и степенью формализации при постановке и решении творческих задач. ИТИСС позволяет с самого начала исследования ставить задачу корректно и решать ее с помощью формализованных процедур. Мозаичная модель решает наиболее важную задачу искусственного интеллекта - генерирование нового системного знания на базе имеющихся данных об объекте. Это новое нетривиальное знание в форме правил и гипотез применяется, чтобы решить много

практических проблем и использовать скрытые потенциалы в разнообразных областях деятельности человека, включая фармацевтическую медицинскую, финансы и управление риском, индустриальные и производственные приложения.

9.6.Немного о концепции автора.

Много лет я не без удовольствия читаю будущим специалистам – механикам курс лекций “Оптимизация химической техники”. Этот курс читается мною как чисто инженерный, является логическим продолжением курса ”Теория технических систем “ и логически предшествует двум лекционным курсам ”Глубокая очистка веществ” (речь идет об инновационной технике”) и ”Инженерно – технологический бизнес”. В целом, студент получает системное, логически завершенное знание основ креативного творчества и логически завершает обучение реальным дипломом, часто содержащим креативные решения. К чему я об этом? Вся идея заключается в том, чтобы креативное образование не осуществлять путем чтения отдельного специального курса, а чтением логически связанной цепи спецкурсов, образующих весь курс обучения креативности. Результаты оказались позитивными – у многих студентов проснулся интерес к специальности, к поиску инновационных и креативных решений. У многих этот интерес сохранился и после окончания обучения в университете.

В чем же суть апробированных мною методов креативного образования? Прежде всего, вся методика основана на знании и практическом использовании системных подхода и анализа с его синергией. Студенты не просто изучают структуру сложных систем, но и учатся приемам декомпозиции по вертикали и горизонтали, построению сетевых структур. Важно также научить студента учитывать синергичную взаимосвязь, прямое и обратное влияние различных иерархических уровней системы (интерэктность) и получение вследствие этого нового качественного и количественного результата (эмерджентность). Интересно, что студенты не сразу понимают и принимают эту достаточно сложную информацию. Помогает аналогия. Рассказываешь пересказанную мною ранее в этом пособии старую притчу о слоне. И они сразу запоминают, что по частям (более низкие иерархические уровни) получить полное представление о целом не удается. После этого все в понимании студента становится на свое место.

Однако, наиболее важно при креативном обучении студента добиться не только теоретического, но и практического освоения свойств сложных систем. Ведь именно на этих свойствах основан поиск креативных решений. К примеру, наиболее сложен для понимания и усвоения студентами принцип соответствия (мне все чаще кажется более удачным придуманное мною название “принцип гармонии”), сформулированный для того, чтобы обеспечить соответствие параметров воздействия на систему определяющим характеристикам этой системы на лимитирующем уровне (чаще всего, это амплитудно – частотные характеристики). Трудно также для студента понимание того факта, что заниматься поиском креативных решений для всех иерархических уровней – бесконечно сложная, а поэтому бессмысленная задача. Необходимо работать только на лимитирующем, определяющем уровне, определить который и является наиболее ответственной и сложной задачей креативного специалиста. Аналогии, деловые игры с постепенным усложнением помогают подготовить ту основу, без которой немыслимо креативное образование.

И, наконец, конечно же, надо обучить студента пониманию того, что только технологические решения или только совершенствование оборудования не обеспечат креативность найденного решения. Секрет успеха только в комплексном синергичном механо – технологическом подходе. Неслучайно, во многих странах мира давно перешли на подготовку специалистов по гибридной

модели. Нет ни механиков, ни технологов, а есть специалисты по технике, инжинирингу, имеющие ту и другую подготовку.

Скептики скажут – слишком просты у автора рецепты креативного образования. И все же, если использовать эти рецепты вместе с типовыми приемами и методами оптимизации (к примеру, рециркуляция реагентов, индустриальный симбиоз, совмещение процессов и др,) – успех неизбежен. Хочу показать это на простом, но достаточно наглядном примере. Деревянные шпалы, применяемые на украинских железных дорогах, служат в несколько раз меньше, чем за пределами нашей страны. Все дело в несовершенстве пропитки антисептиком. Воздух, находящийся в капиллярах и порах древесины, мешает заполнить их антисептиком. Убирают воздух за счет вакуумирования, а потом антисептик заталкивают под высоким давлением, но это приводит к необходимости использования очень дорогого автоклавного оборудования и, даже в этом случае, революционного эффекта нет. Попробуем использовать креативный подход. Прежде всего, выполним декомпозицию системы – пропиточного агрегата. Получим вертикальную цепочку: пропиточная линия - пропиточный аппарат – пакет шпал – шпала - капилляр. Все попытки найти креативное решение на верхних иерархических уровнях не приводят к успеху, пока мы не определим лимитирующий уровень и не обратимся к нему. Оказался наиболее ответственным, лимитирующим уровнем - капилляр. Убрать воздух из капилляров – достаточно трудная, но решаемая задача. Оказалось, что это можно сделать с помощью продувки аппарата перегретым водяным паром, и это не является проблемой, ибо именно такой прием используется зачастую при сушке древесины. Если после заполнения капилляров перегретым паром, затем в аппарат подают холодный пропиточный раствор, пар конденсируется, его объем уменьшается примерно в 900 раз, следовательно, в каждом капилляре образуется глубокий вакуум, который и ”засасывает” антисептик. Вакуума в аппарате нет, а в каждом капилляре – глубокий вакуум – это ли не креативное решение?! И давление в автоклаве тоже не требуется.

Конечно, коротко трудно изложить технологические приемы и преимущества предлагаемой технологии поиска креативных решений. Ограничусь только перечнем технологий, где успешно использованы подобные пропитке древесины решения: пропитка смолами углеродистой и стеклоткани при производстве корпусов ракет, пропитка катализаторов, электродов аккумуляторов, графитовых электродов сталеплавильных печей, бумаги, тканей, строительных материалов, получение композитных каркасных материалов, процессы экстрагирования и др. Думаю, список впечатляющий. Из моих более 400 изобретений и патентов более 100 можно отнести к новым технологиям, более 100 – к новому оборудованию и лишь примерно 50 как бы иллюстрируют преимущества синергии и интегрируют действительно креативные аппаратурно-технологические решения, и их можно отнести к произведениям искусства (это действительно вид искусства!) химического инжиниринга.

9.7. Нужно ли учить менеджеров творчеству?

В учебных планах менеджеров несколько лет назад появился спецкурс «Инновационный менеджмент”. Мне довелось читать его по совместительству в другом, профильном институте и пришлось познакомиться с многими литературными источниками по этому вопросу. Оказалось, что лишь небольшая часть авторов считает, что специальный курс надо посвятить теории, методологии и технологии творчества для студентов и аспирантов управленческих специальностей. Большинство считает, что учить менеджеров нужно совсем другому – реализации, как сейчас говорят, коммерциализации инновационных проектов. Кто прав? Видимо, истина где-то посредине. Нужно и то, и другое. Ведь для менеджера важно не только обеспечить ускоренную

коммерциализацию инновационных проектов, но важен также творческий подход в областях маркетинга, рекламы, торгового дела, анализа хозяйственной деятельности предприятий, выявления резервов роста, составления планов и прогнозов. Причем роль творчества в современной быстроменяющейся экономике непрерывно возрастает, что связано с несколькими факторами (динамизмом современного бизнеса; гиперконкуренцией; увеличивающимся уровнем требований потребителей; повышением роли интеллектуального ресурса в системе производства; увеличением стоимости рабочей силы и ее качества в сферах производства и бизнеса; развитием среднего и малого бизнеса и переходом от массового репродуктивного производства к мелкосерийному и индивидуализированному и др.). Сегодня на рынке побеждают те организации, которые активно развивают творческий потенциал своих сотрудников.

О том, что менеджеров нужно учить творчеству, свидетельствует опыт многих руководителей, которые понимают, что их капитал - это творческие способности и идеи персонала, и что вложения в развитие этого капитала могут быть высокоэффективны. Итак, творческие способности - главный фактор повышения эффективности человеческого капитала и этот ресурс можно рассматривать как неисчерпаемый. Учить творчеству, как рассуждал еще А. Маслоу, нужно в том смысле, чтобы обучаемые не боялись перемен, были готовы принять новое и, более того, его приветствовать. Видимо, настала пора преобразовать курс ”Инновационный менеджмент” в специальный курс, который может называться, например, “Креативный менеджмент” и ориентирован на решение задач на развитие воображения; проведение тематических деловых игр с использованием методов синектики, ТРИЗ, мозгового штурма, морфологического анализа и др.; решение конкретных задач в областях рекламы, управления, бизнеса; использование программных средств поддержки творческих решений, т.е. такой курс должен позволить студенту овладеть мощным инструментарием для интенсификации творчества. Вот тогда в секретариате нашего Президента перестанут искать кадры среди выпускников престижных западных университетов.

9.8. Формирование креативного мышления системными методами.

Когда я смотрю развивающие детские телепередачи ТВ типа "Самый умный", я восхищаюсь не только талантом авторов и ведущих, но, прежде всего, восхищаюсь потрясающе прекрасными детьми разных народов бывшего Союза, которые остались сегодня нашей единственной надеждой на то, что мы когда-то выберемся из той трясины, в которую сами себя затащили. Однако, вот что все время мучает меня. Авторы этой и подобных передач ошиблись, выбирая название для нее. К уму то, что мы видим, не имеет никакого отношения. Произошло смещение понятий. Я бы переименовал передачу в "Самый памятливый" или, в крайнем случае, "Самый эрудированный". Ведь тестируются именно эти качества ребят, а уж никак не ум. По Википедии: ум - это познавательные и аналитические способности человека, эрудиция - глубокие всесторонние познания, широкая осведомленность. Нам, конечно, позарез нужны эрудированные ребята и поэтому подобные передачи крайне необходимы. Честь и хвала авторам! Но еще острее мы чувствуем сегодня недостаток, практически отсутствие, креативных специалистов. Ведь креативность опять же по Википедии – это "творческие способности индивида, характеризующиеся готовностью к созданию принципиально новых идей, отклоняющихся от традиционных или принятых схем мышления и входящие в структуру одаренности в качестве независимого фактора, а также способность решать проблемы, возникающие внутри статичных систем". Сейчас в смутные времена перестроек, реформ, всяческих потрясений и революций именно наличие креативных людей является основным условием успеха.

С учетом моего опыта в изобретательстве, прежде всего, связанного с совершенствованием химических производств, я попытался реализовать свой путь решения задачи подготовки креативных специалистов в короткие сроки. Попытаюсь дальше без рекламы изложить суть моих методических изысканий. А суть в том, что предложено формировать креативное мышление системными методами, опираясь, прежде всего, на те же средства и методы синергии, а не путем бестолкового перебора вариантов или построения всяческих морфологических ящиков. То, что предлагается, ближе всего к "синектиксу ", не так давно придуманному американцами, также основанному на синергическом объединении (думаю, совпадение начала названий “сине…” также не случайно) в креативной группе людей различной специальности, темперамента, склада мышления с предшествующей психологической подготовкой к тесному синергическому сотрудничеству в поисках инновационных и эффективных решений. Принципиальное отличие - в том, что предложено не только использовать всяческие аналогии, но и достаточно строгие законы системного анализа, синергии и теории принятия решений. Этого не преподают в учебных заведениях, но без этого, невозможно грамотно применять полученные знания. В самом деле, разработанный подход предназначен для молодежи, которая определяет свою роль и место в нашем непростом мире, и может пригодиться работникам среднего, профессионального и высшего образования, тяготеющим к креативному образованию, но не определившим пока метод, который позволит им обеспечить синергичное объединение особенностей личности, полученных знаний и системного подхода с творчеством, граничащим с искусством. Только такое воссоединение способно обеспечить светлое креативное будущее обучаемого. Итак, я пытаюсь активизировать и развивать креативные возможности личности молодого человека, научив его навыкам системного мышления.

Попробуем разобраться, чему необходимо обучить алчущего креативности молодого человека, чтобы у него все же сформировались хотя бы основы креативного мышления. И какой алгоритм работы можно ему предложить? Попробую быть телеграфно краток. Главные блоки, которые он должен понять и принять, это:

1. Концепция устойчивого развития. Экономические, социальные и политические проблемы Украины и креативные методы реформирования страны. Национальная идея страны и стратегия развития региона.
2. Обзор методов поиска оптимальных решений и анализ примеров их использования.
3. Теория и практика, средства и методы системного анализа и синергии.
4. Тактика поиска креативных решений на основе системного анализа. Научиться решению практических задач по поиску креативных решений в науке, технике, экономике.
5. Использование современных информационных технологий при креативном обучении и при решении практических задач.
6. Ознакомление с современными организационными и методическими средствами и методами обеспечения креативного образования в Украине, что позволит сформировать конструктивные предложения по их совершенствованию.

9.9. Мозги на продажу.

Раскопал случайно в своем компьютере мое интервью более, чем десятилетней давности. Прочитал и удивился тому, что проблема, о которой шла речь, осталась и стала даже более актуальной. В связи с независимостью нашей страны, присвоением ей статуса страны с рыночной экономикой, а также в связи с нашими экономическими, социальными и даже политическими реалиями, у проблемы появились совершенно новые аспекты. Итак, о чем шла речь в интервью.

В мире очень много денег Их нужно только уметь взять. Нужна система привлечения иностранных инвестиций в наш средний бизнес. Средний и малый бизнес -- между прочим, основа экономически развитых стран -- у нас не развивается. Вроде бы приезжают делегации из-за рубежа, вроде бы и деньги предлагают -- сами! Но до реализации совместных проектов дело доходит редко. Почему? Причина в том, что у нас неправильно поставлена работа с потенциальными инвесторами. От нашего подхода к ней выгоду имеют только фирмы, которые за солидную плату -- от 1 до 5 тысяч долларов-- составляют бизнес-планы. Чиновники требуют их от предпринимателей, жаждущих инвестиций. Но... Они никому не нужны. Хотя бы потому, что привлечение инвестиций не начинается с бизнес-плана, а заканчивается им. Кстати, во всем мире бизнес-план заказывает и оплачивает не тот, кто просит деньги, а тот, кто их дает.

Так какая же информация нужна западному дяде с чемоданчиком купюр? Я узнал это, когда по договоренности с американцами - создателями сайта "Украинский бизнес" начал размещать там web - странички предприятий Днепропетровщины и их инвестиционных проектов. Во-первых, западного инвестора интересуют сведения о производственных площадях, качестве и возрасте оборудования (чаще всего именно об этом наши скромно умалчивают), транспортных коммуникациях вокруг него. Во-вторых, ему нужно предоставить проект, под который вам нужны деньги. А с проектами напряженка. Ведь как бывает? Приезжают в Днепропетровск итальянцы и собираются подарить $6 млн. на решение экологических проблем города, а наши на эти деньги предлагают провести экологический мониторинг, чем несказанно удивляют итальянцев. Инвестиции в город не попадают.

Проект еще надо уметь преподнести, Ни один проект для среднего бизнеса на Западе не воспринимают серьезно, если в нем нет научного новшества или технологического ноу-хау. Причем, вы должны еще сообщить инвестору, как ваше открытие можно "коммерциализировать". Причем иногда не внедрять открытие в производство куда выгоднее! Скажем, изобрел я новую технологию обработки материалов под высоким давлением, которая позволяет обходиться без автоклавов. Ее с удовольствием купят не потребители, а ... производители автоклавов, чтобы не модернизировать производство.

Но и это еще не все тонкости. Западный инвестор заинтересуется вашим ноу-хау, только если оно никогда не было запатентовано в Украине. Дело в том, что патентование в Украине обрезает открытие путей для его коммерческого использования за рубежом. Мы гордимся тем, что какое-то ноу-хау запатентовано у нас. А они говорят: раз запатентовали, у себя и пользуйтесь! На Западе готовы покупать патенты на разработки украинских ученых. И надо их продавать! Только не тайно, как сейчас, за жалкую тысячу долларов, а открыто. Непатриотично, говорите? Ничего подобного, ведь тот же ученый получит, скажем, полмиллиона, из которых 30--40% отдаст в бюджет. Или патриотичнее запатентовать открытие, но не отдать никому и самим не воспользоваться? Государство пока что почему-то не приватизировало наши мозги, поэтому ими можно и нужно торговать.

Вот и все, что я тогда наговорил. Со многим сегодня можно поспорить. Но проблема невостребованности интеллектуального продукта не просто осталась актуальной, она стала кричащей. Разработки наших "дынеголовых" ученых, изобретателей, просто творческих людей, количеством которых всегда гордилась наша страна, оказались ненужными ни нашим олигархам, ни среднему и малому бизнесу, ни западным инвесторам, ни нашим нуворишам, которые над златом чахнут. Все наиболее ценные разработки, прежде всего связанные с военной техникой, давно выкачаны из страны. Для этого не потребовались ни хитрый промышленный шпионаж, ни

средства на покупку лицензий. Их просто внаглую скупили с потрохами за бесценок напрямую или с "помощью" различных сомнительных зарубежных фондов и центров типа УНТЦ. Самое страшное, что новые разработки современного уровня перестали появляться ввиду кризиса вконец обветшалой науки и некреативного образования. А без инновационного наполнения невозможно преодолеть тот системный кризис, в котором сейчас мы находимся.

Думаю, одной власти с проблемой не управиться. Тогда не будет у нас расцвета науки в ближайшие годы, и с этим надо будет примириться. Проблему можно решить, только используя коллективный разум народа. Предлагаю сделать первый шаг - поскрести по сусекам нашего несложившегося до конца инновационного рынка. Если всерьез, надо пересмотреть наши нереализованные проекты прошлых лет высокой степени готовности, которые еще могут быть востребованы на рынке инвестиций и лечь в основу рождения нового для нашей страны технологического бизнеса . Мы на кафедре оборудования химических производств Украинского химтехуниверситета недавно провели ревизию наших разработок двадцатилетней давности. Оказалось, что многие из наших нереализованных или частично реализованных проектов высокой степени завершенности (примерно 500 изобретений и патентов!) не просто не остались за бортом технического прогресса, а даже стали более актуальными, увеличили свою стоимость на рынке интеллектуальной продукции. Причина в том, что сегодня рынок воспринимает в первую очередь наиболее простые, дешевые, высокоэффективные разработки, которыми всегда славились украинские умельцы, и с трудом принимает помпезные, дорогие, громоздкие энерго - материалоемкие современные инновации. Деньги счет любят! А мы - на рынке!

Как об этих работах узнает инновационный рынок? Информация о научно- технических разработках на бумажных носителях сегодня практически отсутствует и малоэффективна. Выставки эффективны только для их организаторов, ибо они мало посещаются специалистами и потенциальными инвесторами, и на них эффективные разработки обычно не выставляются. Научные симпозиумы на фешенебельных курортах стали сегодня лишь престижной формой отдыха для богатых, которых инновационные проекты мало интересуют. Рынок технологического бизнеса не появился и не появится сам по себе ни с того, ни с сего. Для этого нужно хотя бы сформировать кластеры и вырастить своих "бизнес - ангелов".

Коллективно мы придумали начать с небольшого, непомпезного, но, на наш взгляд, конструктивного проекта - провести узкую профессиональную конференцию (не путайте с "корпоративчиком" на лоне природы) для тех, кому необходимы наши инновационные "ретропроекты". Чтобы отсеять случайных участников, мы сознательно придумали строго деловое название мероприятия, четко отражающее его сущность "Инженерные средства и методы оптимизации химических производств".

Дальше, приглашены ключевые докладчики и подготовлены доклады обзорно - проблемного характера по наиболее перспективным направлениям. Дальше рискну дать только один абзац, требующий от читателя некоторых инженерных знаний. Будем честными, сегодня, когда не работает большинство химических производств основной химии, производств химических реактивов и особо чистых веществ, лекарственных препаратов и др. нет ни времени, ни возможности заниматься лабораторными и промышленными экспериментами, и традиционным математическим моделированием. Без оптимизации запускать наши морально и физически погибшие производства бессмысленно, ибо они неконкурентоспособны. Строить новые производства по старым технологиям и со старым оборудованием также бессмысленно. В то же время, у нас на кафедре достаточно успешно были отработаны и реализованы инженерные методы

оптимизации, основанные на системном анализе и синергии, новых режимно - технологических методах оптимизации (совмещение технологических процессов, системный подход к оптимизации, реакционно - разделительные процессы, гетерогенизация жидкостей, использование колебаний и внешних полей, химическая рециркуляция и др.), новых аппаратурно - конструктивных средствах оптимизации (взаимная эжекция фаз, повышение гибкости оборудования и технологий, многократная инверсия фаз, продольное и поперечное секционирование, автоколебания, блочно - модульный принцип конструирования, синергетические средства энергосбережения и др.). Вот на их базе, с учетом высокого уровня гибкости разработанной новой техники, стоит начинать решение этой проблемы.

В связи с приходом в нашу жизнь рынка возникла также острейшая необходимость обсудить современные средства технологического бизнеса и коммерциализации инновационных технологий и оборудования химических производств (диверсификация и реструктуризация химических производств, микрокластерный подход к технологическому бизнесу, повышение инвестиционного климата химических предприятий, эффективные методы инновационного и инвестиционного менеджмента с использованием рыночных механизмов хозяйствования и др.).

И, наконец, в рамках этого проекта мы предложили организовать первую в Украине Ярмарку индустриально - аграрного симбиоза (ИАС). В ходе мероприятия будут рассмотрены научно-практические аспекты концепции ИАС, предложены к обсуждению конкретные проекты, разработанные химиками для агропромышленного комплекса. К участию в ярмарке собираемся пригласить разработчиков и потенциальных потребителей инновационной продукции, потенциальных инвесторов, субъектов рынка технологического бизнеса.

Хотим, чтобы на этой встрече субъектов рынка технологического бизнеса не ограничивались научными и околонаучными разговорами, а искали реальные пути решения задач возрождения химической промышленности и помощи агропромышленному комплексу. Без этого просто невозможно выйти из глобального кризиса Украины и обеспечить устойчивое развитие нашей страны. Созрела ли Украина для такого подхода, не знаю. Не уверен…

9.10. Синергическая концепция креативности.

Современный инжиниринг основан не только и не столько на дизайне современной технологии, сколько на искусстве выбора оптимального оборудования и метода воздействия на систему. Делать это необходимо на базе системного анализа, синергии, концепции устойчивого развития и использования современных информационных технологий. А решить тот или иной конкретный вопрос только за счет технологии — даже самой передовой — попросту невозможно.

В этой главе я писал уже о креативной подготовке инженера, о важном значении не только его базовой, теоретической подготовки, но и привития ему навыков разработки и проведения экспериментов для всестороннего изучения объекта и, главное, поиска путей его совершенствования, правильнее, оптимизации. В заключение этой, получившейся очень длинной, главы, отмечу, что без решения научных проблем оптимизации химических производств невозможно выйти из глобального кризиса Украины и обеспечить устойчивое развитие нашей страны. Сегодня, когда не работает большинство химических производств основной химии, производств химических реактивов и особо чистых веществ, лекарственных препаратов и др., без оптимизации запускать наши морально и физически погибшие производства бессмысленно, ибо они неконкурентоспособны. Создавать новые производства по старым технологиям и со старым оборудованием также бессмысленно. В то же время, учеными достаточно успешно отработаны, а

часто и реализованы инженерные методы оптимизации, основанные на системном анализе и синергии, использующие новые режимно - технологические и аппаратурно - конструктивных средства оптимизации. Наиболее перспективными концепциями оптимизации при этом признаны комплексный и системный подходы. Они обеспечивают *синергическое единство режимно – технологических методов оптимизации (совмещение технологических процессов, системный подход к оптимизации, совмещение процессов, реакционно – разделительные – асинергичные процессы, гетерогенизация жидкостей, использование колебаний и внешних полей, химическая рециркуляция, циклические режимы, использование межфазных режимов,использование инверсии фаз и др.) и аппаратурно – конструктивных методов оптимизации (взаимная эжекция фаз, повышение гибкости оборудования и технологий, многократная инверсия фаз, продольное и поперечное секционирование, использование автоколебаний и блочно - модульного принципа конструирования, синергетические средства энергосбережения).*

Написанное в этой главе позволяет мне сформулировать главную концепцию креативности, на которой зиждутся все мои ”заслуги” в создании новых и совершенствовании действующих технических систем (ТС), прежде всего, химико- технологических систем (ХТС). Уверен, этот подраздел вызовет активную реакцию даже у самых пассивных и равнодушных читателей. По крайней мере, острую дискуссию по этой концепции креативности могу гарантировать.

Дело в том, что все упомянутые выше (и неупомянутые тоже) креативные методы основаны чаще всего на случайном поиске инновационных решений. Вспомните хотя бы метод проб и ошибок (поиск иголки в стоге сена), всяческие опросники Осборна и др., морфологические ящики, мозговые штурмы и т.д. Во всех этих методах существовал какой-то вектор поиска, направленный в неизвестном направлении. Чаще всего он вращался по кругу и лишь случайно ”натыкался ” на инновационное решение.

Нашумевший и пока очень успешный американский синектикс пытается навести порядок в выборе направления поиска, опираясь на аналогии, придуманные матушкой –природой, занимаясь плагиатом (не побоюсь этого слова) у нее, родимой, наиболее гениальных, отработанных тысячелетиями решений (вспомните хотя бы форму носовой части у современных самолетов, уж больно тщательно уворованную с формы головы акулы).

Переворот в сознании изобретателей совершил автор ТРИЗа – АРИЗа Г.С.Альтшуллер, впервые обративший внимание на то, что в любой технической системе существует диалектическое противоречие между наиболее важными ее сторонами. Возьмите хотя бы поиск решения трудной задачи – устранения противоречия между мощностью и весом двигателя в самолете, танке, автомобиле – в любой машине. Ведь, устранению именно этого противоречия посвящены работы тысяч изобретателей уже много десятилетий. Но задумаемся на минуту, ведь вся концепция гениального мыслителя Г.С.Альтшуллера основана на разрушении, преодолении, устранении, уничтожении этого противоречия. В то же время, опыт человечества учит тому, что наиболее успешными являются не концепции разрушения, войны, устранения, а концепции созидания, единения, сотрудничества, синергии.

Вот и пришли к моему творческому кредо. *Во всех моих 400 – 500 изобретениях и патентах (давно не пересчитывал) в основу положена не технология случайного поиска и не идея выявления, а затем устранения (разрушения, преодоления, уничтожения) противоречий, а концепция определения возможностей и реализации идеи объединения, взаимодействия, усиления гармонии наиболее важных для ТС подсистем, прежде всего на лимитирующем иерархическом уровне на основе системного анализа и использования синергичных подходов.*

Эта концепция мною выстрадана, успешна, многократно практически реализована, и я готов к ее защите и к любым дискуссиям в этом направлении. Первая судьбоносная дискуссия по этой концепции состоялась у меня с автором ТРИЗа примерно лет тридцать назад и, похвастаюсь, в ней я не был проигравшей стороной.

9.11. Синергия креативности. Креативность начинается с системного анализа и синергии.

Может быть, кому-то из студентов показалось ненужным и неинтересным ознакомление с системным анализом и синергетическими методами современных специалистов, о которым мы уже поговорили. Разрушенные основные промышленные предприятия, нарушенные логистические связи, отмена подготовки инженеров в университетах Украины, практически уничтоженные научные подразделения в вузах, отраслевых и академических НИИ требуют проведения не той псевдореформы высшего образования, которая лишь укрепляет уже сложившийся разрыв знаменитого синергичного треугольника: «высшая школа – наука – производство", при отсутствии которого просто немыслимо подготовить креативных специалистов, способных решить задачи реанимации остановленных и зачастую полностью разрушенных предприятий, осуществить технологическое преобразование экономики страны. Здесь только системный анализ и его основное оружие – синергия смогут выступить в качестве эликсира для агонизирующей экономики. Только методы синергии смогут создать те самые кластеры "наука – образование – производство", которые способны разобраться и решить вопросы реформирования на всех лимитирующих уровнях. Ведь никому в мире пока не удалось реформировать и реанимировать энергоёмкие, морально устаревшие, а теперь ещё и разрушенные предприятия, не решив задачу подготовки креативных специалистов, не обеспечив участие высокообразованных учёных и специалистов, с хорошей креативной подготовкой.

Однако, есть в этой проблеме и вторая сторона. Знания системного анализа и синергии, их средства и методы нужны не только для восстановления системы взаимодействия и делового сотрудничества в упомянутом выше треугольнике, но и для решения конкретных проектных задач, связанных с поиском конкретных инновационных решений при выполнении конкретных проектов. В последнее время все чаще мы говорим о том, что в Украине в сравнении с советскими временами катастрофически уменьшилось количество изобретений, с каждым годом все меньше становится у нас творческих, креативных специалистов, Говорят, что причина этого в значительной "утечке мозгов". Видимо, последнее – все же следствие, а причина – в другом. Мы живем в иной стране, стране рыночной экономики. Наши изобретатели, творческие люди, инноваторы, если хотите, оказались неготовыми исполнять роль не только создателей инноваций, но и совершенно новую для них роль - инновационных инвесторов. Далеко не у всех эта новая роль получается экспромтом, без их серьезного обучения и создания работоспособной системы трансферта технологий и коммерциализации изобретений. Уже давно мы переживаем экономический кризис. Для многих это чрезвычайно сложное время. Работодатели утверждают, что для бизнеса существует лишь единственная возможность выжить - сократить персонал. Но это на самом деле не так, Существует другой, более эффективный способ - использовать интеллектуальный потенциал (не забывая при этом о великолепных возможностях синергического взаимодействия научного потенциала с оставшимся еще производственным потенциалом высочайшего уровня и потенциалом демобилизованных воинов АТО и трудоспособных переселенцев). И таким образом не только преодолеть пресловутый кризис, но и на деле вывести экономику Украины на новый, инновационный путь развития. Для этого нужно, прежде всего, восстановить инновационный потенциал нашей страны, который еще совсем недавно был самым высоким не только в бывшем Советском Союзе, но и в Европе. О том, как Украине снова стать страной инноваторов и, в самом

деле, а не только в обещаниях политиков, перейти на инновационный технологический путь развития, и пойдет речь далее. Беда в том, что, даже когда нам удастся полностью выйти из глобального финансового кризиса, мы не сумеем в ближайшие годы преодолеть другой гораздо более глубокий и тяжелый интеллектуальный кризис – кризис сознания и знаний, науки, морали, совести (вот где ”живая синергия” активна; перечень можно продолжить, но главной в интеллектуальном кризисе, несомненно, является его нравственная составляющая). Ведь, не случайно “ свой народ по пустыне водил Моисей с отвердевшими в камень губами сорок лет для того, чтобы умерли все, кто на свет появился рабами” (цитируется по http://zhurnal.lib.ru/r/rytow_w_g/ishod.shtml). За годы независимости все изменилось в нашей стране. Прежде всего, из страны интеллектуалов мы превратились в страну бизнесменов. В то же время, в Украине мало бизнесменов, интеллектуально подготовленных к бизнесу.

Контрольные вопросы по главе 9

1. Почему необходимо у студента развивать способности к творчеству, склонности к поиску креативных решений.
2. Является ли креативность способностью человека от его рождения, или она может быть развита какими-то специальными методами в школе, университете?
3. Чему нужно научиться студенту, чтобы развивать у себя креативность?
4. В чем заключается синергическая концепция креативности?
5. Чем ущербен американский синектикс – одно из последних модных направлений развития креативности?

Литература:

1. Л.А.Расстригин. С компьютером наедине. - Москва, : «Радио и связь», 1990. -224 с.
2. Дородницын А.А. Математика и описательные науки. с.6-15. Число и мысль. Сборник. Вып.5.-Москва, : «Знание», 1982.-176 с.
3. Альтов Г.С. …И тут появился изобретатель. - М.: Дет. лит., 1984. - 126 с.
4. Альтшуллер Г.С. Найти идею: Введение в теорию решения изобретательских задач. - 2-е изд., доп. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1991. - 225 с.
5. Андреев В.И. Педагогика: Учеб. курс для творческого саморазвития. - 2-е изд. - Казань: Центр инновационных технологий, 2000. - 608 с.
6. Гафитулин М.С. Уровни новизны: Методика оценки творческой деятельности и получения новизны // Адукацыя і выхование. - 1994. - № 7. - С. 103-108.
7. Лук А.Н. Психология творчества. - М.: Наука, 1978. - 127 с.
8. Матюшкин А.М. Проблемные ситуации в мышлении и обучении. - М., 1972. - 168 с.
9. Туник Е.Е. Тест Е. Торренса. Диагностика креативности: Метод. руководство. - СПб.: ГП "ИМАТОН", 1998 - 172 с.
10. Унт И.Э. Индивидуализация и дифференциация обучения. - М.: Педагогика, 1990. - 192 с.
11. Ушачев В.П. Обучение основам творческой деятельности: Учеб. пособие. - Магнитогорск, 1991. - 55 с.
12. Сидорчук Т.А. Формирование креативности личности на начальном этапе ее становления на основе системы творческих заданий: Дис. … канд. пед. наук. - М., 1998. - 150 с.
13. Словарь-справочник педагогических инноваций в образовательном процессе / Сост. Л.В. Трубайчук. - М.: Изд. дом "Восток", 2001. - 81 с.
14. Сычева О.И., Сычев С.В. Книга противоречий // Журнал ТРИЗ. - 1992. - Т. 3 . - № 4. - С. 32-37.
15. Бордовская Н.В., Реан А.А. Педагогика: Учебник для вузов. - СПб.: Питер, 2000. - 304 с.

Глава 10. Развитие капиллярных технологий.

Преамбула.

Позволю себе начать эту главу с одной притчи, на которую наткнулся в Инете (http://www.liveinternet.ru/users/2105500/post92105240). Уж больно она близка теме данной главы). *Доктор философии, стоя перед своим классом, взял пятилитровую стеклянную банку и наполнил её камнями, каждый не менее 3-х см в диаметре. Завершив процесс, спросил студентов, полна ли банка?*

Ответили: да, полна.

Тогда он открыл банку горошка и высыпал содержимое в большую банку, немного потряс её. Естественно, горошек занял свободное место между камнями. Ещё раз профессор спросил студентов, полна ли банка?

Ответили: да, полна.

Тогда он взял коробку, наполненную песком, и пересыпал песок в банку. Естественно, песок занял полностью существующее свободное место и всё закрыл. Ещё раз профессор спросил студентов, полна ли банка? Ответили: да, ессесьно, и на этот раз однозначно, она полна.

Тогда из-под стола он вытащил 2 банки пива и вылил их в банку до последней капли, размачивая песок. Студенты смеялись.

- А сейчас я хочу, чтобы вы поняли, что банка - это ваша жизнь; камни - это важнейшие вещи вашей жизни: семья, здоровье, друзья, свои дети - всё то, что необходимо, чтобы ваша жизнь всё-таки оставалась полной даже в случае, если всё остальное потеряется; горошек - это вещи, которые лично для вас стали важными: работа, дом, автомобиль; песок - это всё остальное, мелочи. Если сначала наполнить банку песком, не останется места, где могли бы разместиться горошек и камни. И так же происходит в вашей жизни: если тратить всё время и всю энергию за мелочи, не остаётся места для важнейших вещей. Занимайтесь тем, что вам приносит счастье: играйте с вашими детьми, уделяйте время супругам, встречайтесь с друзьями. Всегда будет ещё время, чтобы поработать, заняться уборкой дома, починить и помыть автомобиль. Занимайтесь, прежде всего, камнями, то есть самыми важными вещами в жизни; определите ваши приоритеты: остальное - это только песок.

Тогда студентка подняла руку и спросила Профессора, какое значение имеет пиво?

Профессор улыбнулся.

- Я рад, что вы спросили меня об этом. Я это сделал, чтобы напомнить вам, что, как бы ни была ваша жизнь занята, всегда есть место для пары банок пива.

А теперь, когда улыбка сошла с вашего лица, скажу, почему я начал с этой мудрой притчи. Получилось бы что- нибудь у профессора, если бы он попытался провести обратный процесс заполнения банки: сначала пиво, потом песок, потом горошек, потом камни по 3 см в диаметре? Ничего бы у него не вышло. То-есть, как и в жизни, мудрую аналогию с которой нашел мой коллега в истории с банкой, заполняемой каждый раз все более мелкими предметами, надо соблюдать, во-первых, порядок проведения операций, а во-вторых, с каждым шагом уменьшать определяющий линейный размер заполняющих элементов.

Признаюсь, почему меня затронула эта история с заполнением банки. Вдумайтесь, здесь - полная аналогия с обработкой капиллярно – пористых тел. Представьте себе вместо банки - тело, заполненное капиллярно – пористой структурой. Ну, как соты у пчел. Перемычки между капиллярами – твердые и не забудьте, позже мы к этому вернемся, имеют поверхности с обеих их сторон, обладающие определенными свойствами. Внутрь капилляров и пор, меняя порядок и технологию заполнения, можно много «затолкать»: мелкие песчинки из какого- нибудь нужного вещества, вплоть до нанотрубок, и тогда можем получить чрезвычайно нужный композитный материал с заданными, недостижимыми ранее свойствами – от пористых никелевых электродов с капиллярами, заполненными как можно полнее кристалликами $Ni(OH)_3$, для великолепных Ni - Cd аккумуляторов, до нанотрусиков или наночепчиков, используемых путем надевания на соответствующие места для лечения несчастных страдальцев. А можно заполнить капилляры мономером, а потом нагреть тело с тем, чтобы мономер заполимеризовать – и мы получим композитный материал невиданной прочности, который ни метеоритом в космосе, ни снарядом на земле не прошибешь.

Иными словами, профессор, сам того не ведая, используя метод аналогий, названный в США «синектикс», воспроизвел с помощью своей банки технологию жизни человека, а у меня - технаря, прикладника, появилась совсем другая аналогия – с химической технологией обработки капиллярно – пористых тел, которой уделяется несправедливо мало внимания в практике химической технологии.

А теперь уж совсем всерьез. Эту главу хочу посвятить описанию совершенно новых технологий работы с капиллярно – пористыми телами. Эти работы появились у меня потому, что я попытался разобраться с работой на промежуточной ступени иерархической системы - между ступенью контакта (здесь работают технологи, механики) и молекулярным уровнем (здесь трудятся неутомимые химики). И открылись совершенно новые возможности, с которыми вы познакомитесь, прочитав эту главу.

10.1. Все началось с пропитки пластин аккумуляторов.

Пропитка капиллярно-пористых материалов (КПМ) жидкими средами широко распространена в промышленности. В качестве капиллярно-пористых пропитываемых материалов могут быть: бумага, картон, древесина (конструкционные элементы, железнодорожные шпалы, паркет и др.), пористые металлические матрицы, ткани, пластины электродов аккумуляторов, зерна пористого катализатора, обмотки статоров и роторов электродвигателей, электролитические конденсаторы и др.

В качестве жидких сред могут быть водные среды, содержащие растворенные или взвешенные вещества технологического назначения, которые должны быть доставлены в капилляры и поры, растворители, расплавы металлов и других веществ и др.

Традиционно пропитку проводят, погружая тело, выполненное из капиллярно-пористого материала в жидкость. Иногда это тело предварительно нагревают, вакуумируют. В ряде случаев процесс проводят при повышенном давлении. Это вызывает необходимость использования соответствующего оборудования для проведения процессов, например, автоклавов высокого давления

По способам нанесения пропиточного раствора на КПМ и методам пропитки можно выделить следующие способы:

1. С использованием контактного ролика, “купающегося” в пропиточном растворе.
2. Протягиванием непрерывной ленты КПМ через жидкую ванну,
3. Использованием центробежного способа,
4. Окунанием,
5. Прокачкой пропиточного раствора (например, связующего, мономера) через волокнистую структуру под действием вакуума или нагнетателя,
6. Пульверизацией,
7. Каландрованием,
8. Комбинированным способом.

Рассмотрим некоторые из них. Известен, к примеру, способ пропитки КПМ путем окунания изделия в емкость с технологической жидкостью. Недостатком способа является низкая культура производства: пропитку крупногабаритных изделий проводят в широких емкостях с большой поверхностью и объемом связующего, лишь малая часть которого используется по назначению. Кроме того, такая пропитка характеризуется неравномерностью распределения пропиточного материала (например, связующего) по объему КПМ, наличием незаполненных объемов в пропитанных изделиях, что приводит к нарушению потребительских качеств, в частности к нестабильности физико-химических характеристик по объему КПМ после пропитки.

Известен способ пропитки волокнистого материала, заключающийся в том, что с целью уменьшения пористости пропитанного материала его перед контактом с пропиточным раствором связующего помещают в деаэрирующую жидкость, плотность которой превышает плотность пропиточного раствора. В качестве такой жидкости используют металлы или сплавы в расплавленном состоянии. Недостатком способа является использование дорогостоящих сплавов , высокие энергозатраты для поддержание их в расплавленном состоянии, токсичность производства, если в качестве деаэрирующей жидкости используют ртуть. Кроме того, высокое качество пропитки гарантируется только при определенном соотношении плотностей деаэрирующей жидкости и пропиточного раствора, что требует применения сплавов самых разных составов.

Заслуживает внимания способ пропитки волокнистого материала путем перемещения его через пропитывающий состав, отличающийся тем, что материал перед основной пропиткой вакуумируют в смоченном виде после предварительной пропитки. Предварительное вакуумирование обеспечивает удаление воздуха из пор и капилляров. Недостаток этого способа заключается в невозможности полного удаления воздуха из КПМ путем вакуумирования. В связи с этим в пропитанных изделиях остаются пустоты, необработанные места. Кроме того, для реализации данного способа требуются дорогостоящие вакуумные установки.

Известен способ обработки изделий из КПМ пропиткой их технологической жидкостью, при котором изделия подвергают акустическому воздействию. Эффективность процесса пропитки особенно повышается при непосредственном контакте изделия с акустическим излучателем. Хотя эффективность этого способа достаточно велика, вследствие кавитационных явлений, вызванных акустическими колебаниями в жидкости, заполнившей поры и капилляры изделия, могут образоваться полости, в которые диффундирует газ, растворенный в жидкости. Эти газовые пузырьки ухудшают качество пропитки. Развитие кавитации можно подавить повышением давления в пропитывающей жидкости, однако это приводит к необходимости использования аппаратуры высокого давления, что существенно увеличивает стоимость установки.

Строгая классификация таких процессов затруднена, однако условно методы пропитки КПМ можно разделить на несколько групп, отличающихся использованием различных технологических приемов и использованием различных приемов повышения скорости и эффективности на лимитирующей стадии.

Таблица 10.1.

N	Основные стадии процесса	Приемы оптимизации
1.	Заполнение пропиточной жидкостью части капилляра преимущественно за счет капиллярных сил	предварительное вакуумирование КПМ с целью снижения противодавления повышение давления при пропитке использование поля центробежных сил
2.	Диффузия газа через поверхность раздела фаз внутри капилляра (эвакуация газа из объема капилляров, занятого газом, в объем, занятый пропиточной жидкостью)	повышение температуры процесса разбавление пропиточной жидкости с целью уменьшения ее вязкости
3.	Продвижение жидкости внутрь капилляров по мере падения давления газа Вследствие стадии 2	повышение давления в объеме пропиточного аппарата (камеры) повышение температуры процесса применение разбавления пропиточной жидкости
4.	Диффузия газа, растворенного в жидкости внутри капилляров, за счет молекулярной диффузии	повышение температуры процесса разбавление пропиточной жидкости с целью уменьшения ее вязкости вакуумирование пропиточного аппарата (камеры)
5.	Диффузия газа с поверхности КПМ	турбулизация приповерхностных слоев жидкости наложением низкочастотных колебаний то же принудительным перемешиванием то же созданием турбулентного режима движения жидкости

Следует заметить, что приведенные в таблице 10.1 приемы оптимизации типовых стадий пропитки КПМ не дают желаемых результатов по скорости, глубине пропитки и возможности управления процессом.

Анализ кинетики протекания типовых стадий процесса пропитки КПМ показывает, что:

- стадии 1-5 являются взаимносвязанными и взаимнообусловленными и протекают последовательно,
- наиболее медленной, лимитирующей для всего процесса, является стадия 2 (коэффициент диффузии газа в жидкости D_{gl}, определяющий скорость процесса на стадии 2, имеет порядок 10^{-7}, т.е. процесс идет примерно в 1000 раз медленнее, чем например, диффузия газа в газе, когда коэффициент диффузии имеет порядок 10^{-4} м^2/с).

Системный анализ традиционных процессов пропитки КПМ показывает, что из-за многостадийности, использования давления и вакуума, низкой скорости лимитирующей стадии эти процессы низкоэффективны, требуют большого времени обработки материалов, дорогого оборудования, зачастую приводят к значительному загрязнению окружающей среды.

Основная идея предлагаемой продвинутой технологии пропитки заключается в том, что необходимо разорвать вредную синергичную связь на 2 стадии между мелекулярной диффузией воздуха в жидкости и "конкурирующим процессом – заполнением капилляров жидкостью "в такт эвакуации воздуха". Найти решение о быстром, недорогом, безопасном удалении вздуха не удалось. Синергичнвя связь оказалась очень крепкой. В этом случае есть лишь одно средство – заменить "неугодный" процесс другим, отвечающим требованиям основного процесса. Решение оказалось простым – заменить молекулярную диффузию воздуха десорбцией воздуха каким – нибудь исчезающим потом газом (это примерно в 1000 раз быстрее если сравнить коэффициенты диффузии воздуха в газе и жидкости). Исчезающий газ тоже долго не искали – им оказался перегретый пар, т.к. он при конденсации практически исчезал, ибо его объем уменьшалсяч почти в 1000 раз и вместо него в капиллярах оставался…. вакуум. В этот вакуум мгновенно устремлялась пропиточная жидкость. Все, задача решена! Итак, образовалась другая синергично связанная пара процессов – десорбция воздуха перегретым паром с последующей конденсацией пара при погружении матрицы в холодный пропиточный раствор - и собственно заполнение раствором вакуумированных пор. Налицо прямая и обратная связь двух новых стадий. Синергия выручила…

Использование перегретого пара имеет еще одно примущество - если есть необходимость повторять пропитку неколько раз, то пар может быть использован также как сушильный агент между стадиями пропитки. Это в полном согласовании с синергией делает возможным выполнение пропитки и сушки в одном комбинированном аппарате По найденному решению КПМ, нуждающиеся в пропитке (бумага, картон, древесина (конструкционные элементы, шпалы, паркет и др., пористые металлические матрицы, ткани, пластины электродов аккумуляторов, зерна пористого катализатора, обмотки статоров и роторов электродвигателей, электролитические конденсаторы, строительные конструкции, архитектурные сооружения и др.), подогревают до температуры выше температуры конденсации пара пропитывающей жидкости, погружают в пропитывающую жидкость с температурой ниже температуры конденсации паров, которыми десорбируют из них воздух. Вместо пара можно использовать газ, хорошо растворимый в пропиточной жидкости или быстро реагирующий с ней. Затем материалы предварительно перед погружением, потом обрабатывают перегретыми парами пропитывающей жидкости, либо газом, который хорошо растворяется в жидкости, либо быстро реагирует с последней. В качестве пропитывающей жидкости можно использовать водные среды, которые содержат растворенные или взвешенные вещества технологического назначения, которые должны быть доставлены в капилляры и поры, растворители, расплавы металлов и других веществ.

Можно представить следующую новую цепочку операций пропитки капиллярно -пористых материалов (КПМ):

1. Подогрев одним из известных методов (в том числе за счет продувки перегретыми парами) КПМ до температуры выше температуры конденсации паров,
2. Замена труднорастворимого в пропиточной жидкости газа, находящегося изначально в порах КПМ, перегретым паром,
3. Погружение КПМ с заполненными перегретым паром капиллярами в относительно более холодную пропиточную жидкость.
4. Конденсация пара в капиллярах, что приводит к образованию в капиллярах глубокого вакуума при сохранении нормального давления в аппарате для пропитки.
5. Заполнение капилляров жидкостью за счет капиллярных сил и вакуума внутри тупиковых и квазитупиковых капилляров.

Для реализации данной технологии пропитки изделий из КПМ не требуются сложное аппаратурно-технологическое оформление (ведь в аппарате нет высокого давления или вакуума). Достаточно аппарата, предназначенного для работы при атмосферном давлении, с устройствами для загрузки/выгрузки и размещения пропитываемых изделий, устройствами их подогрева одним из известных методов (аэродинамическим, индукционным, конвективным и др.). Кроме того, в схеме надо предусмотреть устройство для испарения и перегрева паров пропиточной жидкости.

Для улучшения технологии и оборудования пропитки КПМ можно предложить использовать ряд физико-химических эффектов, показанных в таблице 10.2:

Таблица 10.2. Методы воздействия на процесс пропитки.

N	Методы воздействия	Приемы реализации методов
		циклическая подача фаз и рециркуляция
1.	Режимно-технологиче-ские (РТ - методы)	создание колебаний рабочей зоны внешними устройствами импульсное изменение температуры, концентраций, давления совмещение процессов: химических, массообменных, тепло-массообменных введение дополнительного вещества: инициатор, рециркулят, паровая фаза одного из компонентов оптимизация режимно-технологических параметров: температура, давление, состав, гидродинамические параметры обеспечение многократности воздействия на фазы
2.	Аппаратурно-конструктивные (АК-методы)	конструктивная оптимизация гидродинамического режима использование энергии контактирующих фаз использование внешних источников энергии оптимизация конструктивных параметров совмещение аппаратов

Однако, анализ этих методов применительно к пропитке КПМ показывает, что их использование не приводит к существенным результатам. Ведь, все равно остается в силе цепочка операций:

1. Подготовка капиллярно- пористого материала (подготовка пор, вакуумирование и др.)
2. Погружение КПМ в пропиточный раствор
3. Выдержка для проведения собственно стадий пропитки (1-5 в табл.1) при использовании методов оптимизации, указанных в таблице 2 (например, повышения давления, температуры, турбулизация
4. Обработка КПМ после пропитки.

К сожалению, существенно уменьшить длительность стадии 3 при такой последовательности не удается.

Для определения направления интенсификации, а также выбора приемов и методов воздействия на процессы при пропитке целесообразно использовать понятие фактор интенсивности.

Под интенсивностью I любого технологического аппарата (процесса) (в том числе и пропитки) понимают отношение целевой количественной характеристики Q, например, производительности, к основной, чаще всего геометрической характеристике аппарата (например, объему рабочей зоны V) .

10.2.Интенсивность массобменного процесса в капиллярах

Интенсивность массобменного процесса в капиллярах определяется как:

$$I = Q/V = M\rho/V = (\pi r^4 \Delta P\rho)/(8\eta l_k rSm) = (\pi r^3 \Delta P\rho)/(8\eta l_k Sm), \qquad (10.1)$$

где $M = (\pi r^4 \Delta P)/(8\eta l_k)$ - количество жидкости, перенесенной в единицу времени в тонкой цилиндрической трубке по закону Пуазейля, m^3,

V - объем капилляров, m^3,

η - вязкость, Pa * s,

r - радиус капилляра, m,

l_k - длина капилляра, m,

ΔP - перепад давления, Pa,

S - удельная поверхность пор, m^2/kg,

m - масса КПМ, kg,

p - плотность жидкости, kg/m^3.

Анализ формулы 10.1 показывает, что на величину I оказывают влияние:

реологические свойства пропитывающих жидкостей, так как по мере пропитки роль вязкого сопротивления возрастает,

перепад давления ΔP, являющийся движущей силой процесса.

Именно с целью уменьшения вязкого сопротивления, как видно из табл. 10.1, многие авторы практикуют увеличение температуры при пропитке, а также разбавление пропитывающих жидкостей менее вязкими разбавителями, что приводит к улучшению смачиваемости КПМ и снижению вязкости жидкости. Что касается направлений увеличения движущей силы, представляющих значительный интерес, их можно определить путем рассмотрения следующих аналитических выражений. Для сквозных капилляров

$$\Delta P = P_k - \rho g l \mathrm{Sin}\alpha, \qquad (10.2)$$

где α - угол наклона капилляра к горизонту,

$P_c = 2\sigma \mathrm{Cos}\theta/r$ - капиллярное давление, Pa,

σ - поверхностное натяжение, N m,

r - радиус капилляра, m,

- угол смачивания.

Из формулы 10. 2 ясно, что пропитка под действием капиллярных сил возможна при $\theta < 90^o$, а предельное расстояние, на которое проникает жидкость, рассчитывается из выражения

$$l = 2\sigma Cos\theta / rg\rho\ Sin\alpha, \qquad (10.3)$$

Для тупиковых капилляров известно выражение для ΔP при пропитке под атмосферным давлением:

$$\Delta P = P_k + P_a - P_a l_k / (l_k - l) - \rho gl, \qquad (10.4)$$

Если в капиллярах перед пропиткой предварительно понижают давление путем вакуумирования, то

$$\Delta P = P_k + P_a - P_1 l_k / (l_k - l) - \rho gl, \qquad (10.5)$$

Если в капиллярах давление снижено, а жидкость,кроме того, нагнетают, то

$$\Delta P = P_k + P_2 - P_1 l_k / (l_k - l) - \rho gl, \qquad (10.6)$$

Подставляя соответствующие значения ΔP для этих вариантов в выражение 9.1 с учетом невысокого значения для тупиковых каналов члена ρgl, получим

тупиковые цилиндрические капилляры при проведении процесса под атмосферным давлением:

$$I_1 = \pi r^3 \rho [P_k + P_a - P_1 l_k / (l_k - l)] / 8\eta l_k Sm \qquad (10.7)$$

для случая предварительного вакуумирования:

$$I_2 = \pi r^3 \rho [P_k + P_a - P_1 l_k / (l_k - l)] / 8\eta l_k Sm \qquad (10.8)$$

при использовании предварительного вакуумирования и избыточного давления:

$$I_3 = \pi r^3 \rho [P_k + P_2 - P_1 l_k / (l_k - l)] / 8\eta l_k Sm \qquad (9.9)$$

Таким образом, для интенсификации процесса пропитки КПМ необходимо уменьшать остаточное давление газовой фазы в капилляре, либо создавать избыточное давление в жидкости, либо сочетать оба приема. Однако, как показывает практика, данные технологические приемы проведения процесса пропитки КПМ не решают весь комплекс задач, так как непредсказуемо снижается степень пропитки, затрудняется управление процессом,, для проведения этих стадий требуется применение дорогого и сложного оборудования, приспособленного для работы под вакуумом и давлением.

Предложенная автором пособия совместно с уже бывшими студентами и аспирантами новая технология пропитки предполагает решить главную проблему пропитки (лимитирующая стадия) - быстрое освобождение капилляров от заполняющей их в начале процесса газовой фазы (в частности, воздуха) путем ее замены другой фазой, удаление которой не представляет сложности. Этой новой фазой, вытесняющей воздух из капилляров (заменяющей воздух в капиллярах), может быть газ, хорошо растворяющейся в пропиточной жидкости или химически взаимодействующий с ней. В этом случае взамен коэффициента диффузии газа в жидкости D_{gl} (порядок 10^{-7}) в кинетическое уравнение для стадии 2 входит коэффициент диффузии газа в газе D_{gg} (порядок 10^{-4}). Следовательно, скорость лимитирующей фазы увеличивается примерно в 1000 раз, а, значит, и связанных с ней 3-4 стадий.

Кроме того, возможно предварительное заполнение капилляров перегретыми парами (предпочтительно растворителя, входящего в состав пропиточной жидкости), конденсирующимися при условии пропитки. В этом случае казалось бы процесс усложняется введением дополнительных стадий обработки КПМ перегретым паром (для вытеснения газа или воздуха) и его конденсации при контакте с пропиточной жидкостью, имеющей температуру ниже температуры конденсации. Однако, это усложнение кажущееся, так как при этом исключаются стадии 2-5 (см.табл.9.1) и внутри капилляров создается глубокий вакуум, что способствует ускорению процесса на первой стадии. В этом случае очередность обработки выглядит следующим образом:

Подогрев одним из известных методов (в том числе за счет продувки перегретыми парами) КПМ до температуры выше температуры конденсации паров,

Замена труднорастворимого в пропиточной жидкости газа в порах КПМ перегретым паром,

Погружение КПМ с заполненными перегретым паром капиллярами в относительно более холодную пропиточную жидкость.

Конденсация пара в капиллярах с уменьшением объема в ρ_l/ρ_v раз (где ρ_l - плотность конденсата, а ρ_v - плотность пара). Нетрудно подсчитать, что для воды объем при конденсации перегретого пара уменьшается более чем в 800 раз, что приводит к образованию в капиллярах глубокого вакуума при сохранении нормального давления в аппарате для пропитки.

Заполнение капилляров жидкостью за счет капиллярных сил и вакуума внутри тупиковых и квазитупиковых капилляров.

Таким образом, взамен пяти неэффективных и продолжительных стадий мы получаем пять достаточно быстрых и эффективных.

Для новой технологии выражение для определения движущей силы процесса имеет вид:

$$\Delta P = P_a - P_p \qquad (10.10),$$

где P_a - атмосферное давление,

P_p - парциальное давление пара при условиях пропитки.

Тогда фактор интенсивности процесса I определится как:

$$I_4 = \pi r^3 \rho [P_a - P_p] / 8\eta l_k Sm \qquad (10.10a)$$

Если для интенсификации процесса использовать также повышенное давление (например, при наличии уже установленного ранее оборудования высокого давления), то интенсивность процесса пропитки КПМ будет еще выше:

$$I_5 = \pi r^3 \rho [P_a + P_2 - P_p] / 8\eta l_k Sm \qquad (10.11).$$

При реализации предлагаемой технологии легко управлять процессами посредством варьирования значений остаточного давления в капиллярах (т.е. доля воздуха, замененного на пар) и избыточного давления в жидкости P_2.

При реализации предложенной технологии предпочтительнее использование перегретого, а не насыщенного пара по следующим причинам:

1. Значительно ускоряется первый этап, так как отношение коэффициента диффузии перегретых паров D_1 к коэффициенту диффузии для насыщенных паров D_2 будет:

$$D_1/D_2 = (T_o/373)^{1.5}, \qquad (10.12)$$

где 373 - нормальная температура в К,

T_o - температура перегрева.

После конденсации перегретых паров глубина вакуума в капиллярах будет выше, чем в случае насыщенных паров.При конденсации насыщенных образуется больше конденсата, что может привести к нежелательному разбавлению пропиточной жидкости.

Предложенная технология пропитки КПМ позволяет:

- увеличить скорость (уменьшить время) проведения процесса в несколько раз,
- упростить аппаратурное оформление процесса пропитки, так как не требуются автоклавы высокого давления или аппараты, работающие под вакуумом,
- обрабатывать сразу большие партии изделий из КПМ или изделия больших размеров (например, мебель без разборки, строительные конструкции, архитектурные сооружения и т.п.), ибо существенно снижаются требования к прочности и герметичности аппаратов, где происходит пропитка КПМ,
- улучшить экологические показатели процесса ввиду сокращения необходимого времени проведения и увеличения интенсивности, устранения необходимости улавливания вредных веществ из выбросов системы вакуумирования,
- снизить капитальные и эксплуатационные затраты,
- обеспечить регулируемую глубину (степень) пропитки.

10.3. Экспериментальная проверка технологии (на примере пропитки стеклоткани компаундом).

Лабораторная установка включала пропиточную камеру, оборудованную рубашкой, через которую с помощью ультратермостата циркулировал теплоноситель (глицерин), термометром, патрубкми для ввода и вывода паров и подачи пропиточной жидкости. Внутренняя части крышки камеры была снабжена крюками для подвески пропитываемых образцов. Установка была снабжена также нагревательным прибором, испарителем, абсорберами с глицерином, пароперегревателем, вентилем для регулирования расхода пара, холодильником, дозатором, лабораторным автотрансформатором, с помощью которого регулировалась температура, емкостью для слива пропиточного раствора.

В испарителе подогревали спирт до температуры кипения. Пары спирта пропускали через пароперегреватель, на выходе из которого термометром измеряли температуру перегретых паров. Перегретый пары спирта поступает в пропиточную камеру, через рубашку которой циркулирует глицерин (теплоноситель) с температурой 112°С. Из пропиточной камеры перегретый пар поступает в холодильник, где конденсируется и собирается в приемнике. После пропарки образца в течении заданного времени циркуляцию теплоносителя через рубашку прекращали, перекрывали

подачу пара и через дозатор загружали пропиточную жидкость (компаунд) до полного погружения пропитываемого образца. После пропитки в компаунде в течении заданного времени, компаунд сливали через нижний штуцер, а образец извлекали из камеры и сушили. Образцы стеклоткани предварительно гофрировали.

Наиболее важными режимными параметрами (факторами), определяющими качество пропитки, являются:

время обработки образца паром X_1 (мин),
время выдержки пропаренного образца в компаунде - X_2 (мин),
при обработке гофрированных изделий - предварительная растяжка X_3 (%).

Для определения оптимальных параметров процесса использовали метод математического планирования эксперимента.. Задали граничные значения факторов и построили матрицу планирования эксперимента на двух уровнях (max) и (min) по вышеуказанным факторам.

Таблица 10.3 кодирования переменных приведена ниже.

Факторы	X_1(мин)	X_2(мин)	X_3 (%)
Нулевой уровень X=0	10	10	75
Интервал варьирования	5	5	25
Нижний уровень X= -1	5	5	50
Верхний уровень X= +1	15	15	100

Затем составляли матрицу эксперимента типа 2^3 (таблица 10.4).

№	X_1	X_2	X_3
1	+	+	+
2	-	-	-
3	+	+	-
4	+	-	-
5	+	-	+
6	-	+	+
7	-	+	-
8	-	-	+

Результаты экспериментов приведены таблице 10.5.

№	H_0	H_2	$Y = H_2 - H_0$

1	6,3062	11,0488	4,7426 (43%)
2	11,7368	15,9550	4,2182 (26%)
3	12,3580	17,3919	5,0337 (29%)
4	12,5628	17,3147	4,7535 (24%)
5	6,5693	11,4791	4,9098 (44%)
6	7,2498	13,1541	5,9043 (45%)
7	11,5919	15,5609	3,969 (24%)
8	5,1781	9,1293	3,95 (23%)
9 (холостой,	12,6475	17,5147	4,8235 (26%)

Примечание: В качестве функции отклика принимали привес пропитанного образца, выраженный в процентах к конечному весу.

Продублировав опыты в точках 3, 5, 7, 8, получили соответственно

Y_3 = 27%, Y_5= 45%, Y_7=28%, и Y_8= 22%.

После обработки этих данных известными методами математической статистики получили полиномиальное уравнение:

$Y = 34,75 + 2,75 X_1 + 3 X_2 + 6,5X_3$

Все полученные по расчету коэффициенты регрессии оказались значимыми и оптимальными параметрами процесса следует считать: время пропарки образца - 10 мин, время пропитки - 10 мин., предварительная растяжка образца не менее 50%.

10.4. Примеры использования продвинутой технологии.

ПРОПИТКА КАТАЛИЗАТОРОВ

Катализаторы многих типов производят с использованием пропиточных технологий. При этом многократно погружают пористые гранулы основы катализатора (матрицы) в раствор, содержащий необходимые компоненты катализатора. Эти вещества должны распределяться в матрице равномерно, в предопределенном количестве и в соответствии с заданной глубиной проникновения. Это особенно важно для катализаторов, основанных на использовании благородных металлов .

Проникновению жидкости в гранулы препятствует воздух, находящийся в порах гранул. Для его удаления, чтобы облегчить процесс пропитки используют различные методы вакуумирования, акустического заполнения и т.д. Они, однако, являются дорогими и допускают только ограниченный контроль сорбции и глубины проникновения. Желателен более простой, недорогой,

точный и быстродействующий метод пропитки каталитических матриц типа активированного угля, глинозема и т.д.

При использовани новой технологии не требуется использования вакуума или оборудование высокого давления и может потребоваться только незначительные изменения в комплектации существующего оборудования. Это связано с простой обработкой матрицы катализатора непосредственно перед пропиткой. При предварительной обработке устраняется весь воздух, находящийся в порах, нагреваются гранулы катализатора, затем вводится определенный газ/пар, заменяющий воздух, находившийся в капиллярах. При погружении гранул катализатора в относительно холодный пропиточный раствор этот газ/пар растворяется/конденсируется в пропиточном растворе, при этом в капиллярах образуется вакуум. Это приводит к их быстрому и полному заполнению пропиточным раствором.

Выбор газа/пара, температурного режима и длительности стадий процесса уникальны для каждого случая пропитки. Это связано с необходимостью адаптации технологии к объекту применения. При этом необходимо неизменно выбирать рабочий газ/пар среди недорогих, легко доступных и нетоксичных образцов.

Для реализации технологии разработаны гибкие модульные устройства, способные работать в широких диапазонах изменения температуры, давления и т.д., чтобы обработать гранулы из различных материалов и различной формы. Такие компактные модульные блоки допускают выбор между поверхностной и глубокой пропиткой, гарантируют точную предварительную обработку по глубине проникновения.

Процесс обеспечивает сокращение отходов и улучшенное использование катализатора, сокращение на 30 - 35 % потребления катализатора, формированию более тонкого зерна катализатора. Технология высоко универсальна, поскольку ее реализация не зависит от размера пор и порозности катализатора. Активность катализатора может увеличиться на 5 - 15 % в зависимости от типа катализатора. Возможность регулирования глубины пропитки и равномерности распределения катализатора по сечению делают данную технологию особенно универсальной. Фактор интенсификации процесса в целом может изменяться в различных случаях от 2 до 100.

Хотя процесс был, в ограниченном масштабе, коммерциализирован, его некоторые новые и перспективные аспекты были показаны недавними исследованиями. Новые и улучшенные варианты процесса, являются объектами патентования. Требования к катализаторам и технологиям их производства растут во всем мире. Примером может быть хотя бы прозводство автомобильных каталитических конвертеров. С другой стороны, редкие и драгоценные металлы дороги и часто дефицитны. Продвинутая технология соответствует критериям ресурсо- и энергосбережения, обеспечивает высокое качество и экономическую жизнеспособность продукции.

Пропитка электродов и других зделий из углерода/ графита.

При производстве изделий из углерода / графита (электроды, тигли, компоненты химического оборудования и т.д.), проводится многократная пропитка заготовок гудроном, битумом и другими вязкими жидкостями.

Поры в пропитываемых заготовках всегда заполнены воздухом, который мешает проникновению импрегнанта в ннх. Вследствие этого, даже если процесс пропитки повторяется, обеспечить полное заполнение пор и необходимое качество изделий трудно. Во многих случаях при

эксплуатации неполностью пропитанных деталей могут быть случаи их разрушения (например, обрыв электродов при их эксплуатации в электрометаллургии, что приносит большие убытки).

Кроме того, многие из используемых импрегнантов экологически опасны. Поэтому желательно снизить количество повторных пропиток из соображений повышения производительности, улучшения качества продукции, повышения безопасности труда и защиты окружающей среды.

Проект нацелен на развитие интенсивной, эффективный, экологически дружественный и дешевой технологии, обеспечивающей совершенную пропитку изделий из углерода / графита органическими импрегнантами.

Метод требует только незначительных изменений в существующем обычно оборудовании для предварительной обработки углеродистого материала непосредственно перед пропиткой. При этом воздух внутри капилляров заменяется газом, конденсирующимся при температуре импрегнанта или растворимым в нем. Это позволяет обеспечить пропитку каждой поры и приводит к их быстрому и полному заполнению импрегнатом.

Технологические параметры процесса и время обработки уникальны для каждой системы, что связано с необходимостью адаптации технологии к физико-химическим параметрам пропитываемого материала и импрегната. Газ неизменно отбирается среди недорогих и легко доступных, обычно уже имеющихся в производстве.

Лабораторные и промышленные эксперименты с изделиями более 1 м в диаметре (графитовые электроды) показали, что метод позволяет сократить число циклов пропитки вплоть до единицы. Пропитку удается провести очень быстро и обеспечить практически полное заполнение пор. Этот увеличивает производительность, улучшает качество продукции и уменьшает время экспозиции и эмиссию загрязнителей.

Рынок для электродов и других изделий из углерода / графита постоянно расширяется. Это свяано, прежде всего, с увеличением производства металла в электродуговых печах. Другим важным потребителем электродов является развивающаяся алюминиевая промышленность. Стоимость адаптации оборудования к новому процессу незначительна.

Возможно расширение сфер применения нового способа, например, для производства электродов, теплообменников, тиглей, теплоизоляционных материалов, поглотителей (абсорбентов), электролитических резервуаров, антифрикционных материалов и других изделий, получаемых карбонизацией заготовок.

Экстрагирование в системе жидкость- твердое тело при извлечении лекарственных препаратов и при производстве продовольствия.

При производстве растительных масел, сахара, растворимого кофе, лекарственных препаратов из растительного сырья и т.д. используют методы экстракции жидкими экстрагентами. При этом обеспечивают наиболее тесный контакт растительного сырья с жидким экстрагентом. Воздух, находящийся в порах, блокирует проникновение экстрагента, что замедляет процесс и приводит к неполному извлечению целевого продукта.

Пытаясь устранить вредное влияние воздушные пробок в капиллярах для увеличения скорости диффузии, используют высокое давление, однако, это дорого, требует значительного расхода энергии и не всегда эффективно. Проект нацелен на создание интенсивного, эффективного,

экологически дружественного и дешевого метода, гарантирующего максимально возможное извлечение ценных компонентов из твердых материалов.

Метод требует только незначительных изменений в существующем оборудование и может исключить использование дорогого оборудования высокого давления. Это обеспечивается реализацией трехстадийной обработки материала непосредственно перед контактом с экстрагентом для удаления воздуха из пор и капилляров. Вначале нагревают исходный материал, затем обрабатывают его определенным газом, затем удаляют последний. Последняя стадия обычно совмещается с процессом обработки экстрагентом. Такая технология приводит к быстрому и полному заполнению всего свободного объема материала экстрагентом.

Преимущество такой предварительной обработки заключаются в том, что одновременно могут использоваться другие средства интенсификации процесса (автоколебания, импульсное изменение давление, акустические поля и др.). Выбор газа и режимов обработки уникальны и требуют адаптации для каждой системы твердое тело - экстрагент. Газ неизменно отбирается среди недорогихй и легко доступных, обычно используемых в других стадиях процесса.

Лабораторные испытания и коммерциализация данной технологии в производствах лекарственных аппаратов продемонстрировали, что метод является высокоэффективным и легко регулируемым в самых различных вариантах производства. Предварительная обработка материала проводится достаточно быстро и приводит к полному контакту между твердым телом и экстрагентом. В целом увеличивается производительность, улучшается качество продукции и уменьшаются потери.

Спрос на пищевые продукты постоянно возрастает во всем мире и особенно в развивающихся странах. Один из аспектов проблемы, решаемых новой технологией - обеспечение наиболее полного извлечения пищевых компонентов из сырья. Другой - использование дешевого и эффективного оборудования, позволяющего извлекать целевые продукты и в небольших, и в крупномасштабных установках.

Другим преимуществом является то, что метод легко реализуется в гибким модульных блоках, которые могут без изменений использоваться для обработки всего многообразия исходных материалов, например сельскохозяйтвенного производства.

Технология может быть использована при производстве растительных масел, сахара, растворимого кофе или какао и т.д. Кроме того, возможно использование на ряде стадий в целлюлозно-бумажных производствах.

Пропитка текстильных волокон и соединений матрчной структуры смолой.

Соединения матричной структуры и особенно армированная волокном пластмасса широко применяются в целом ряде производств от производимых серийно теннисных ракеток до автомобилей и аэрокосмических установок. Основой в изделиях могут быть ткани, многожильный провод и другие волокна из стекла, углерода / графита, полиамидов и т.д.

Качество изделий зависит от силы сцепления между матрицей и заполнителем. Качество пропитка определяет достижение хорошего сцепления. Если пропитка неполная, газонаполненные пузыри, трещины и другие разрывы сплошности основы, будут неблагоприятно влиять на характеристики пропитанных изделий.

Исходные волокна и матрицы всегда имеют поры и пустоты, заполненные воздухом, блокирующим проникновение и смачивание их импрегнантом. Вакуум, высокое давление и другие методы

традиционно используются для обеспечения его более полного проникновения в структуру материала. Однако, это трудно достигается, даже если используют дорогое автоклавное оборудование, увеличивают время обработки, используют другие средства улучшения контакта фаз.

Проект нацелен на создание высокоинтенсивного, эффективного и дешевого метода, обеспечивающего совершенную пропитку волоконной основы вязкими органическими импрегнантами. Метод не требует использование вакуума или оборудования высокого давления и может потребовать только небольших изменений в существующем оборудовании. Это обеспечивается достаточно простой предварительной подготовкой волоконного материала непосредственно перед пропиткой для удаления воздуха, находящегося в порах. Для этого реализуют следующую цепочку операций - обогрев волоконного материала, введение определенного газа, заменяющего воздух, и, наконец, удаление газа. Это приводит к быстрому и полному заполнению свободного объема импрегнантом.

Характеристики газа, выбранное время контакта фаз уникальны для каждой системе волокна / смола. Это связано с необходимостью их адаптации к системе. Газ отбирается среди недорогих и легко доступных газов по возможности из числа уже имеющихся в схеме. Выбор оборудования практическ не зависит от типа волокон и смолы.. Процесс допускает непрерывный и периодический варианты оформления.

Эксперименты с графитом и стеклянной основой показали, что использование метода может улучшать качество пропитки волоконного материала и на 30 % и уменьшать время пропитки причем эффект ускорения процесса усиливается для импрегнантов с более высокой вязкостью.

Рынок изделий из армированных полимерных материалов постоянно расширяется. Стоимость адаптации оборудования к новому процессу незначительна, поэтому, по крайнейней мере в 2 раза сокращаются затраты на стадию пропитки и на 30% уменьшается себестоимость продукции. Для клиента эффект будет заключаться в уменьшении цены изделия при улучшении его потребительских качеств.

Технология может быть использована также при изготовлении аэрокосмических и автомобильных узлов и деталей, стройматериалов, лент транспортера, защитной одежды, кораблей, спортивных товаров и шин. Метод может также легко адаптироваться для текстильной промышленности. Здесь, все волокна и ткани переносят некоторую "пропитку" путем, например, погружения с целью окраски, обесцвечивания, придания свойств водонепроницаемости и т.д. Метод похволяет увеличить производительность и улучшить качество продукции.

Выщелачивание и извлечение металлов.

Многие металлы производят, используя гидрометаллургические процессы, которые включают предпочтительное растворение элемента или его соединения из руды подходящей жидкостью.

Основой такого твердо - жидкостного извлечения является прохождение выщелачивающего агента через твердое тело при возможно наиболее тесном контакте фаз. Последнему, однако, препятствует воздух, заполняющий поры внутри частиц, и блокирующий проникновение экстрагента внутрь пор. Это приводит к медленному и неполному извлечению. Следовательно, для увеличения скорости диффузии желательно устранить воздушные пробки в обрабатываемом материале.

Проект нацелен на развитие высокоинтенсивного, эффективного, экологически дружественного и дешевого метода, обеспечивающего наиболее глубокое извлечение ценных компонентов из твердых материалов.

Метод требует только незначительных изменений существующего оборудования и может делать ненужным использование дорогого оборудования высокого давления или вакуумного. Это обеспечивается относительно простой обработкой исходного материала непосредственно перед контактом с экстрагентом. Предварительная обработка устраняет весь воздух, находящийся в порах, путем реализации следующей последовательности операций: нагрев материала, введение определенного газа, удаление газа.

Преимущество такой предварительной обработки в том, что ее удобно сочетать с другими средствами заполнения пор жидкостью (использование автоколебаний, импульсное изменение давление, акустические поля и др.).

Характеристики выбранного газа и время отдельных стадий уникальны для каждой системы жидкость- твердое тело. Это связано с необходимостью их адаптации к системе. Газ будет отобран среди недорогих и легко доступных компонентов, уже имеющихся в системе.

Лабораторные и промышленные эксперименты показали, что метод является эффективным и легко регулируемым для различных варпантов производства. Обработка исходного материала производится очень быстро и способствует полному контакту между твердым телом и экстрагентом. Этот увеличивает производительность, улучшает качество продукции и уменьшает потери.

С помощью гидрометаллургии производят более 20 % всемирного производства меди 50-70 % цинка и никеля, около 100% кадмия, кобальта, редких и драгоценных металлов, окиси алюминия и урана. В то время, как количество извлекаемых металлов увеличивается, их соответствие возрастающим требованиям монотонно понижается. Потребность в использовании все более бедных руд при сохранении и даже уменьшении энергозатрат энергии делает метод особенно своевременным.

Метод легко реализуется при гибкой форме производства, которая может использоваться для обработки большого многообразия исходных материалов, наприаер, при восстановлении глинозема, кадмия, кобальта, меди, золота, никеля, платины, серебра, окиси урана, цинка и т.д.

Создание металлоуглеродистых соединений.

Композитные графито-металлические (медь – графит, серебро – графит и др.) материалы наиболее часто используют в электрических контактах, особенно скользящих. Другая главная область их применения - подшипники скольжения.

Инфильтрация широко используется для создания таких композитов. Порошок графита, огнеупорного металла или карбида сначала уплотняют в каркас желательной формы (или специально разделяют заготовку большого размера на заготовки нужной формы и размера). Затем заполняют серебром или медью поры каркаса. Кроме того, используют инфильтрацию медными сплавами, чтобы улучшить характеристики порошковых материалов из железа в металлургии.

Обычно процессы инфильтрации являются относительно медленными. Делается все возможное, чтобы обеспечить максимальную плотность, желательную для оптимальных характеристик готовых изделий. Часто остается незаполненным значительная часть объема пор, потому что

жидкий металл не может полностью заполнить внутренние полости каркаса, заполненные воздухом. Последнее особенно актуально для изделий, каркас которых выполнен из графита ввиду плохой смачиваемости последнего.

Вакуум, высокое давление и другие методы традиционно используются для обеспечения более полного проникновение пропитывающего материала. Это, однако, редко достигается, даже при использовании дорогого оборудования, длительного времени пропитки и значительных дополнительных затрат.

Вот, например, описание типового многостадийного процесса для производства серебряно-графитовых контактов. Вначале графитовые заготовки очищаются продувкой парами бензола в течении 24 часов. Затем проводится промывка графитовых заготовок в дистиллированной воде, сушка в печи. После этого заготовки графитовых контактов загружают в вакуумный аппарат и вакуумируют 1 час. Начинают поднятие температуры до 120 С и поддержание в течении 30 минут. Затем начинают понижение температуры со 120 С до 70 С в течении 30 минут. Параллельно раствор нитрата серебра (плотность 1.8 до 1.9 г/см3) нагревают при вакуумировании до 110 С, после чего подают в вакуумный аппарат с графитовыми контактами (когда температура в последнем достигнет 70 С, а вакуум достигает 5х 10(-2) Torr). Графит находится в растворе нитрата серебра в течении 1 часа, после чего импрегнированный материал обмывается в дистиллированной воде с использованием ультразвуковой чистящей системы. Затем материал высушивается в печи при 100 С, импрегнированные графитовые контакты пакуются в ящики из нержавеющей стали со слоями кальцинированного нефтяного кокса и помещаются в печь, где нагреваются до температуры 444 С в течении 5 часов для декомпоцизии солей серебра. После этого печь охлаждают и повторяют весь процесс пока не будет достигнут желаемый вес графитовых контактов (исходный вес графитового контакта 0.2 г, и после импрегнационных циклов желаемый вес составляет 0.4 г).
Проект направлен на развитие быстрого, эффективного и дешевого метода, позволяющего обеспечить совершенную инфильтрацию скелетных тел медью и серебром, сплавами олова, свинца и др..

Метод устраняет потребность в вакууме или оборудовании высокого давления и может потребовать только небольших изменений в существующем оборудовании. Это достигается относительно простой предварительной подготовкой каркаса непосредственно перед пропиткой. При предварительная обработке удаляется воздух, находящийся в порах, нагревается каркас, вводится а затем удаляется определенный газ. Это позволяет включить в процесс практически весь объем пор и приводит к их полному заполнению в течение инфильтрации. Газ и кинетические параметры процесса уникальны для каждой системе основа /пропитывающий материал. Это требует их адаптации к системе. Газ выбирается среди недорогих и легко доступных вариантов, обычно уже используемых в технологии.

Лабораторные и промышленные эксперименты с медью и графитом показали, что технология обеспечивает почти теоретически возможную плотность изделий при значительном сокращении времени обработки и энергопотребления, улучшении качества продукции и уменьшении эмиссии загрязнителей.

Спрос на материалы для электрических контактов и подшипники скольжения постоянно возрастает. Стоимость адаптации оборудования к новому процессу незначительна. Для потребителей продукции важно возможное уменьшение цены и улучшение технических характеристик зделий, в частности увеличение длительности их жизненного цикла.

Расширение области применения возможно для производства подшипников скольжения для различных машин и механизмов, скользящих контактов (токосъемников) для электровозов и электротранспорта, щетоки для электродвигателей и т.д.

Пропитка при создании электродов для никелево- кадмиевых аккумуляторов.

В Ni-Cd аккумуляторах используют электроды из никеля, при изготовлении которых используют процессы, которые включают многократные циклы погружения пористой основы из металлического никеля в раствор солей никеля с промежуточной сушкой для кристаллизации внутри капилляров и пор и последующей аналогичной обработкой электродов в щелочных растворах.

Поры в заготовках, изготовленных обычно методами порошковой металлургии из карбонильного никеля, изначально заполнены воздухом, который блокирует проникновение импрегната в некоторых из таких полостей. Хотя процесс погружения повторяется многократно, пропитка остается неполной, и качество конечного продукта может быть неудовлетворительным. Желательно реализовать метод устранения воздушных пробок в основе. Вакуумное оборудование и автоклавы традиционно используют для этого. Однако, они являются дорогими, потребляют значительное количество энергии и не всегда эффективны. Так как процесс погружения повторяется многократно, желательно сократить количество и длительность циклов.

Проект направлен на развитие быстрого, эффективного и дешевого метода, позволяющего обеспечить совершенную технологию пропитки и сушки в производстве никелевых электродов аккумуляторов.

Метод не требует использования вакуума или оборудовании высокого давления и может потребовать только небольших изменений в существующем оборудовании. Развитие технологии достигается относительно простой предварительной подготовкой каркаса непосредственно перед пропиткой. При предварительная обработке удаляется воздух, находящийся в порах, нагревается каркас, вводится а затем удаляется определенный газ. Это позволяет включить в процесс практически весь объем пор и приводит к их полному заполнению в течение инфильтрации. Промежуточная и окончательная сушка проводится в том же аппарате, что и пропитка(при этом устраняется необходимость транспортировки в сушильную камеру после каждого акта пропитки. Газ для заполнения пор и сушки а также кинетические параметры процесса уникальны для каждой системы. Это требует их адаптации к системе. Газ выбирается среди недорогих и легко доступных вариантов, обычно уже используемых в технологии.

Лабораторные и промышленные эксперименты с заготовками, предназначенными для создания никелевых электродов показали, что метод является эффективным и легко приспосабливаемым к различным вариантам производства. Пропитка ускоряется в десятки раз, при этом обеспечивается практически полное заполнение пор. Это увеличивает производительность и улучшает качество изделий.

Рынок продвинутых Ni-Cd аккумуляторных батарей и соответственно никелевых электродов постоянно расширяется. Стоимость адаптации оборудования к новому процессу незначительна.

Для потребителя прибыль будет связана с уменьшенных цен, а также с улучшением качества продукции и увеличением длительности жизненного цикла аккумуляторов.

Метод можно использовать также при производстык аккумуляторных батарей, сухих элементов, конденсаторов, пористой керамики и т.д.

Пропитка дерева и бумаги.

Дерево и бумагу обычно пропитывают различными защитными средствами, в частности, антисептиками и инсектицидами, а также высокомолекулярными составами, чтобы обеспечить требуемые свойства изделия.

Эти процессы трудоемкие, потому что проникновению жидкости препятствует воздух, который заполняет поры, имеющиеся в любом изделии из дерева Даже однослойную фанеру толщиной от 0.3 до 0.8 мм, пропитка смолой длится 1 час в открытом резервуаре и 30 минут при давлении 0.4-0.8 Мпа.

Различные методы, вакуумной обработки, наложения акустических колебаний на жидкость и т.д. используют, чтобы облегчить процесс пропитки. Однако, зачастую это дорого, процессы длительны и допускают только ограниченную предварительную обработку и незначительную глубину проникновения.

Необходим простой, недорогой, экологически дружественный, точный и быстродействующий метод пропитки заготовок и изготовления изделий.

Метод устраняет использование вакуума или оборудования высокого давления и может потребовать только незначительные изменения в существующем оборудовании. Основой является простая трехстадийная подготовка дерева и изделий непосредственно перед пропиткой. Предварительная обработка приводит к удалению воздуха, находящегося в порах, за счет нагрева материала, введения и затем удаления определенного газа. Это включает в процесс каждую пору и приводит к их мгновенному и полному заполнению в течение последующего погружения. Технологический газ и параметры обработки уникальны и адаптированы для каждой системы.

В экспериментах с железнодорожными шпалами глубина проникновения антисептического раствора за один цикл была увеличена в 1.7- 2.2 раза в зависимости от разновидности дерева. Наблюдалось некоторое сокращение необходимого количества . Процесс таким образом предлагает уменьшенные затрат, увеличение производительности, сокращение отходов и более полное использование импрегнанта.

При всемирном ежегодном объеме древесины, оцениваемом приблизительно в 1,000,000,000 м3, пропитка даже небольшой части даст значительную прибыль и позволит уменьшить техногенную нагрузку на окружающую среду благодаря уменьшению количества необходимых химикатов и улучшению качества конечных продуктов.

Любой завод, который обрабатывает дерево и изделия, может использовать новый метод пропитки. Процесс прокладывает путь появлению новых, экологически дружественных материалов, основанных на использовании дерева (например, древесина, пропитанная полиэтиленом, тефлоном, ПЭТ. Другой подход к защите окружающей среды - это изготовление стройматериалов, мебели и т.д., с использованием отходов пищевой промышленности и сельского хозяйства, типа шелухи семян подсолнечника, жома сахарной свеклы, скорлупы орехов, ваты и т.д.

Контрольные вопросы по главе 9

1. Какие вы знаете процессы обработки капиллярно – пористых тел?
2. Какие виды пор имеются в пористом теле? Какие из них доступны для обработки?
3. Когда применяют математическое планирование эксперимента? С какой целью?

4. Назовите технологии обработки капиллярно- пористых тед, упоминавштеся в данному учебном пособии?
5. Назовите хотя бы несколько известных вам разработок ученых кафедры ОХВУ ДХТУ, связанных с разработкой новых эффективных технологий обработки капиллярно – пористых тел.

Литература

1. Использование системного анализа и синергетических эффектов при проведении пропитки капиллярно – пористых материалов. Материалы Международной научной конференции: ”Современная наука: теория и практика. Научные итоги - 2014”, сентябрь 2015 г. (совместно с асп.Гамовым М.)
2. Продвинутая технология пропитки капиллярно-пористых тел. МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ «ИМПРЕГНАЦИЯ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ ТЕЛ» 26-28 октября 2012 г. Днепропетровск, стр 1-22
3. Методы импрегнации строительных материалов гидрофобизирующими и герметизирующими компаундами. МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ «ИМПРЕГНАЦИЯ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ ТЕЛ» 2012 г. Днепропетровск, стр 25-34
4. Отримання (нано) композитних матеріалів шляхом термоконденсаційної імпрегнації МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ «ИМПРЕГНАЦИЯ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ ТЕЛ» 2012 г. Днепропетровск, стр 25-34
5. ИНЖЕНЕРНЫЕ СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.- Материалы Всеукраинской научной конференции,с международным участием,,“ИНЖЕНЕРНЫЕ СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ”, г.Днепропетровск, 2013 г.
6. Создание универсальной блочно-модульной опытной установки исследования процессов импрегнации капиллярно-пористых тел. МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ «ИМПРЕГНАЦИЯ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ ТЕЛ» 2012 г. Днепропетровск, стр 39-40

Глава 10. Гибкость химико- технологических установок.

Преамбула. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГИБКОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Первоначально наибольшее распространение ГАПС получили в машиностроении (процессы механообработки), где сформировались основные типичные структуры — модули, объединенные в технологические линии или участки. Перспективным направлением технического перевооружения предприятий, хорошо зарекомендовавшим себя в машиностроении, является перестройка их по принципу гибких автоматизированных производственных систем (ГАПС). При этом обеспечиваются расширение номенклатуры, экономия капиталовложений, быстрая ресурсосберегающая переналадка на выпуск новой продукции или перенастройка на изменяющийся состав сырья, повышение качества продукции, ритмичная работа и увеличение коэффициента использования оборудования, возможность организации комплексной переработки сырья, повышение надежности технологических систем, значительное высвобождение обслуживающего персонала из сферы производства, снижение себестоимости продукции и т. д. Анализируя накопленный опыт машиностроителей в разработке и реализации ГАПС, следует отметить, что эти системы не могут заменить все традиционные виды производств, их область применения широка, но вместе с тем не беспредельна. При их освоении главные трудности были связаны с тем, что развитие элементных составляющих происходило неравномерно во времени и зачастую автономно. Сложность интеграции всех составляющих ГАПС обусловила

многочисленные исследования в этом направлении. Оказалось, что затраты на сравнимые по техническим показателям системы различаются в 5-7 раз. Кроме того, для создания и освоения ГАПС необходимо не только учитывать научно-технические аспекты, но и предусматривать комплекс организационных мероприятий.

В работах, посвященных созданию ГАПС в химической промышленности, большое внимание уделяется методам исследования, анализа и синтеза ГАПС; вопросам оптимизации, интенсификации управления и информационного обеспечения; созданию гибких технологий и оборудования; системам автоматизированного проектирования (САПР); автоматизированным системам научных исследований (АСНИ). Решение многих из этих вопросов возможно лишь на основе использования принципов и методов системного подхода.

Основными иерархическими уровнями, на которых решаются вопросы гибкости химико-технологической системы (ХТС), являются структура химических производств, гибкие химико-технологические модули (ХТМ) и системы управления ими.

Вопросам создания ГАП.С в химической промышленности посвящены работы многих советских и зарубежных специалистов: академиков В. В. Кафарова и В. А. Легасова, профессоров И. Д. Зайцева, Л. С. Ямпольского, И. Броуна, Т. Форетери и др. Много работ нашей научной школы также было посвящено ГАПСам. В этих работах показана целесообразность использования принципов ГАПС в качестве основного направления технического перевооружения химических и, в особенности, многоассортиментных производств. И все же в настоящее время накоплен лишь сравнительно небольшой опыт по решению частных задач создания ГАПС в химической промышленности.

Проблемы, связанные с переводом химической технологии на рельсы ГАПС, пока находятся в стадии развития и совершенствования. В целом создание ГАПС не может быть осуществлено без обеспечения технологической и конструктивной гибкости установок, при этом создание ГАПС не следует рассматривать как самоцель, так как добиться значительного расширения ассортимента и обеспечить его быструю сменяемость можно при увеличении всех видов гибкости, при минимальном уровне автоматизации. В связи с этим возникла необходимость разработки и создания теории построения ГАПС в химической технологии, учитывающей ее специфические особенности и основанной в отличие от подходов, используемых в машиностроении, на принципах системного анализа и его основного оружия – синергии, а также применении методов моделирования и достижений кибернетики.

Опыт оптимизации многоассортиментных ХТС с гибкой структурой в анилинокрасочной промышленности, где впервые еще в СССР начали проводить работы в области ГАПС, показал, что гибкость ХТС обеспечивается созданием мобильных блоков и оперативной перестройкой их структур при смене номенклатуры производства. Используемый в этом случае принцип мобильности заключается в декомпозиции жестких индивидуальных и совмещенных ХТС на элементарные составляющие — узлы, каждый из которых осуществляет определенный химико-технологический процесс (ХТП). Для полной реализации мобильности необходим выбор вариантов сочетаний модулей. Производства с такой гибкой структурой позволяют увеличить выпуск продукции в 2—3 раза.

При решении задачи оптимизации аппаратурного оформления гибких ХТС с целью расширения номенклатуры и увеличения объема производства выделяют /26, 30, 31/ следующие возможные ситуации: высвобождение части оборудования, введение дополнительного оборудования, замену

нескольких видов оборудования. Ограничениями данной задачи являются технологические режимы, требования к качеству продукции и временной интервал, характеризующий производственный цикл. Уменьшить "жесткость" этих ограничений можно, увеличивая гибкость как самой технологии, так и ее аппаратурного оформления.

Гибкость технологии при разработке аппаратурного комплекса, предназначенного для выпуска продуктов реактивной квалификации, обусловливается тем, что на функциональных блоках, имеющих конструкционную избыточность, реализуется некоторое число ХТП с развитой распределенной структурой управления.

В этих случаях структурная избыточность ГАПС характеризует степень ее детерминированности в плане жесткости связей и соответствующих структурных вариаций топологии оборудования, технологических схем и режимов функционирования.

В качестве основного направления развития многоассортиментных химических производствах с периодически режимом работы также предлагается создание ГАПС, при этом отмечены простота аппаратурного оформления таких производств и надежность их функционирования. Отмечено, что в многоассортиментных отраслях химической промышленности прогнозируется преобладание периодического способа организации технологических процессов, и в связи с этим выделена важная проблема технологической и организационной интенсификации производства с целью повышения его технико-экономической эффективности. Сложность данного подхода заключается в необходимости содержания значительного числа вспомогательных емкостей и в трудности согласования режимов их функционирования. Однако вывод о целесообразности создания ГАПС только для периодических процессов неверен.

Итак, одним из основных путей интенсификации многих химических производств является их организация по принципу ГАПС, что подтверждено многочисленными предпроектными исследованиями, включающими анализ производства, обоснование необходимости применения ГАПС, оценку возможности их организации, синтез топологической структуры, разработка и внедрение. Показано, что главной научной проблемой является формирование полного множества показателей (критериев качества), учитывающих все фазы производства и позволяющих всесторонне оценивать его эффективность, причем перечень основных критериев должен быть составлен с учетом целой системы показатепей для каждого иерархического уровня.

Ввиду того что в химической промышленности велик удельный вес вспомогательных операций, целесообразной (как и в машиностроении) считается организация ГАПС в виде роботизированных комплексов. Построение ГАПС — это решение комплекса таких взаимосвязанных и взаимообусловленных проблем, как определение цели, создание аппаратурного оформления, выбор систем управления, обслуживания, методов проектирования и ремонта и т. д. Оптимальная гибкость — компромисс между избыточностью оборудования и риском потерь, приводящих к невозможности воспроизвести требуемый ассортимент продукции. Кроме того, сформулированы принципы адаптации при построении ГАПС на стадии совместного проектирования ХТС и систем управления. В этом случае понятие "гибкость" формируется из совокупности технологической, маршрутной и управленческой гибкостей, а также гибкости ассортимента. Обеспечение высокой гибкости производства возможно лишь с использованием принципов адаптации не только на этапе проектирования ГАПС, но и в процессе их функционирования.

Анализируя исследования, посвященные созданию и внедрению ГАПС в химической промышленности, можно сделать вывод о том, что основными элементами, составляющими ГАПС, являются; гибкая технология, гибкая аппаратура, гибкая система управления ХТП и ХТС в цепом, система информационного обеспечения, экспрессные методы анализа, синтеза, автоматизации научных исследований и САПР.

Достигнутые успехи в разработке теоретических основ создания ГАПС в химической промышленности относятся главным образом к отдельным элементным составляющим, а проблема их полной интеграции, к сожалению, пока практически не рассматривалась. Ограничена информация о принципах и методах обеспечения гибкости ХТС, отсутствуют сведения о количественных характеристиках гибкости, недостаточно описаны и формализованы процедуры анализа, синтеза и оптимизации ГАПС. Затронуты лишь отдельные вопросы, относящиеся в большинстве случаев к созданию адаптивных систем управления ГАПС.

Таким образом, широкий и постоянно обновляющийся ассортимент используемого сырья и выпускаемой продукции, многостадийность ХТП, неоднородность и нестабильность технологической структуры ХТС, многообразие физико-химических свойств требуют разработки новых подходов к созданию ГАПС в химической промышленности. При

этом необходимо комплексное повышение эффективности химических производств малого и среднего тоннажа в создаваемых ГАПС поскольку эти производства отличаются самым высоким материальным индексом используемого сырья, большим количеством образующихся отходов производства, значительным расходом энергоресурсов и др.

В то же время. ряд не менее важных проблем, решение которых необходимо для реализации комплексной программы создания ХТП на основе ГАПС, таких, как обеспечение технологической гибкости, разработка методов анализа и синтеза оптимальной структуры ГАПС на основе системного подхода, совершенствование и унификация гибкого оборудования и модулей для ГАПС и других, пока недостаточно разработан. Следует отметить, что вопросам расширения гибкости и использования возможностей техники ГАПС уделяется внимание в производствах с относительно устойчивой номенклатурой: биохимических, синтетических моющих средств, элементоорганических соединений, анилин окрасочных. Однако в ряде отраслей, где переход на рельсы гибких установок наиболее целесообразен, этим вопросам уделяют явно недостаточное внимание. Среди них производства химических реактивов и особо чистых веществ, катализаторов, средств защиты растений, производства фармацевтической промышленности.

11.1. Аппаратурное оформление гибких химических производств на основе блочно – модульного подхода.

Выше в пособии уже было отмечено, что в условиях рыночной экономики одним из важных требований к ХТС является обеспечение из высокой гибкости – возможности работать при значительных изменениях физико-химических свойств реагентов, расхода взаимодействующих компонентов, давления и температуры в аппаратуре. Это позволяет быстро компенсировать изменение требований рынка к номенклатуре и качеству продукции установки. Очень важно, чтобы гибкость оборудования ХТС, реализуемой в ней технологии и системы управления были соизмеримы.

В связи с этим, основным направлением технического перевооружения мало- и среднетоннажйых химических производств является создание гибких автоматизированных производственных систем (ГАПС) – как сложных производственных комплексов, ориентированных на многономенкпатурную

продукцию непостоянного ассортимента, способных быстро и с минимальными затратами ресурсов автоматически перестраиваться на выпуск новой продукции, переработку новых видов сырья или организацию новых технологических процессов, высвобождающих из сферы производства значительное количество обслуживающего персонала и позволяющих таким образом значительно снизить себестоимость продукции.

Мы уже обсуждали то, что ГАПС целесообразно использовать, прежде всего, в производствах лакокрасочных материалов, красителей и органических промежуточных продуктов, химических реактивов и особо чистых веществ, химико-фармацевтических препаратов, пестицидов, некоторых полимерных и композиционных материалов, а также изделий из них и др.

В преамбуле к этой главе, отмечено, что определенный опыт создания ГАПС накоплен в машиностроении, однако объекты химической технологии, сама технология и техника ее реализации имеют существенные отличия: другие агрегатные состояния, токсичность, физико-химические свойства вещества, изменяющиеся во времени и в пространстве, специфические требования к герметичности оборудования, обеспечению пожаро- и взрывобезопасности и т. п., поэтому химикам для создания ГАПС нужны принципиально иные теоретические подходы. Методология создания ГАПС, предложенная автором пособия и его учениками основана на достижениях системного анализа, применении методов синергетики, элементов моделирования и кибернетики (совместно со школой акад.Кафарова В.В. и с учеными ВНИИИРЕА). С ее использованием были созданы также принципиальные основы управления ГАПС с помощью программно-технических комплексов на базе мини- и микроЭВМ, а также робототехники.

Поскольку техника ГАПС — это единство современных технологий, оборудования и средств управления ими, а данное пособие предназначено, прежде всего, для будущих механиков химических производств, особое внимание уделим созданию "гибких" химических технологий и "гибкого" химико-технологического оборудования.

Блочно-модульный принцип является одним из конструктивных методов обеспечения "внутренней" гибкости оборудования за счет трансформирования внешней и внутренней структуры аппарата в зависимости от его назначения. Преимущество этого метода заключается в возможности приспособления оборудовании к переменным нагрузкам по сырью, различным физико-химическим свойствам перерабатываемых систем. Этот метод также позволяет создавать нестандартные конструкции аппаратов, максимально учитывающие специфику химико-технологических процессов (ХТП), наиболее рационально использовать движущую силу процессов, минимизировать потребление топливно-энергетических ресурсов и сырья.

Одним из наиболее ответственных этапов синтеза высокоэффективных химико-технологических систем (ХТС) является разработка инженерно-аппаратурного оформления для реализации ХТП. В настоящее время данный этап является наименее формализованным и требует максимального использования квалификации и интуиции разработчика. Опыт показывает, что выбор конструкции аппарата определяет во многих случаях не только эффективность работы ХТС, но и технико-экономические показатели создаваемого производства в цепом.

Далее в пособии рассмотрены общие вопросы синтеза ХТС применительно к многономенклатурным химическим производствам, конструирования унифицированных элементов, формирующих структуру ХТС. Предложены алгоритмы, обеспечивающие выполнение основных этапов создания высокоэффективного производства блочно-модульного типа с минимальной функциональной избыточностью и трансформируемой топологической структурой.

Представлены информационные банки или их фрагменты, обеспечивающие решение поставленных задач.

11.2. Применение блочно- модульного принципа при конструировании комбинированных аппаратов в производстве химических реактивов.

Перед химической промышленностью Украины стоит задача не только возрождения большинства производств, но и расширения и обновления номенклатуры химической продукции в соответствии с потребностями различных отраслей народного хозяйства, современной науки, аналитической практики в химически чистом сырье и материалах, решение которых только существующими организационными и техническими приемами невозможно /1, 2/.

Применение в малотоннажных производствах традиционного подходов "большой" химии, когда каждому веществу соответствует своя технологическая установка, стало тормозом для развития химической промышленности. Проблемы при решении этой задачи заключаются не только в необходимости дополнительных производственных площадей, оборудования, трудовых ресурсов, но и в сложности использования современных средств контроля, регулирования и управления, необходимость точного и своевременного анализа и т. д., а также в связи с рядом особенностей малотоннажной химии, среди которых необходимо выделить следующие:

- многообразие используемых процессов как традиционных для химических производств: реакционных, тепломассообменных, гидромеханических, так и новых: плазмохимических, селективного обмена, мембранного и термодиффузионного разделения и др.;
- широкая номенклатура продукции и ее нестабильность в результате постоянной тенденции к расширению и обновлению;
- повышенные требования к чистоте продукта, обусловливающие особое внимание к выбору техники очистки и подбору материала и конструкции оборудования;
- большой диапазон изменения характеристик ХТП;
- многостадийность или многооперационность ХТП.

Действующие производства химических реактивов характеризуются рядом существенных недостатков:

- низкой эффективностью элементарных ХТП, вследствие этого большой длительностью отдельных стадий и всего производственного цикла по выпуску каждого реактива; длительностью перехода от выпуска одного реактива к выпуску другого,
- периодичностью процесса и низкой степенью автоматизации производства, низким выходом целевого продукта, значительными нормами расхода сырья, высокой долей ручного труда, большим объемом сточных вод и выбросов в атмосферу.

Создание новых и техническое перевооружение действующих производств химических реактивов возможно только с использованием и развитием применительно к малотоннажным химическим производствам методов системного анализа /1, 3—5/ и дальнейшим преобразованием их в так называемый модульный подход, учитывающий особенности малотоннажной химии /4, 6-14/.

Идея модульного подхода не нова и в той или иной степени реализована в радиоэлектронике, строительстве, общем машиностроении. Ее использование в этих отраслях открыло возможности максимальной стандартизации, унификации и агрегатироаания, что позволило существенно снизить сроки проектирования новых производств и конструирования нового оборудования /1, 15, 1б/.

В малотоннажной химии в настоящее время широко используются установки блочно-модульного типа, состоящие в основном из емкостного реактора с мешалкой, сборников и теплообменников.

Такое решение не позволяет реализовать многообразие ХТП с высокой эффективностью использования оборудования.

Ведущие фирмы капиталистических стран, выпускающие реактивы, также применяют установки, построенные по блочно-модульному принципу, но они осуществляют выпуск комплексных установок узкой специализации нетрансформируемой структуры. Данный подход не позволяет с достаточно высокой степенью учесть особенности каждого реализуемого процесса.

Создание высокоэффективных химико-технологических аппаратов (ХТА), максимально учитывающих специфику процессов, проводимых в них, наряду с оптимальной организацией всей структуры производства, позволит решить задачу технического перевооружения производств химических реактивов.

В настоящее время известно большое количество методов конструирования различных модульных технологических систем: автомобилей, самолетов, зданий, ракетоносителей, радиоэлектронных устройств и других, базирующихся на использовании узкоспециализированных алгоритмов /6-8, 17/, что затрудняет их использование при создании химических производств.

Обычно в химических производствах применяют методы подбора оборудования, основанные на расчетах материальных потоков /9/, что до предела упрощает процедуру выбора конструкции, однако эти методы не предполагают использование каких-либо критериев оценки правильности выбора, вследствие чего выбранные конструкции часто не являются оптимальными. Возникает необходимость поиска других методологических подходов к решению проблемы. Анализ отечественной и зарубежной литературы /3, 4, 6—8, 17—23/ позволяет сделать вывод о том, что наиболее эффективным направлением развития блочно-модульного принципа является разработка нестандартных специализированных ХТА.из набора стандартизированных унифицированных модулей.

К унифицированным модулям, формирующим структуру производства химических реактивов, предъявляются следующие требования:

1. универсальность, т. е. возможность проведения отдельных физико-химических процессов и их совокупности;
2. конструктивная завершенность, обеспечивающая высокие технико-экономические показатели функционирования;
3. взаимозаменяемость модулей даже многофункционального назначения, обеспечиваемая унификацией узлов стыковки и примыкания;
4. функциональная полнота модулей, позволяющая с высокой эффективностью проводить совмещенные стадии процесса;
5. высокая эксплуатационная надежность каждого типа модулей, гарантирующая надежность блочно-модульной установки в цепом;
6. ремонтопригодность модулей, вытекающая из требований взаимозаменяемости, и возможность их эффективной промывки и чистки.

При этом необходим оптимальный набор модулей при соблюдении принципа жесткого ограничения числа их типов и количества модулей в одном метрическом ряду. Основным условием применения блочно-модульного принципа является совместимость модулей. Следует учитывать не только конструктивную и эксплуатационную совместимость, но и энергетическую, так как именно последняя определяет возможность организации высокоэффективных энерготехнологических комплексов производств.

11.3. Классификация унифицированных модулей.

В настоящее время не существует единой классификации модулей и общепринятой терминологии в описании блочно-модульного принципа. Специалисты, работающие в различных отраслях (приборостроение, радиотехника, авиастроение, космическая техника),предлагают рассмотрение этого вопроса на основе разных иерархических уровней /5, 6, 9, 10, 17, 18, 21/. Мы считаем удобным и целесообразным классифицировать унифицированные и нестандартные специализированные модули по признаку общности выполняемых технологических операций, а сущность модульных принципов оформления химико-технологических комплексов производств химических реактивов следует рассматривать на 6 основных уровнях декомпозиции модулей, каждый из которых является базовым для последующего. Каждый модуль высшего уровня представляет собой унифицированный блок, состоящий из нескольких модулей более низкого уровня.

Модуль первого уровня - контактное устройство (КУ) или устройство, обеспечивающее связь между модулями одного уровня сложности, например переливное устройство.

Модуль второго уровня - унифицированный элемент (УЭ), например контактная ступень в колонном аппарате, перемешивающее устройство в реакторе и т. д.

Модуль третьего уровня — унифицированный технологический модуль (УТМ) - стандартизированная единица оборудования минимальной сложности, выполняющая определенные технологические функции (синтез, перемешивание, фильтрация и т.д.). УТМ отличается от остальных структурных единиц тем, что дальнейшее расчленение модуля на составные элементы ведет к потере возможности выполнить указанные технологические функции. Примером УТМ является секция колонного тарельчатого аппарата, состоящая из цилиндрической царги и тарелок. УТМ может быть выполнен либо в виде неразборной конструкции, либо из отдельных частей, УЭ и иметь различную степень сложности. Так, секция колонного тарельчатого аппарата может быть снабжена змеевиком или рубашкой для теплообмена, иметь различные типы тарелок и т. д.

Модуль четвертого уровня _ унифицированные комбинированные аппараты (УКА), собираются из УТМ и представляют собой функционально-автономные узлы, предназначенные для проведения технологического процесса или совокупности технологических процессов. УКА могут состоять из УТМ одного типа, тогда это просто аппараты, выполняющие один технологический процесс (колонна, испаритель и т.д.), и разнотипных УТМ, тогда это комбинированные аппараты (реактор-десорбер, конденсатор-сепаратор и т. п.).

Модуль пятого уровня - унифицированный агрегатированный блок (БАУ), предназначенный для реализации одного или нескольких процессов химической технологии, представляет собой конст- • руктивно законченный комплекс оборудования, включающий УКА, трубопроводы, насосы, средства контроля и управления, вспомогательные конструкции.

Модуль шестого уровня — автоматизированные технологические комплексы (АТК). БАУ объединяются либо в АТК жесткой структуры, предназначенные для выпуска химических реактивов широкой номенклатуры, либо в АТК трансформируемой структуры, обеспечивающей "гибкость" производства при переходе с одного вида продукции на другой. Трансформируемой структуре АТК должны соответствовать трансформируемые структура и система авто-матизированного управления, которые могут быть реализованы только на базе микроЭВМ.

Таким образом, технологический комплекс производства химических реактивов в соответствии с предлагаемой концепцией представляет собой блочно-модульную установку, выполненную из

нескольких аппаратов или блоков, с соответствующей автоматизированной системой управления, использующей микроЭВМ.

Взаимосвязь модулей М различных иерархических уровней можно представить в виде последовательности, представляющую собой декомпозицию производства химических реактивов по "вертикали"

$$M_1 \rightarrow M_2(\text{УЭ}) = \Sigma M_1 \rightarrow M_3(\text{УТМ}) = \Sigma M_2 \rightarrow M_4(\text{УКА}) = \Sigma M_3 \rightarrow$$
$$\rightarrow M_5(\text{БАУ}) = \Sigma M_4 \rightarrow M_6(\text{АТК}) = \Sigma M_5.$$

Перечисленные модули являются своеобразными материальными носителями бпочно-модульного принципа. При разработке оптимального комбинированного аппарата необходимо осуществить переход от характеристик и требований ХТП к модулям, максимально удовлетворяющим этим требованиям. При этом осуществляется декомпозиция каждого из вариантов модулей "по горизонтали" /24/ с использованием трех классов модулей - операторного, конструкционного и технологического.

Операторный модуль — совокупность типовых технологических операторов (ТТО) /5/, взаимосвязанных между собой единством цепи функционирования /16/. ТТО — это графическое изображение элементарного физикохимического процесса или потока вещества. Совокупность таких процессов и соответственно ТТО составляет ХТП любой сложности. В табп. 10.1 приведены основные ТТО для газожидкостных систем, применяемые в химической технологии /9, 18, 24—27/.

Объединение ТТО соответствует совмещению отдельных элементарных процессов, что зачастую ведет к появлению новых физико-химических эффектов и является действенным средством повышения интенсивности и эффективности комбинированного аппарата.

В табл. 11.2 приведены примеры операторных модулей для газожидкостных систем.

Конструкционный модуль — совокупность конструкционно-функциональных признаков (КФП). При рассмотрении конструкционного модуля не учитываются геометрические параметры, материал, используемый для изготовления аппарата, его конструктивное оформление. КФП могут соответствовать как конкретным элементам (например, мешалка, барботер), так и качественным характеристикам или свойствам (например, направление движения потока).

Таблица 1

Основные типовые технологические операторы для газожидкостных систем

ТТО	Расшифровка ТТО	ТТО	Расшифровка ТТО
Элементарный физико-химический процесс		Поток вещества	
	Химическое взаимодействие		Газ – пар
			Жидкость
	Массообмен		Несмешивающиеся жидкости
	Теплообмен (подвод тепла)		Газожидкостная смесь
	Теплообмен (отвод тепла)		Соединение (слияние) потоков
	Механическое взаимодействие		Разделение потоков (фазоразделение)
			Изменение давления в системе

Таблица 11.1

Таблица 2

Фрагмент информационного блока семантических структур для некоторых элементарных ХТП химических реактивов (газожидкостные системы)

Элементарный ХТП	Фрагмент в ТТО	Операторный модуль
Охлаждение газа (пара)		
Конденсация газа (пара)		
Кипячение жидкости		
Частичная конденсация газа (пара)		
Частичное испарение жидкости (выпарка)		
Абсорбция газа жидкостью		
Жидкостная экстракция		
Химическая реакция между газом и жидкостью, хемосорбция, адиабатический режим		
Химическая реакция между газом и жидкостью, изотермический режим, подвод тепла		

Таблица 11.2

КФП унифицированных модулей газожидкостных аппаратов классифицируются по следующим группам: основные и дополнительные конструкционные признаки, режимы движения контактирующих фаз, способы газожидкостного взаимодействия. Выбрав по одному признаку из каждой группы, можно получить законченное смысловое описание некоторого конкретного конструкционного модуля.

Для графического изображения конструкционных модулей разработана система условных обозначений. В табл. 10.3 приведены примеры конструкционных модулей, являющихся модулями третьего уровня, для газожидкостных систем.

Таблица 11.3

Некоторые конструкционные модули для газожидкостных систем

Условное изображение конструкционного модуля	Конструкционный модуль в ТТО	КФП*
		Прямоточная секционированная ступень
		Противоточная секционированная ступень
		Трубчатая секция для восходящего движения

В данных примерах КФП включают процессы тепло- и массообмена и химического взаимодействия.

Технологический модуль — физически реализованная с оптимальной формой и размерами, изготовленная из определенного материала единица оборудования, которая соответствует одному конструкционному модулю. Конструкционный модуль является промежуточным звеном в процедуре создания аппарата между операторным модулем и конкретной его реализацией в виде технологического модуля. Если операторный модуль характеризует практически "процессорную" составляющую создаваемого производства, то конструкционный модуль - это аппаратурное оформление. Каждый технологический модуль позволяет реализовать определенные элементарные ХТП или их совокупность.

Наиболее употребляемые технологические модули целесообразно унифицировать, так как при этом уменьшается трудоемкость их изготовления и увеличивается возможность тиражирования.

Разработанные унифицированные модули различных иерархических уровней позволяют осуществлять трансформирование установок и создавать разнообразные УКА, отвечающие требованиям ХТП.

11.4. Синтез комбинированных аппаратов.

На основании приведенной классификации модулей разработана методика синтеза инженерно-аппаратурного оформления высокоэффективных ХТП. Основные этапы создания аппаратурного оформления показаны на примере разработки реактора-десорбера для получения о-толуиловой кислоты (рис.10.1).

В качестве исходных данных при решении задачи используется схема синтезированной с помощью многостадийного эвристико-эволюционного метода ХТС (см. рис. 10.1, а) /18, 19, 21, 22, 24, 25, 28, 29/. на первом этапе выделяются операторные модули (см. табл. 10. 2) объединением и перегруппировкой ТТО (см. рис. 11.1, б).

При этом используется априорная и полученная а результате экспериментальных исследований в лабораторных и полупромышленных условиях информация. Принятые на первом этапе решения во многом зависят от инженерного опыта и интуиции разработчика. На этом же этапе решается вопрос о целесообразности интенсификации ХТП с использованием совокупности режимно-технологических приемов. Данный этап будет рассмотрен ниже, на втором этапе производится процедура выбора конструкционных модулей (см. рис. 10.1, в). Третий этап - выбор технологического модуля, реализующего подобранные на предыдущем этапе конструкционные модули (см. рис. 10.1, г), при этом решается и задача их оптимальной пространственной компоновки.

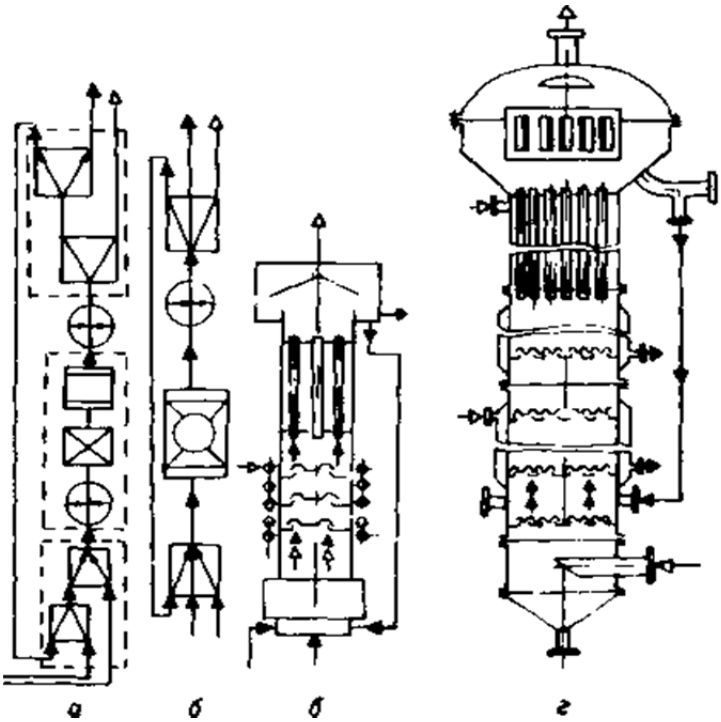


Рис. 11.1. Основные этапы создания комбинированного агрегатированного аппарата из унифицированных модулей для производства о-топуиповой кислоты-

а - схема в ТТО. *б* - схема в операторных модулях; *в* — структура аппарата в конструкционных модулях; г - УКА модульного типа.

Пример показывает, что один нестандартный аппарат из унифицированных модулей позволяет реализовать весь процесс, для чего при традиционном проектировании потребовалось бы создание целого отделения по крайней мере из 8 аппаратов. Рассмотрим основные алгоритмы выбора конструкционного и технологического модулей.

Формирование технического задания на конструирование. Техническое задание включает таблицу требований к аппарату, в которой учитывается необходимость реализации определенных физико-химических процессов в аппарате, заложенных в синтезированной ранее операторной схеме ХТС. Информация в табпице требований разделена на технологическую, конструкционную, эксплуатационную, экономическую и др. Все требования условно делятся на основные и дополнительные. Невыполнение основных требований приводит к прекращению функционирования аппарата, невыполнение дополнительных требований — к ухудшению технологических или технико-экономических показателей эффективности аппарата, требования ранжируются и оцениваются коэффициентами значимости $K_З$. Коэффициент значимости требования - эмпирический параметр, изменяющийся от 0 до 1, позволяющий оценить степень необходимости удовлетворять данному требованию ХТА и определяемый методом экспертных оценок.

Поиск стандартного аппарата. На этом этапе осуществляется попытка использования стандартного аппарата, в достаточной степени удовлетворяющего совокупности требований. Поиск осуществляется по каталогам стандартного оборудования. Если стандартный аппарат, удовлетворяющий приведенным в табпице требованиям, не найден, то принимается решение о целесообразности разработки нестандартного аппарата и уточняется техническое задание на конструирование.

Подбор *конструкционных модулей* осуществляется в соответствии с требованиями к процессам, протекающим в ХТС. Каждому из конструкционных модулей присвоен определенный набор эвристических коэффициентов удовлетворения требованиям *К,* значения которых лежат в пределах от 0 до 1. Коэффициент удовлетворения требованиям количественно определяет возможность конструкционного модуля реализовать определенные физико-химические процессы. Конструкционный модуль может быть описан при помощи совокупности КФП, каждый из которых имеет различное значение *К.* Выбираемый конструкционный модуль должен полностью удовлетворять основным и максимально дополнительным требованиям. Для выбора оптимального конструкционного модуля рассчитывается значение совокупного коэффициента пригодности $K_п$ целесообразно использовать аддитивные критерии пригодности

$$K_п = \sum_{i=1}^{n} K_{У_i} K_{З_i} ,$$

где n - число требований, учитываемых в данной задаче; $K_{З_i}$ — коэффициент значимости, принятый для i-го требования; $K_{У_i}$ — коэффициент удовлетворения i-му требованию.

$K_п$ представляет собой условную функциональную характеристику конструкционного модуля, оценивающую степень приспособления модуля к выполнению совокупности предъявляемых требований с учетом их значимости. При помощи $K_п$ оцениваются альтернативные варианты

инженерно-аппаратурного оформления каждого ХТП, при этом можно проследить влияние любого параметра на значение K_n, Для всех конструкционных модулей рассчитывается значение K_n и для дальнейшей разработки отбирается заданное небольшое число конструкционных модулей, у которых эти значения наибольшие .

Определение *геометрических размеров аппарата, подбор материала.*

На этом этапе по известным методикам производится расчет основных геометрических размеров аппарата в соответствии с заданными технологическими характеристиками потоков.

Подбор технологических модулей.

Каждому конструкционному модулю соответствует определенный тип технологического модуля, имеющий несколько типоразмеров, объединенных в параметрический ряд. На данном этапе на основе расчета размеров модуля осуществляется выбор необходимого типоразмера технологического модуля.

Синтез графических изображений аппарата и его узлов выполняется при помощи технических средств отображения графической информации или вручную. Разработка оптимального ХТА заканчивается подготовкой рекомендаций по монтажу аппарата из модулей, его внедрению и эксплуатации.

Эффективное сочетание различных модулей при конструировании аппаратов, выполняющих несколько последовательных операций, возможно осуществлять по алгоритму, блок-схема которого приведена на рис. 10.2. Эта блок-схема предполагает сравнительный анализ вариантов конструктивных решений на стадиях 7, 8, который по аналогии с методикой модульного конструирования электронной аппаратуры целесообразно осуществить на основе общей теории исследования систем в четыре этапа /17/:

- содержательное исследование, сводящееся к качественном у описанию связей между модулями,
- формализация моделированием ,
- квантификация (количественное выражение качественных признаков);
- разработка конкретного оформления аппарата.

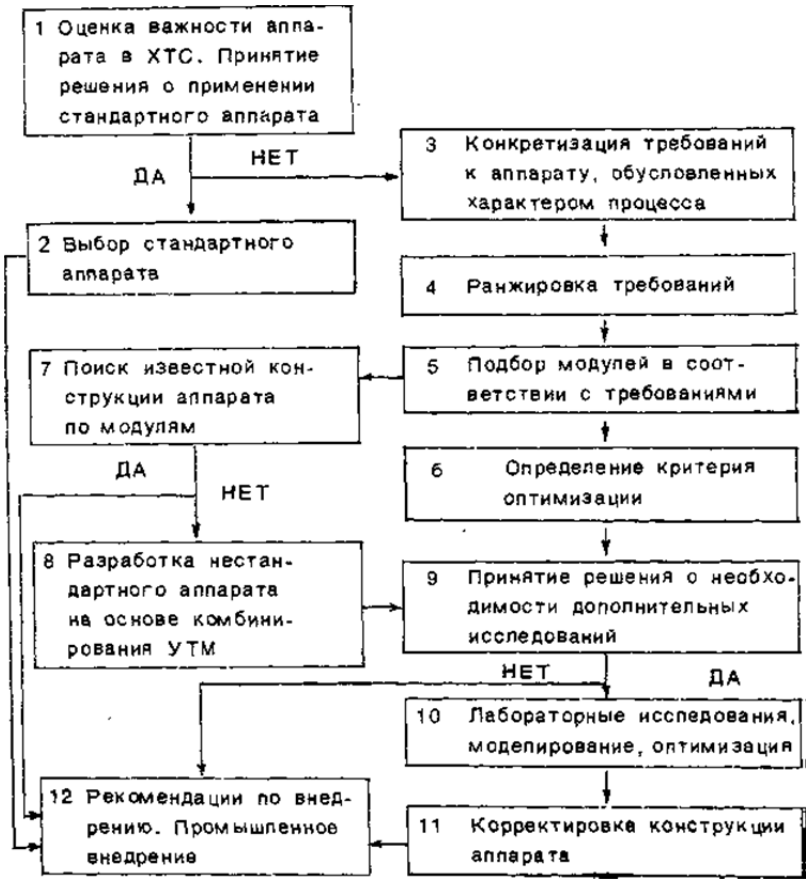


Рис.11.2. Блок-схема алгоритма конструирования, выбора и оценки оптимального аппарата для ХТС

Последовательность подбора модулей по требованиям определяется коэффициентами значимости и осуществляется переходом от наиболее к наименее значимым требованиям. Сначала подбирают модули, образующие общую структуру аппарата или ХТС. При этом решается задача совмещения некоторых технологических операций в одном аппарате, если использование модулей позволяет реализовать такое совмещение. Затем подобный подбор осуществляется в той же последовательности для модулей более низкого уровня.

Для модулей можно использовать известный метод "ветвей и границ". Множество всех модулей и их признаков разбивается на подмножества ,. C_{11}, C_{12} и C_{13}, которые представляют собой модули, позволяющие реализовать требования с наименьшим K_3.

Далее осуществляется оценка подмножества модулей C_{11}, C_{12} и C_{13}, в зависимости от степени соответствия их предъявляемым требованиям. При этом подмножества, наиболее далекие от оптимальных, исключаются из процедуры перебора (например, C_{11}). Оставшиеся подмножества C_{12} и C_{13} сначала разбиваются на подмножества модулей C_{21}, C_{22}. C_{31}. Дополняющие исходные данные модули C_{12} и C_{13} до наипучшего соответствия с очередным, более низким рангом K_3, и т. д. Путь от отправной до конечной точек системы ветвлений через подмножества представляет собой совокупность модулей, синтез которых в реальной конструкции, вероятнее всего, приведет к созданию аппарата с оптимальными характеристиками.

На следующем этапе необходимо решить задачу математической формализации конструкций аппаратов, что позволило бы разработать алгоритмы оптимального выбора. Для ее решения может быть использован блочный принцип математического моделирования ХТС, заключающийся в объединении всех математических описаний "элементарных" процессов (блоков) в единую систему уравнений математического описания аппарата, или метод, основанный на составлении логической модели конструкции /19, 23/. Тогда формальная запись конструкции аппарата, или логическая модель, будет иметь вид

$$U(L_i) = \bigwedge_{k=1}^{m} \left(\bigvee_{k=1}^{h} L_i \right)_k , \qquad (11.1)$$

где L_i - переменные, представляющие собой модули конструкции или соответствующие им признаки; $\wedge$ — модули, которые могут быть включены в заданную конструкцию аппарата независимо от наличия или отсутствия остальных; V — модули, одновременное присутствие которых в конструкции необходимо (например, контактное устройство, перелив, массообменная тарелка).

Следующий этап является наиболее сложным и сводится либо к решению прямой задачи по установлению количественных характеристик модулей, исходя из требований к аппарату, либо к решению обратной задачи по установлению степени влияния характеристик выбираемых модулей на характеристики всего аппарата. На этом этапе различные варианты решений, комбинаций модулей, оставшиеся после перебора, сравниваются по численному значению оптимума технического или технико-экономического параметра оптимизации применительно к каждой конструкции.

Таким образом, процедура подбора модулей и поиска оптимальной конструкции связана с вычислением оптимума выбранного параметра для каждой конструкции. Поскольку существует взаимосвязь характеристик аппарата низших и более высоких K_i-уровней иерархической структуры, то таким параметром может стать K_n выбранного модуля, который отображает процесс перебора вариантов по ранжированным требованиям и в общем виде может быть представлен выражением:

$$K_n = \sum_{i=1}^{m} \alpha_{n_i} \left(k_{n_i} + \sum_{i=1}^{m} \beta_{n_i} k_{(n+1)_i} + \sum_{i=1}^{m} \gamma_{n_i} k_{(n-1)_i} \right), \qquad (11.2)$$

где Kn_i— i-я характеристика *n-го* уровня; $\sum_{i=1}^{m} \beta_{n_i} k_{(n+1)_i}$ — слагаемое, характеризующее влияние на оценку k_{n_i} совокупностей характеристик(n+1) -го уровня, β_{n_i}, - коэффициент масштабного перехода от (n+1)-го уровня к n-му; γ_{n_i} - коэффициент масштабного перехода от (n+1)-го уровня к n-му; α_{n_i}— оценка значимости k_{n_i} .

K_n позволяет оценить правильность конструирования аппарата, а также проследить влияние любого параметра на критерий оптимизации, т. е. решить прямую и обратную задачи квантификации. Следующим этапом выбора и создания аппарата является поиск известного конструктивного решения по определенным на предыдущем этапе модулям при отсутствии пригодного стандартного аппарата. На основе модулей разрабатывается конкретная конструкция комбинированного аппарата, происходит детализация, уточнение конструктивных решений узлов аппарата.

Модульный принцип конструирования комбинированных нестандартных аппаратов позволяет облегчить работу конструктора и использовать возможности вычислительной техники. Действительно, определив оптимальную технологию ХТС, формализовав ее в виде технологических операторов, соответствующих набору операций, можно извлечь из памяти машины сведения о требованиях, предъявляемых каждым процессом (операцией) к оборудованию (модулю). По этим требованиям можно подобрать один или несколько модулей, наиболее полно соответствующих этим требованиям, и с помощью дисплея проверить варианты комбинирования различных стадий процесса в одном аппарате.

На практике возникает ситуация, когда необходимы дополнительные экспериментальные исследования, связанные с уточнением кинетических характеристик процесса, влияния эффектов совмещения и т. п. После таких исследований проводится корректировка разработанной конструкции аппарата, вносятся необходимые изменения в параметры технологического режима.

11.5. Унификация прямоточных реакторов для газо-жидкостных процессов.

Стремление к максимальному использованию сырья, увеличению конверсии, выхода целевого продукта, снижению материальных и энергетических затрат в производстве химической продукции обусловливает необходимость тщательного соблюдения соответствия конструкции реактора требованиям технологического процесса, осуществляемого в нем.

Из всего многообразия конструкций реакторов специфические особенности прямоточных газожидкостных химических процессов позволяют учесть только конструкции пленочных, трубчатых, эрлифтных, барботажных и секционированных тарелками колонных реакторов /30-35/.

С цепью устранения недостатков, присущих барботажным и эрпифтным аппаратам, их секционируют по высоте массообменными тарелками при одновременном использовании высоких скоростей газового потока в колонне /36-39/.

В конструкциях секционированных реакторов с восходящим движением фаз применяются в основном ситчатые массообменные тарелки, которые не обеспечивают устойчивой работы в широком интервале изменяющихся нагрузок по газу и жидкости. В результате, применение этих реакторов ограничено процессами с практически неизменным объемом газовой фазы или незначительными его изменениями в зависимости от глубины конверсии реагентов, например процессами окисления углеводородного сырья кислородом воздуха, хемосорбции озона растворами KCN и т. д.

Устранение недостатков прямоточных колонных реакторов с ситчатыми тарелками достигнуто в новом реакторе для газожидкостных процессов, выполненном в виде цилиндрического вертикального корпуса, секционированного по высоте массообменными тарелками с клапанными контактными устройствами без переливов, запатентованным автором с учениками в ФРГ, Франции, Японии.

В каждой секции реактора новой конструкции происходит инверсия фаз, что является его характерной особенностью. Непосредственно на каждой массообменной тарелке находится газожидкостной спой, в котором жидкость представляет собой сплошную фазу, а газ диспергирован в ней. Между верхней границей газожидкостного слоя и полотном вышележащей тарелки имеется пространство (сепарационная зона), в котором сплошной фазой является уже газ, а жидкость диспергирована в нем. известно /3, 28/, что массопередача в газожидкостных системах наиболее эффективна в режиме инверсии фаз. Инверсия фаз в каждой секции реактора может быть объяснена особенностями клапанных массообменных тарелок, а именно наличием в полотне тарелки подклапанных отверстий достаточно большого диаметра и относительно незначительным их количеством по сравнению с ситчатыми тарелками. В результате контактирующие фазы из нижележащей секции в вышележащую перемещаются через тарелку не в виде сформировавшегося газожидкостного потока, а в виде жидкостных струй, срываемых с поверхности газожидкостного слоя газовыми потоками. Последние образуются по осям подклапанных отверстий в полотне вышележащей тарелки вследствие эффекта Бернулли, вызванного значительным локальным увеличением скорости газа и соотвествующим понижением статического давления по осям этих потоков.

Применение для секционирования тарелок с клапанными контактными устройствами, обладающими свойством саморегулирования свободного сечения тарелки в зависимости от скоростей газового потока, позволило значительно снизить, а при скорости газового потока > 0,4 м/с полностью устранить явление обратного перемешивания жидкой фазы между выше- и нижележащей секциями.

К достоинствам прямоточных газожидкостных реакторов с многократной инверсией фаз следует отнести также регулярное перераспределение газового и жидкостного потоков по высоте реактора за счет перемешивания жидкости в каждой секции в режиме, близком к идеальному смешению, и нестабильного во времени перемещения газового потока через единичные отверстия тарелки, что устраняет температурные и концентрационные неравномерности в реакционной массе и делает более равномерным эпюру скоростей движения материальных потоков по сечению реактора.

Детальные исследования гидродинамики, структуры потоков, условий перемешивания, времени пребывания реакционной массы в секциях реактора, процесса массообмена позволили выполнить математическое описание элементарных процессов в реакторе, создать математическую модель прямоточного газожидкостного реактора, секционированного по высоте массообменными клапанными тарелками /4, 6, 7, 20/.

Анализ результатов работы реакторов в различных производствах, с одной стороны, и систематизация особенностей технологии газожидкостных процессов в производствах химических реактивов, с другой, позволили сформулировать общие требования технологии групп производств к конструкции прямоточных реакторов. С целью более полного учета этих специфических особенностей технологии предложено изготавливать пять основных модификаций прямоточного колонного реактора с многократной инверсией (рис.10.3). На основе этих модификаций разработан руководящий технический материал "реакторы прямоточные, секционированные клапанными тарелками с многократной инверсией фаз", где учтены современные принципы унификации, агрегатирования и модульного конструирования химического оборудования.

Стандартизированные прямоточные реакторы, секционированные клапанными массообменными тарелками без переливных устройств, представляют собой цилиндрические аппараты, состоящие из основных унифицированных модулей: распределительного *1,* реакционно-отгонного 2, сепарационного 3, теплообменного *4* и ректификационного 5. Распределительный модуль представляет собой царгу с днищем и пакетом прямоточных массообменных тарелок без переливных устройств, снабженную штуцерами для подачи газообразных реагентов под тарелку, а жидких — на тарелку, реакционно-отгонный модуль выполнен в виде царги с пакетом прямоточных массообменных клапанных тарелок без переливных устройств, которая может быть снабжена рубашкой. Сепарационный модуль — это царга с крышкой, неподвижным завихрителем и отбойной сеткой, снабженная штуцерами для раздельного вывода жидкой и паровой фаз. Теплообменный модуль - трубчатая часть кожухотрубного теплообменника, ректификационный модуль выполнен в виде царги с пакетом противоточных клапанных массообменных тарелок с переливными устройствами.

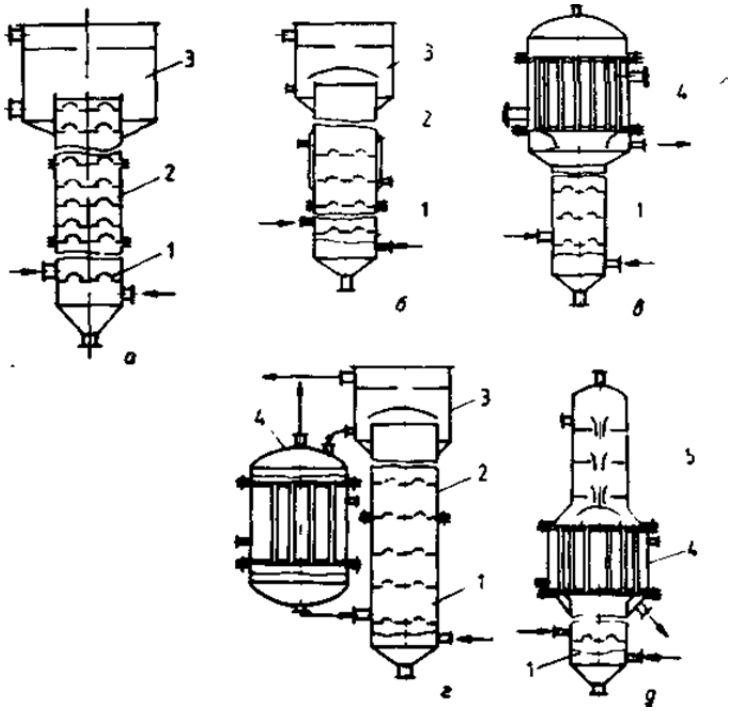


Рис.11. 3. Базовая конструкция реактора прямоточного, секционированного клапанными тарелками, ртП-1 (а) и ее модификации РТП-II (б), РТП-Ш (в), РТП-IV (г), РТП-V (д) из стандартизированных элементов

Комбинирование этих унифицированных узпов обеспечивает возможность создания различных модификаций прямоточных реакторов. При этом каждая модификация конструкции представляет собой реактор "открытой" формы, которая при изменении количества унифицированных узлов или их типа на основании модульного принципа позволяет регулировать в желаемом направлении единичную мощность, время пребывания в аппарате жидкой фазы, температурный профиль реактора, осуществлять перевод одной модификации в другую или создавать новую разновидность аппарата при изменении технологии или замене выпускаемого продукта.

Базовая конструкция реактора (тип РТП-1, см. рис.10.3.а), предназначенная для газожидкостных процессов, протекающих в адиабатических условиях, с прямоточной схемой движения реагентов может быть рекомендована также для экзотермических реакций, осуществляемых при температурах кипения (например, ацилирование диметиламина в производстве диметилформамида)

и не требующих отвода реакционного тепла. В этом случае возможно проведение совмещенного реакционно-массообменного процесса с лереводом образующихся пегкокипящих продуктов из жидкой фазы в зоне реакции в паровую фазу.

Процессам эндотермическим, экзотермическим с ограничением температурного режима или требующим сложного температурного профиля в зависимости от конверсии исходных реагентов в большей степени удовлетворяет конструкция второй модификации реактора (см. рис.10.3 б), реакционно-отгонный узел которой снабжен рубашкой для циркуляции тепло- (хпадо) агента, что не исключает также возможности размещения в соответствии с требованиями процесса между, над и под тарелками реакционно-отгонной части, теппообменной секции, как например, осуществлено в производстве о-топуиповой кислоты.

При осуществлении в рассматриваемом реакторе газожидкостных процессов, требующих при определенной конверсии частичного удаления из жидкой фазы тяжелокипящих смолообразных продуктов или разделения дистилляцией образующейся реакционной массы, рекомендуется установка между тарелками реакционно-отгонной части прямоточно-противоточной теплообменной секции, диаметр которой должен превышать диаметр реакционно-отгонной части, с тем чтобы при соосном их расположении периферийные трубки теплообменной части размещались вне корпуса. При этом нижняя часть периферийных трубок заключена в жестко соединенной с корпусом обечайке со штуцером для выхода жидкой фазы (см. рис.10.3, *в).* Такое включение теппообменной секции в реактор обеспечивает работу центрального пучка ее трубок в режиме восходящего прямотока, а периферийных трубок — при противоточном движении пара и жидкости.

При необходимости четкого разделения выводимых из реактора продуктов над верхней трубной решеткой прямоточно-противоточной теппообменной секции устанавливается ректификационный узел (см. рис. 10.3, *г).* В этой модификации реактор должен быть оборудован также внешним или внутренним дефлегматором.

Снабжение любой модификации выносным кипятильником (см. рис.10.3, д*)* с нисходящим движением реагентов позволяет интенсифицировать химические процессы благодаря возможности выполнять их при низкой конверсии реагентов за счет удаления продуктов из реакционной массы и рециркуляции непревращенных реагентов или промежуточных продуктов на нижние тарелки реактора.

Для подвода и отвода реагентов и тепло- (хпадо)носитепей, размещения датчиков контрольно-измерительной и регулирующей аппаратуры реакторы снабжаются необходимым количеством штуцеров. Прямоточные реакторы удовлетворяют основным техническим требованиям монтажных организаций к химическому оборудованию, согласно правилам техники безопасности в химической промышленности они относятся к некатегорийному оборудованию.

Основные характеристики стандартизированного реактора
Скорость по реактору, м/с:
газа - 0,3-2,5
жидкости (0,1-30)-10^{-3}
Допустимое отношение объемов газового и жидкостного потоков 50-5000
Рабочие
температура, °с - 20-200
давление, МПь - 0,1
Диаметр реактора, м - 0,1-0,6

Число, шт.:

массообменных секций	3 - 5
тарелок в секции .	3- 5
теппообменных секций	0- 2
Межтарепьчатое расстояние, м	0,15—0,6

Работа прямоточных реакторов, секционированных клапанными массообменными тарелками, заключается в следующем. Газообразный реагент через штуцер подается под первую от днища реактора массообменную тарелку. На эту же тарелку через другой штуцер подаются жидкофазные реагенты. При необходимости может быть осуществлена дробная подача жидких реагентов в различные по высоте точки реактора. Скорость движения газообразного реагента должна обеспечивать транспортирование жидкой фазы через массообменные тарелки вверх по реактору. В процессе прямоточного перемещения исходные реагенты контактируют и взаимодействуют между собой с образованием целевого продукта Требуемый температурный профиль реактора поддерживается за счет теплового эффекта реакции и корректировочного подвода (отвода) тепла к (от) реакционной зоне через рубашку и теплообменные секции. С верхней массообменной тарелки газожидкостный поток поступает в сепаратор, где происходит его разделение. Газовая (паровая) фаза выводится через штуцер вверху сепаратора. Жидкая фаза через нижний штуцер направляется на очистку или же через выносной кипятильник возвращается, обедненная пегкокипящими компонентами, на нижние тарелки реактора.

Таким образом, несмотря на стандартизацию элементов прямоточного реактора с многократной инверсией фаз, его конструкция может быть при применении модульного принципа монтажа достаточно гибкой и учитывать разнообразные требования различных процессов химической технологии.

В руководящем техническом материале представлены методы технологического и гидродинамического расчетов химических газожидкостных процессов в прямоточном реакторе, секционированном массообменными клапанными тарелками, и разработана программа машинного расчета высоты реактора /25/ Созданием этого технического материала логически завершился комплекс научно-исследовательских работ по разработке, исследованию, проверке работоспособности, отработке и промышленной апробации прямоточных реакторов новой конструкции. В настоящее время стандартизированные конструкции колонных прямоточных реакторов, секционированных по высоте клапанными массообменными тарелками без переливов, могут быть рекомендованы к серийному изготовлению и широкому внедрению в химической промышленности и, в частности, в подотрасли химических реактивов и особо чистых веществ.

11.6. Системный подход к разработке АУТК для производства химреактивов на основе блочно-модульного принципа.

Если для "большой" химии технически и экономически оправданным является создание оригинальных технологических процессов и оборудования для каждой номенклатурной позиции, то для единичного и мелкосерийного производства такой подход нерационален и зачастую убыточен. Оборудование, производимое для "большой" химии, ни по размерам, ни по конструкции, ни по материалам сегодня неприемлемо для "малой" химии. Неприемлем для "малой" химии и традиционный при создании крупнотоннажных химических производств подход, заключающийся в достаточно строгом соблюдении определенной последовательности: синтез нового вещества —--—► исследование физико-химических и токсикологических свойст компонентов и кинетики основных стадий процесса —--—► отработка технологии в лабораторных условиях—--—► создание опытно- промышленной установки и отработка технологии на ней —--—► подготовка

исходных данных для проектирования с учетом действующих норм и правил —-—► проектирование, создание и освоение промышленного производства. Чаще всего эта цепочка занимает достаточно длительный промежуток времени (иногда 10 лет и более), который может еще больше увеличиться, если появляется необходимость в нестандартном технологическом оборудовании, приборах автоматического регулирования, методах аналитического контроля и т. п.

С учетом всего вышесказанного для малотоннажных производств разрабатываются принципиально новые совершенные технологические процессы и оборудование /26, 27, 40—50/. При этом целесообразно создание химико-технологических комплексов (ХТК) для производства не одного, а ряда продуктов, сходных по технологическим параметрам и физико-химическим свойствам /30—37, 39, 51 — 61/. Создание таких комплексов немыслимо без применения системного подхода в качестве методологии поиска. Его осуществляют с помощью моделирования, оптимизации принимаемых решений, количественного сравнения качественных показателей — критериев эффективности.

Стратегия и тактика создания оптимальных ХТК для многономенклатурного производства химических реактивов, по нашему мнению, заключаются в следующем. Прежде всего, должен быть произведен системный анализ технологической организации производства химических реактивов на основе декомпозиционного подхода. Далее необходимо показать возможность наиболее эффективного использования на основе декомпозиционного подхода традиционных и новых методов интенсификации технологических процессов. После выявления нескольких принципиально возможных направлений технологической организации производства химических реактивов с учетом опыта зарубежных фирм, а также отечественных организаций, занимающихся разработкой ХТК для малотоннажной химии, необходимо обосновать целесообразность предлагаемого направления, связанного с созданием ХТК на базе комбинированных модульных блоков с трансформируемой структурой.

Дпя выяснения принципиальной возможности создания ХТК для многономенкпатурного малотоннажного производства необходимо остановиться на структуре самой проблемы и ее связи с имеющимися техническими ресурсами разрешения. "Жизненный цикл" ХТК включает в себя комплекс взаимосвязанных работ: исследование, проектирование, строительство и эксплуатацию ХТС. Проблема оптимизации "жизненного цикла" ХТК, в отличие от решения частных технических и экономических задач, является сложной и противоречивой. поэтому за основу подхода к ее решению нами принят разработанный школой академика В.В.Кафарова системный подход /5, 9, 10, 16, 24, 28, 52, 62/, ориентированный на иерархические структуры, декомпозицию системной задачи и координацию декомпозиционных задач. При этом особый интерес представляет не формальный математический аппарат системного подхода, а общие идеи, своеобразный понятийный аппарат. Базируясь на общей теории систем, современный системный подход впитал ряд других исследовательских подходов. Так, при системном анализе разрабатываемых проблем эффективно применяются графические способы их изучения, отражающие взаимосвязь между поставпенными цепями и сформулированными задачами и помогающие выбрать наилучшие средства решения.

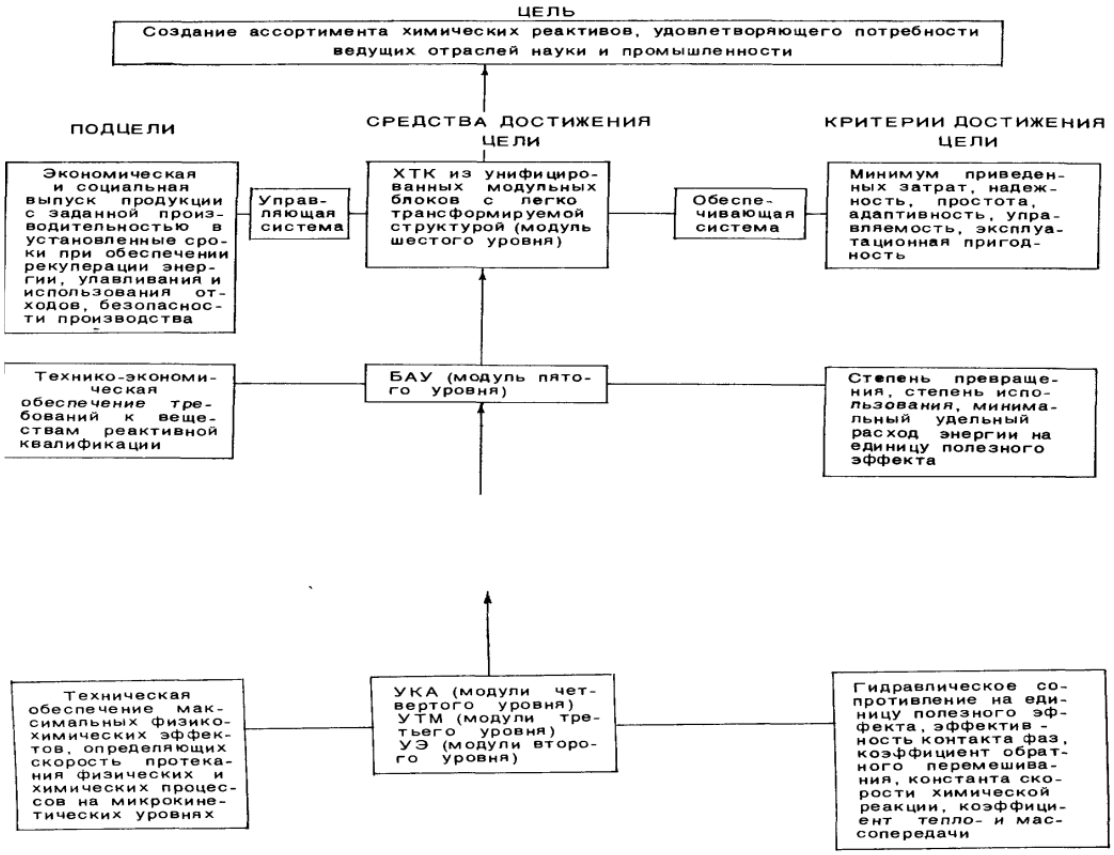


Рис 11.6.4. Иерархия и взаимосвязь целей, средств и критериев их достижения для решения проблемы создания химических реактивов.

Опыт показывает, что в правильном отображении системы должны соблюдаться принципы соответствия поставленных на каждом уровне иерархии системы цепей, задач и критериев масштабу уровня, как показано на рис. 10.4, где сформулирована общая цепь с последующей декомпозицией на экономические, технико-экономические и технические подцели. С помощью графического представления технологической организации производства химических реактивов удалось достаточно полно раскрыть взаимосвязи между целями и наиболее эффективными средствами их достижения.

Применение декомпозиционного подхода предполагает последующую композицию решений, начиная с низших уровней иерархии. При этом три низших уровня объединяются техническими целями, направленными на обеспечение максимальных физико-химических эффектов, определяющих скорость протекания физических и химических процессов на микрокинетических уровнях.

Известно достаточно много традиционных и сравнительно новых способов интенсификации ХТП /7, 25/, которые можно разделить на два класса: комплексные, когда к установке подходят как к единому целому, и так называемые декомпозиционные, когда внимание уделено выявлению и интенсификации отдельных лимитирующих стадий процесса или элементов его аппаратурного

оформления. Ввиду сложности процессов, протекающих в гетерогенных системах, предпочтение отдано декомпозиционным методам интенсификации /9/.

Декомпозиционные методы по области применения целесообразно разделить на режимно-технологические (РТ) и аппаратурно-конструктивные (АК). Четкую границу между РТ- и АК-методами провести невозможно. Так, например, использование нового для данного процесса РТ-метода всегда сопряжено с определенными конструктивными изменениями аппарата с применением АК-методов. Если АК-методы получили значительное распространение в промышленности, то РТ-методы интенсификации пока используются реже.

Приведенные в /7, 23/ АК- и РТ-методы представляют собой набор приемов интенсификации, каждый из которых может быть использован на различных иерархических уровнях любой ХТС, причем для каждого уровня есть своя группа, свой набор методов и приемов интенсификации /12-14, 23, 27, 38, 39, 46, 48—50, 53—61, 63— 65/. Однако, те или иные методы интенсификации могут быть реализованы только с помощью соответствующих модулей, методика применения которых будет рассмотрена ниже.

Для подбора оптимальных модулей в соответствии с их назначением необходимо располагать набором (банком) модулей с неизвестными формализованными характеристиками, признаками. В химической технологии основное внимание уделяется разработке модулей первого, второго и четвертого уровней и использованию их для создания модулей пятого уровня (при так называемом блочном проектировании и строительстве). При этом совершенно недостаточно учитываются возможности использования модулей третьего уровня, применение которых значительно упрощает задачу синтеза оптимальной ХТС за счет создания агрегатированных аппаратов (модулей четвертого уровня).

В банк модулей третьего уровня (см. табл.10.3), составленный для решения задач создания оптимальных ХТК производства химических реактивов, наряду с модулями традиционных конструкций включены модули, рекомендуемые для широкого внедрения (модули, использующие явление многократной инверсии фаз при секционировании прямоточных аппаратов с восходящим движением фаз) /20, 22, 29, 46, 50, 61, 64/.

Конкретные направления реализации модульного принципа в "малой" химии различны. Анализ известных технических решений показывает, что в настоящее время наметилось три основных направления, каждое из которых имеет свои методические особенности, определяемые спецификой решаемой задачи, уровнем иерархии объектов исследования, широтой охвата аспектов, учитываемых при исследовании /21, 22, 25, 29, 46/. Эти три направления наиболее эффективно реализуют принцип единства аппаратуры и технологии, воплощаемый *при* модульном подходе к анализу и синтезу ХТК. Решение о целесообразности выбора того или иного направления и создания комбинированных производств химических реактивов может быть принято лишь после выполнения технико-экономических расчетов.

Первое направление предполагает, что на основе анализа технологии химических реактивов выделены группы веществ, близких по физико-химическим свойствам, а также по технологическому и аппаратурному оформлению процессов их получения. Затем для каждой группы разрабатывают АТК из унифицированных аппаратов, предназначенные для производства конкретного набора химических реактивов. Получаемый в результате реализации первого направления комплекс имеет жесткую нетрансформируемую структуру, и основная трудность в его использовании заключается лишь в необходимости очистки всех аппаратов, коммуникаций и

других систем при смене номенклатуры. АТК жесткой структуры являются более простыми по сравнению с трансформируемыми АТК, а их проектирование, изготовление и эксплуатация позволяют проверить правильность принятых решений и на их основе разработать общие принципы создания АТК, сочетающие преимущества жесткого и трансформируемого вариантов. Такой подход основывается на эволюционном принципе синтеза структуры ХТС, который в наиболее полной мере отражает сущность общего процесса разработки любой новой ХТС /5/.

Второе направление заключается в разработке единого многофункционального нетрансформируемого модульного блока с максимальной функциональной избыточностью, обеспечивающей возможность проведения в нем различных цепочек технологических операций или операций в различном порядке при периодическом процессе переключением аппаратов с помощью различных коммуникационных линий. Использование этого направления для получения чистых веществ весьма проблематично, по нашему мнению, из-за наличия тупиковых труднопромываемых аппаратов и участков коммуникаций, возможности заполнения неиспользуемых в данном варианте схемы аппаратов продуктами через воздушные соединительные пинии, неплотности арматуры и т. п. Следует отметить, что в мировой практике пока отсутствуют варианты переключающих и запорных устройств, обеспечивающих абсолютную четкость переключения и полную герметизацию.

Третье направление основано на создании легкотрансформируемых установок минимальной функциональной избыточности из УТМ и УКА (модули третьего *и* четвертого уровней), техническое воплощение таких установок базируется на соблюдении принципов:

- минимум аппаратов, коммуникаций, арматуры, систем регулирования и исполнительных механизмов;
- унификация узлов и разъемов модулей;
- обеспечение легкости монтажа, демонтажа и крепления аппаратов и модулей;
- обеспечение возможности осуществления нескольких операций в одном аппарате комбинированием и агрегатированием его из нескольких одно- или разнотипных модулей или совмещения нескольких процессов в одном модуле.

Синтез оптимального ХТК для многономенкпатурного малотоннажного производства следует отнести согласно классификации конкретных задач синтеза ХТС, приведенной в /25/, к четвертому уровню: при заданных типах элементов ХТС определить технологическую топологию, параметры элементов и параметры технологических потоков, которые обеспечивают выполнение требуемых технологических операций при оптимальном значении коэффициента эффективности системы. В соответствии с этой классификацией наиболее эффективным для решения подобных задач должно быть применение декомпозиционного и эвристического принципов синтеза.

Применение декомпозиционного принципа позволило осуществить компромиссный подход к синтезу ХТК, особенно эффективный при получении веществ, технология производства которых часто меняется. Главное преимущество компромиссного подхода — быстрота принятия решений, близких к оптимальным.

Для создания оптимального ХТК предложен вариант создания нестандартных аппаратов из стандартных унифицированных модулей для выполнения лишь наиболее важных лимитирующих технологических операций (принцип частичной унификации) и применения стандартных аппаратов на вспомогательных, нелимитирующих стадиях процесса /4, 20, 25, 36/.

Данное решение соответствует целям, поставленным на всех уровнях декомпозиции: экономическим — в результате обеспечения выпуска требуемой номенклатуры при минимальных

капитальных вложениях за счет использования унифицированных узлов и обеспечения близкой к оптимальной топологии ХТК; технико-экономическим - вследствие того, что установка, созданная таким образом, обеспечивает высокую интенсивность использования основного оборудования при минимальных его размерах и соответствующее качество продукта; техническим - благодаря достижению высоких технических показателей процессов в унифицированных модулях и наиболее полному соответствию оборудования требованиям технологии.

Реализация установок с легкотрансформируемой структурой из модульных блоков в определенной мере преодолевает противоречие между тенденцией к оригинальности, наблюдающейся у химиков - технологов, вынужденных применять аппараты, учитывающие специфику процессов, и стремлением машиностроителей к максимальной стандартизации и унификации химического оборудования.

Таким образом, использование модульного принципа при создании установок с трансформируемой структурой, по-видимому, наиболее полно соответствует требованиям технологий и учитывает специфику производств химических реактивов. В пользу последнего вывода свидетельствуют приведенные в последнем разделе обзора примеры разработок производств химических реактивов. Процесс синтеза структуры АТК не является строго формальным, а состоит из последовательности строго формальных этапов и эвристических "скачков", в результате которых происходит смена формальных алгоритмов.

Общая стратегия создания блочно-модульных установок для производства химических реактивов включает:

- декомпозицию задачи синтеза оптимальной ХТС на подзадачи выбора оптимального пути синтеза химического соединения и выбора сырья;
- исследование макрокинетики и математическое моделирование лимитирующих стадий процесса;
- синтез исходного варианта системы многостадийным эвристико-эволюционным методом /9/;
- оптимизацию топологической структуры синтезируемой модульной установки в технологических операторах известными методами (например, на основе интегрально-гипотетического принципа синтеза и системно-информационного анализа эффективности ХТС) /9, 1*0, 16/;
- подборе помощью ЭВМ (диалоговый режим, чеповек-машинные системы) модулей, наиболее полно соответствующих требованиям технологии;
- моделирование блочно-модульной установки и оптимизацию технологических режимов ее работы.

Для создания сложных многостадийных блочно-модульных установок необходимо:

- провести декомпозицию исходной задачи синтеза на ряд функциональных подзадач меньшей значимости (получение сырья, очистка полупродуктов, выделение целевого продукта и т. п.);
- выполнить синтез альтернативных вариантов подсистем в ТТО,

- выполнить синтез всей системы модульной установки в ТТО на основе имитационного моделирования и методов теории распознавания образцов;
- осуществить переход от ТТО к конструкционным модулям,
- провести имитационное моделирование всей установки и оптимизировать режимы ее работы.

Таким образом, решение задачи синтеза функциональной структуры АТК сводится к решению следующей оптимизационной задачи

$$\max |R_k|; \quad R_k \subset R; \quad k \in K \qquad , \ (11.3)$$

где R — множество анализируемых технологий, R_k - множество технологий, осуществление которых возможно на данной установке; *К* — принятая система идентификации при ограничениях:

1/ Не допускается изменение порядка соединения функциональных подсистем установки при замене одного продукта на другой.

2/ Не допускается изменение направления движения по связи.

Очевидно, что при такой постановке необходимо построить функциональную (стадийную) схему жесткого типа, ориентированную на максимально возможную в этих условиях номенклатуру, т. е. требуется получить разбиение множества Е на классы близких технологических процессов

$$\left.\begin{array}{c} R = \cup T_j \\ T_j = (\{r_k\} \cdot \forall r_k : P_{T_j}(r_k)) = 1 \\ P_{T_j} : R_k \longrightarrow (\varnothing ; 1) \\ (\forall_{ij} \in I) \mathop{\&}_{(i \neq j)} T_i \cap T_j \neq 0 \end{array}\right\},$$

где r_k — элемент множества R, *а* предикат P_T определяет класс.

7. Основным при этом является правильное задание системы предикатов. Построение этой системы может быть формально описано некоторым алгоритмом. Каждый технологический процесс производства разделяется на ряд последовательных технологических стадий (синтез, нейтрализация и т. д.) и на жесткую последовательность оборудования, на котором выполняются эти стадии. Задача — разбить некоторое множество технологических и аппаратурных маршрутов на непересекающиеся классы с целью получения ряда многоассортиментных АТК. На каждой конкретной установке будет выпускаться свой класс реактивов. Из базы данных для каждого реактива можно получить его постадийные и аппаратурные маршруты

$$r_i = \{(S_i^1, S_i^2, \ldots, S_i^{n_i})(a_i^1, a_i^2, \ldots, a_i^{n_i})\},$$

где n_i - количество стадий в производстве i -го реактива; S_i^j — код j -й стадии в производстве i-го реактива, причем $\forall_{ij} S_i^j \in S$ (S — таблица стадий), a_i^j - код i-го аппарата (набора аппаратов) для выполнения J-*й* стадии производства реактива.

В процессе создания модульной установки на уровне ее разработки должны участвовать по крайней мере 5—6 специалистов различного профиля или овладевших смежными специальностями, таких, как технолог (Т), конструктор (КР), специалисты по исследованию кинетики (К) и по прикладной математике (М), химик-синтетик (С) и экономист (Э) (рис.10.5). Формирование комплексных творческих коллективов для широкого внедрения модульных установок позволит решить проблему увеличения номенклатуры без увеличения численности персонала.

Идеология модульного подхода не может не изменить и содержание труда при создании модульных установок. На этапе исследования макрокинетики, например, главным становится не изучение возможных механизмов и кинетики отдельных стадий процессов (хотя без этого в ряде случаев и не удается обойтись), а исследование влияния структуры потоков, режимов перемешивания, совмещения процессов на скорость основного процесса, а также решение вопроса целесообразности реализации данной стадии в модуле той или иной конструкции. Таким образом, при модульном подходе как никогда становится актуальным создание автоматизированных систем научных исследований (АСНИ), в составе которых предусмотрено включение модуля исследуемой конструкции в качестве основной ячейки для изучения.

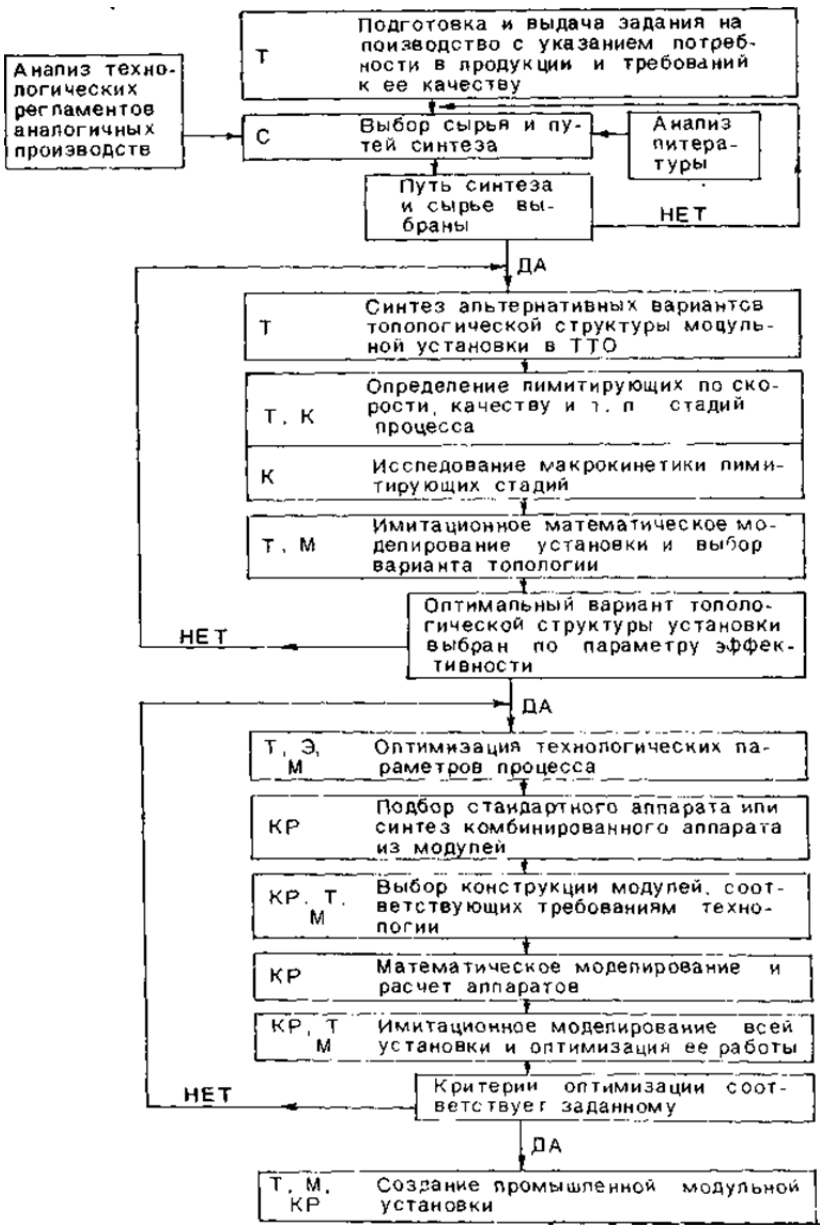


Рис.11.5. Алгоритм синтеза модульной установки.

Кроме того, модульный принцип требует более глубоких контактов специалистов различных профилей, причем обычная цепочка исполнителей ввиду сильной обратной связи настолько нарушается (см. рис.11.5), что механик, конструктор, проектировщик "задают тон технологу и химику (при традиционных подходах к созданию новых установок это просто невозможно).

Важнейшим "внутренним" свойством блочно-модульных установок является их гибкость, трансформируемость, что полностью соответствует требованиям, предъявляемым к ГАПС. Гибкость блочно-модульных установок обеспечивается как по горизонтали за счет наращивания новых модулей и блоков, так и по вертикали за счет использования АСУ. В то же время следует учесть, что требования высокой производительности, высокой чистоты продукта и одновременно повышенной гибкости часто противоречат друг другу. Поэтому определение оптимальной степени

гибкости модульных установок требует серьезных технико-экономических расчетов, учитывающих не только некоторое повышение затрат, но также и преимущества гибких производств химических реактивов, а именно:

- обеспечение высокого уровня выпускаемой продукции за счет ее своевременного обновления;
- возможность расширения номенклатуры с минимальными затратами;
- максимальная сохранность основных фондов и сведение к минимуму потерь и затрат при освоении новой продукции.

Таким образом, блочно-модульные установки по самой своей природе, обусловливающей возможность трансформирования, относятся к гибким производствам.

Эффективная эксплуатация блочно-модульных установок невозможна без решения вопросов автоматизации. К сожалению, создание единой вычислительно-управляющей системы, удовлетворяющей требованиям всех химико-технологических установок, не представляется возможным, базовая система должна быть построена на модульном принципе, обладать высокой конфигурационной гибкостью и иметь развитую систему управления базами данных.

Создание блочно-модульных установок в "малой" химии затруднено и из-за серьезных требований, предъявляемых к конструкционным материалам для изготовления аппаратуры (высоколегированные стали, титан, кварц, (фтороппаст и др.|, а также отсутствия запорной арматуры и исполнительных механизмов, учитывающих специфику производства химических реактивов.

11.7. Теоретические основы синергично совмещенных реакционно – массообменных процессов.

..

Вместо вступления. Классификация и некоторые общие вопросы использования совмещенных процессов.

Для тех читателей, которые ознакомились с содержанием предыдущих 11 глав книги давно уже стало ясно, что системный анализ и один из основных методов его реализации - синергия являются сегодня одним из наиболее эффективных методов совершенствования ХТС, позволяющих не только упростить структуру создаваемой ХТС, но зачастую улучшить качество и выход целевых продуктов, уменьшить капитальные, энергетические и трудовые затраты. Среди всех направлений использования синергии, как науки о гармонии систем, наиболее результативным является метод совмещения технологических процессов.

Но эта глава, совершенно неожиданно для читателя, посвящена не только исследованию направленно совмещенных реакционно-разделительных процессов, а и развитию противоположно направленного подхода, основная идея которого заключается в разделении спонтанно или искусственно совмещенных ХТС и отводе продуктов реакции (или одного из них) в момент образования из жидкой фазы в газообразную с использованием эффектов неоднофазности системы. Такой диссинергийный подход, как оказалось, во многих практически важных случаях позволяет существенно увеличить скорость процесса, интенсифицировать оборудование и упростить топологическую структуру создаваемой ХТС. Фактически, странным делом мы будем заниматься – совмещать ХТС, чтобы потом используя синергетический подход, сознательно и выгодно их разделить. В книге сформулирован, обоснован, разработан и реализован комплексный подход к разработке совмещенных реакционно-разделительных процессов и аппаратов и созданию с их использованием сложных химико-технологических систем (ХТС), основанный на одновременном применении традиционных и впервые предложенных автором режимно - технологических и аппаратурно-конструктивных (РТ и АК) методов интенсификации, обеспечении единства технологии и аппаратурного оформления за счет использования модульного принципа при компоновке химико-технологических аппаратов из самостоятельных блоков - унифицированных модулей. Это позволило решить имеющую важное народнохозяйственное значение научную проблему создания принципиально новых эффективных непрерывных технологий и оборудования для получения ряда необходимых народному хозяйству веществ (амидов монокарбоновых кислот, эфиров ортотитановой кислоты, хлоридов германия и кремния, лекарственных препаратов, химических реактивов и особо чистых веществ).

Основное внимание уделено совмещенным реакционно-десорбционным (РДП или хемодесорбционным) процессам. Несмотря на некоторые недостатки, присущие РДП (необходимость введения в систему десорбирующего агента, не всегда являющегося одним из компонентов системы, некоторое усложнение схемы процесса), эти процессы во многих случаях в сравнении с реакционно-ректификационными (РРП) подкупают:

- свободой выбора разделяющего агента, обеспечивающего увеличение скорости основного химического процесса;
- широким диапазоном варьирования скорости газовой (паровой) фазы;
- возможностью проведения процесса при температуре ниже температуры кипения реакционной массы, что особенно важно при переработке термолабильных веществ;
- возможностью использования транспортного эффекта при восходящем движении газожидкостной смеси;
- упрощением процедуры согласования условий проведения совмещенных процессов.

Эти и другие преимущества РДП особенно полно проявляются в комбинированных аппаратах, сконструированных по модульному принципу.
Ввиду большого объема экспериментального и теоретического материала, а также данных о результатах внедрения или апробации в промышленных условиях результатов работы, в книге освещены лишь наиболее общие вопросы теории и практики использования совмещенных газожидкостных реакционно-разделительных процессов и аппаратов.

Размещение материала и общая структура 8 главы этой книги подчинены декомпозиционному подходу с учетом известной иерархии уровней [21]. В качестве основы в книге содержится изложение принципиальных решений разработанных автором или под его руководством новых химико-технологических процессов, реализованных или апробированных в промышленности, новых конструкциях реакторов и совмещенных реакционно-массообменных аппаоатов, используемых на предприятиях страны, защищенных несколькими сотнями авторских свидетельств на изобретения и 6 патентами ФРГ, Франции, Японии. Значительная часть экспериментальных материалов, приведенных в к, получена с участием аспирантов и соискателей ученых степеней.

Типичным примером спонтанно совмещенного процесса являются тепломассообменные процессы, между которыми существует глубокая внутренняя аналогия и которые практически всегда сопутствуют друг другу в гетерогенных системах, К этой же группе совмещенных процессов могут быть отнесены некоторые хемосорбционные процессы, когда взаимодействие между газом и жидкостью осуществляется в жидкой фазе и химической стадии должны предшествовать массообменная стадия абсорбции и стадия растворения газа в жидкости. И, наконец, к этой же группе могут быть отнесены некоторые сложные химические процессы, включающие консекутивные реакции.

Дальнейшее изложение будет посвящено второй группе направленно совмещенных процессов и, в особенности, реакционно-массообменным процессам.

Реакционно-массообменные процессы и аппараты для их осуществления появились в промышленности сравнительно недавно, в основном, для установок периодического действия. До сих пор окончательно не сформулированы принципы и не разработаны методы совмещения процессов, позволяющие

наиболее полно реализовать их преимущества, отсутствует достаточный выбор конструкций аппаратов, учитывающих их специфику, не созданы методы расчета кинетики химических процессов при их совмещении с диффузионными, В работах Дж.Астариты [4], С.В.Львова, Л.А.Серафимова, М.И.Балашова [51] и др. проведена систематизация, анализ и оценка технологических возможностей совмещенных реакционно-массообменных процессов. При рассмотрении таких процессов в газо-жидкостных системах их целесообразно разделить на хемосорбционные, когда осуществляются реакции между растворенным газом и собственно абсорбентом или одним из его компонентов, и реакционно-разделительные процессы, где за счет массообмена удаляются продукты реакции, проходящей в жидкой фазе. К последним следует отнести реакционно-десорбционные, которые могут быть названы также хемодесорбционными, и реакционно-ректификационные процессы. Их важной особенностью является то, что, организуя отвод продуктов реакции за счет наложения массообменного процесса "в такт" реакции, можно обеспечить практически постоянную (или же увеличивающуюся) во времени (или по высоте аппарата) концентрацию исходных веществ в жидкой фазе.

К реакционно-разделительным процессам, проводимым не в газожидкостных системах, могут быть отнесены реакционно-экстракционные (система жидкость-жидкость), реакционно-кристаллизационные (система жидкость-твердое тело) процессы. Общей особенностью всех реакционно-разделительных процессов является отвод продуктов химической реакции в момент их образования с помощью соответствующего массообменного процесса в другую, обычно инертную фазу. Это позволяет увеличить концентрацию реагентов в реакционной зоне и во многих случаях увеличить скорость химических стадий процесса за счет эффектов гетерофазности. В свою очередь, химические стадии оказывают значительное влияние на скорость процессов переноса вещества. Таким образом, налицо сильное взаимное влияние, "интерзктность" совмещенных процессов. Эту вторую особенность нельзя не учитывать при разработке, исследованиях, анализе кинетики совмещенных и, в особенности, реакционно-разделительных процессов.

Направленно совмещенными могут быть также два или больше массообменных процессов, если оптимальные условия их проведения близки. К примеру, автором совместно с учеными НПО "Масложирпром" предложена новая технология извлечения масла из растительного сырья, отличающаяся тем, что массообменную стадию экстрагирования масла из твердого сырья совмещают с тепломассообменной стадией дистилляции получающегося экстракта в пенном режиме [196]. Совмещение в этом случае оказалось возможным и целесообразным лишь потому, что обеспечено выполнение принципа соответствия оптимальных условий совмещенных процессов, Этот принцип особенно важно соблюдать при направленном совмещении химических процессов, когда неправильный выбор температуры, давления, концентрации зачастую делает совмещение принципиально невозможным.

Примером удачного, по мнению автора, решения вопроса совмещения химических процессов с противоположными тепловыми эффектами является описанная в книге принципиально новая технология получения

диметилформамида, основанная на совмещении как химических стадий процесса, так и химических стадий с тепломассообменными. Рассматривая технологические решения по реализации совмещенных процессов, следует выделить два принципиально отличающихся подхода:
совмещаемые процессы реализуются одновременно, последовательно; в одном совмещенном аппарате стыкуются, агрегатируются локализованные зоны химической реакции и массооб мена;
совмещаемые процессы проводятся параллельно, совместно и одновременно и протяженность реакционной зоны в совмещенном аппарате равна протяженности массообменной зоны.

Назовем совмещенные процессы, организованные согласно первому подходу - последовательно совмещенными, и согласно второму - параллельно совмещенными. Автор отдает предпочтение вторым процессам, позволяющим наиболее полно использовать эффекты взаимного влияния совмещаемых процессов и тот самый принцип соответствия (или гармонии - как больше нравится), который принят в качестве базовых при подготовке этой монографии.

Анализируя имеющиеся в литературе сведения о применении совмещенных процессов, следует отметить, что наиболее подробно освещены различные вопросы теории и практики хемосорбции [4, 30-33, 36, 43, 112, 167, 170, 187, 192, 194, 195] и реакционно- ректификационных процессов [5, 26, 41, 171, 172, 180-182, 234, 236, 243] . В то же время ограничено количество работ, посвященных таким направленно совмещенным реакционно-массообменным процессам, как реакционно-десорбционные, реакционно-кристаллизационные, реакционно-экстракционные.

Заметим, что большинство исследователей рассматривают совмещенные процессы без учета влияния массообмена на кинетику химической реакции или полагая, что оно проявляется только вследствие изменения концентраций реагентов. Наиболее глубокие и всесторонние исследования направленно совмещенных реакционно-ректификационных процессов проведены М.И.Балашовым [5, 180-182, 234, 236] , которым выполнена их классификация, впервые определены общие подходы в технологических решениях и сформулированы в виде технологических принципов и общих технологических приемов организации совмещенных реакционно - ректификационных процессов, разработан метод и блок-схема исследования статики таких процессов, исследован и разработан ряд промышленно важных совмещенных процессов. К последним относятся способы получения этилацетата и бутилацетата из уксусной кислоты и соответствующих спиртов, способ гидролиза метилацетата в производстве поливинилового спирта и др.

В большинстве из этих технологических процессов и в изложении подходов к технологическим решениям в упомянутых работах [5, 180-182, 234] можно выявить ряд общих тенденций:
рассматриваются преимущественно реакционно- ректификационные процессы, причем, основное внимание уделяется влиянию химического процесса на

ректификацию; реализуется только противоточное движение контактирующих фаз по аппарату;
установка может рассматриваться как агрегат, состоящий из микрореактора (точечного реактора - точечного источника исходного питания для ректификационной колонны), связанного прямыми и обратными связями с обеими частями ректификационной колонны; акцентируется внимание на проблеме протяженности реакционной зоны;
отчетливо наблюдается тенденция локализации реакционной зоны;
химические процессы, реализуемые в совмещенном варианте, относятся, в основном, к кислотно-каталитическим реакциям (этерификации и гидролиза);
для реализации реакционно-ректификационных процессов используется обычная колонная аппаратура, снабженная в случае применения твердых катализаторов специальными вставками для их размещения;
при обработке экспериментальных данных по кинетике совмещенных реакционно-ректификационных процессов определяется зависимость наблюдаемой константы от концентрации реакционной среды.
реакционно-ректификационные процессы организуются только для обратимых реакций.

Не отрицая значительного влияния упомянутых работ, автор, тем не менее, считает необходимым уже в данной главе отметить, что в книге:
значительное внимание уделено малоизученным хемодесорбционным процессам, приведены примеры новых совмещенных химических процессов, а также направленно совмещенных тепломассообменных процессов и аппаратов для их реализации;
показана целесообразность реализации для ряда непрерывных промышленно-важных совмещенных технологических реакционномассообменных процессов прямоточной схемы движения контактирующих фаз (в режиме вытеснения);
показана целесообразность использования реакционно-раз- делительных процессов для увеличения скорости медленно протекающих в обычных условиях необратимых химических реакций;
-сделан вывод о целесообразности во многих случаях реализации принципа равной протяженности реакционной и массообменной зон, особенно при последовательном совмещении РДП и РРП;
аппараты для реализации совмещенного реакционно-раздели тельного процесса рассматриваются как непрерывнодействующие без точечного источника питания (с непрерывно изменяющимся профилем концентраций реагентов);
исследованы реакционно-разделительные процессы дегидратации, окисления, бромирования, замещения, ацилирования, аминирования;
на базе модульного подхода и использования новых методов интенсификации разработаны конструкции аппаратов и их элементов, учитывающие специфику совмещенных процессов, для которых они предназначены;
особое внимание уделено изучению влияния массообменного процесса на кинетику реакции; его предложено оценивать не только по изменению концентрации реагентов, но и с помощью фактора диффузионного ускорения химической реакции, численно равного отношению константы скорости, полученной в условиях совмещенного процесса, к константе гомофазного процесса;

показана целесообразность такой организации реакционноразделительного процесса, при которой химический и разделительный процессы разнонаправлены (так, что химическая реакция уменьшает концентрацию реагента, а массообмен - увеличивает);
показана целесообразность проведения ряда промышленноважных процессов в реакционно-десорбционном режиме при использовании в качестве десорбирующего агента инертного газа или пара, либо паров одного из компонентов системы.

Массопередача при одновременном протекании химической реакции.

При организации совмещенных реакционно-массообменных процессов стремятся либо снять диффузионные ограничения и обеспечить проведение химической реакции в кинетическом режиме, либо организовать одновременно с проведением химической реакции разделение реакционной смеси.

В данной работе автор сделал попытку показать возможности использования совмещения химических процессов с массообменными для решения принципиально иной задачи - интенсфикации химических стадий процесса, которые во многих случаях являются лимитирующими. В связи с этим целесообразно рассмотреть некоторые вопросы массопереноса при одновременном протекании химической реакции, представляющие интерес в связи с необходимостью анализа методов математического описания реакционно-массообменных процессов.

Одновременно протекающие процессы массообмена и химической реакции в жидкой фазе описываются [4] дифференциальными уравнениями для каждого компонента в системе координат, которая движется вместе с рассматриваемым элементом межфазной поверхности.

Влияние химической реакции на массообмен проанализировано в работах по теории хемосорбции [29-31]. Еще Хатта [31] предложил определять скорость хемосорбции как произведение скорости физической абсорбции при максимально возможной движущей силе, выраженной через сопротивление жидкой фазы, на коэффициент ускорения χ массопереноса [32], определяемый из выражения

$$\chi = \beta ж^*/\beta ж = 1 + \delta/\Delta ж \ , \qquad (8.1)$$

где = $\beta ж^*$, $\beta ж$ - коэффициенты массопередачи в жидкой фазе соответственно при протекании и отсутствии в ней реакции; δ - увеличение движущей силы в жидкой фазе при протекании в ней реакции; $\Delta ж$ - движущая сила при физической абсорбции.

Изменение диффузионного потока за счет химической реакции при совмещенном процессе предлагают оценивать ”фактором ускорения" θ, определяемым как отношение какой-либо характеристики совмещенного процесса к той же характеристике при физической массопередаче.

Как известно, при массообмене между газом и жидкостью при некоторых условиях массоперенос значительно ускоряется вследствие возникновения в поверхностных слоях жидкости конвективных токов, усиливающих случайные мелкие возмущения. Это явление, называемое поверхностной или межфазной турбулентностью, возникает в результате трения между газом и жидкостью и резких изменений физических свойств в поверхностном слое жидкости и газа (эффекты Рэлея и Марангони).

Для описания явления межфазной турбулентности используют модель "вращающихся ячеек" [35], согласно которой вихри жидкости доставляются на ее поверхность из основной массы за счет пульсаций скорости. Это приводит к появлению зон с различными значениями поверхностного натяжения, вследствие чего возникает перемещение массы жидкости в направлении зон с большим поверхностным натяжением. Поверхность жидкости, согласно этой модели, представляет собой множество вращающихся ячеек (ячеек Бенарда), размеры которых вдоль соответствующих осей равны половине длины волны.

Методы расчета реакционно-разделительных процессов

Совмещенные реакционно-массообменные процессы сложны и строгих методик их расчета пока не предложено. Большинство работ посвящено расчету хемосорбционных процессов [4, 29, 30, 31, 36, 41, 43, 190], теория которых достаточно разработана. В книге эти работы рассматриваться не будут ввиду наличия достаточно обстоятельного обзора методов расчета хемосорбционных процессов и аппаратов [190].

Сложность, взаимное влияние совмещаемых процессов существенно затрудняют их расчет и делают актуальным использование методов математического моделирования. Как отмечено в [230], при моделировании совмещенных, в частности, РРаП используются модели двух типов: непрерывные , предназначенные для описания процессов в насадочных и пленочных аппаратах [97, 235]; дискретные модели секционированных аппаратов периодического и непрерывного действия. Непрерывные модели обычно представляют собой систему дифференциальных уравнений, описывающих изменение материальных потоков и их состав по высоте аппарата и могут быть использованы также для получения профилей температур и получения данных, необходимых для выполнения конструктивных расчетов аппаратуры. Эффективность использования таких моделей несколько снижается из-за того, что ВЕЛ, используемая в них, должна быть определена не из условий физической ректификации, а с учетом взаимного влияния химического и массообменного процессов [230], что, в конце концов, и составляет одну из основных задач расчета аппарата для совмещенного процесса.

Дискретные модели (которым отдано предпочтение в данной книге) обычно представляют собой систему уравнений материального и теплового балансов для всего аппарата и для каждой ступени, равновесных и стехиометрических соотношений для фаз, а также уравнений химической кинетики.

Принципиальное отличие подходов к моделированию, использованных в данной книге, от ранее принятых заключается в том, что в последние уравнения химической кинетики введены экспериментально определенные коэффициенты, отражающие влияние налагаемого диффузионного процесса на скорость химической реакции.

Одной из первых работ, посвященных разработке методики расчета реакционно-разделительных аппаратов, является работа [197], посвященная ректификации бинарной идеальной смеси, сопровождаемой обратимой реакцией первого порядка в жидкой фазе. Изменение концентрации легколетучего компонента за счет химического превращения:

$$dx = h/w \; x \; [k1 \; (1 - x) \; dn - k2xdn] \; , \qquad (11.7.2)$$

где k1, k2 - константы скорости прямой и обратной реакций; п - число теоретических тарелок; h - высота колонны; w - скорость жидкости.

Те же авторы получили в дальнейшем аналогичные решения с учетом теплового эффекта химической реакции, а также для случая ректификации с каталитической реакцией. И, наконец, в работе [198] было предложено математическое описание для наиболее общего случая разделения многокомпонентной неидеальной смеси, сопровождающегося химическим взаимодействием с учетом теплового эффекта.

Все вышеуказанные методики не учитывают структуру потоков в реальном аппарате. Между тем, этот вопрос имеет большое значение даже для гомофазных процессов, не говоря уже о гетерофазных.

Получено значительное количество гидродинамических моделей для аппаратов различных конструкций [200]. Не имея возможности подробно остановиться на них, отметим только, что согласно [200] избирательность процесса в реакторах идеального вытеснения выше, чем в реакторах полного перемешивания. Поэтому целесообразно использовать секционированные аппараты. Для секционированной полой барботажной колонны Штербачек предложил]190] следующее уравнение:

$$Еж = DG/3\varphi, \qquad (11.7.3)$$

где Еж - газосодержание, D - диаметр аппарата, G - объемная скорость газа.

Установлено, что

$$Ег = (2 - 3) \; Еж, \qquad (11.7.4)$$

Вышеупомянутые методики, к сожалению, не учитывают структуру потоков фаз в реакционно-массообменном аппарате и эффективность переноса вещества из одной фазы в другую в зависимости от гидродинамических, тепловых и других условий процесса. Учет химической реакции в жидкой фазе путем введения в уравнения материального и теплового балансов дополнительных членов, соответствующих изменению количества вещества и тепла за счет реакции,

неполно отражает влияние отвода продуктов реакции в момент их образования на скорость химического процесса.

При расчете неизотермических реакционно-массообменных аппаратов появляется необходимость определения оптимального распределения температуры по высоте аппарата. Эта задача осложняется при расчете газожидкостных аппаратов ввиду значительного различия в теплоемкостях газовой и жидкой фаз, влияния температуры на распределение компонентов между фазами, а также влияния процессов переноса тепла и массы на процесс химического взаимодействия. Кроме отмеченной выше обратной связи, обусловленной влиянием массообмена на скорость химической реакции, в изотермическом реакционно-массообменном аппарате возникает еще одна обратная связь, обусловленная зависимостью скорости химической реакции от температуры, в свою очередь, зависящей от тепловыделения.

В связи с невозможностью учесть “интерэктность” совмещенных процессов и "эмерджентность" полученной системы при расчете и моделировании реакционно-массообменного аппарата, следует отдать предпочтение методам, основанным на экспериментальном исследовании процесса в условиях, максимально приближенных к производственным, и использовании полученных данных для расчета с учетом вопросов масштабного перехода.

Аппаратура для проведения совмещенных процессов.

Конструкции аппаратов, используемых для реализации совмещенных процессов, определяются, прежде всего, характером системы взаимодействующих фаз (газ-жидкость, жидкость-жидкость, газ- твердое вещество, жидкость-твердое вещество, газ-жидкость- твердое вещество) и требованиями к конструкции, предъявляемыми совмещаемыми процессами (необходимость перемешивающих устройств, теплоподводящих или теплоотводящих поверхностей в случае неадиабатических процессов и т.п.). И, наконец, конструкция аппарата определяется выбранным методом совмещения - параллельным или последовательным (или их комбинацией).

Поэтому предложенные многочисленные технические решения по конструкциям аппаратов для совмещенных процессов не могут быть рассмотрены в рамках данной книги. Остановимся лишь на некоторых особенностях конструирования аппаратов для газожидкостных процессов, которым в книге уделено основное внимание. Имеющиеся обзоры конструкций газожидкостных реакторов [43, 199 и др.] посвящены, в основном, анализу и классификации хемосорбционных аппаратов. Лишь одна работа [41] затрагивает вопросы конструирования реакционно-ректификационных аппаратов. Между тем, несмотря на определенную общность подходов к конструированию хемосорбционных и газожидкостных реакционно-разделительных аппаратов, следует сразу заметить, что во втором случае приходится больше внимания уделять анализу процессов, протекающих не на межфазной поверхности, а в жидкой фазе. В частности, необходимость обеспечения большого времени пребывания жидкости при сравнительно медленных реакциях, отсутствия обратного перемешивания в

случае ингибирования продуктами реакции, отсутствия застойных зон при наличии побочных реакций, обеспечения оптимальной скорости отвода продуктов реакции в инертную фазу и др. заставляет искать новые нестандартные решения при разработке конкретных объектов.

В связи с тенденцией к стандартизации и унификации решений особое значение приобретает использование модульного подхода при конструировании, возможности которого при разработке совмещенных аппаратов будут показаны ниже.

Рассмотрим некоторые конструкции газожидкостных совмещенных аппаратов и проведем одновременно их классиркацию (более подробно см. в [244]). В основу классификации положен оправдавший себя в химической технологии принцип образования межфазной поверхности [ИЗ], которая определяется характером взаимодействия контактирующих фаз. Метод образования межфазной поверхности предопределяет требования к конструктивным особенностям аппарата, таким образом, система классификации должна учитывать как гидродинамическую обстановку и особенности процессов массопереноса, так и конструктивные особенности аппаратов.

В соответствии с этим все многообразие аппаратов для проведения газожидкостных совмещенных процессов можно разделить на три класса:
аппараты с фиксированной поверхностью фазового контакта;
с поверхностью контакта, образуемой в процессе движения потоков;
с внешним подводом механической энергии.
Эти классы по характеру и направлению движения контактирующих фаз можно подразделить на подклассы, включающие, в свою очередь, типы аппаратов, отличающиеся особенностями циркуляции реакционной массы и конструктивными приемами подвода энергии к контактирующим фазам.

Способ образования межфазной поверхности является одним из важнейших, но не единственным признаком, позволяющим объединить в родственные группы многие типы аппаратов. Другим важным признаком является направление относительного движения контактирующих фаз. Этим признаком определяется ряд важнейших особенностей конструкций совмещенных аппаратов. Аппараты с фиксированной поверхностью фазового раздела целесообразно разделить на три подкласса: с перекрестным, прямоточным и с противоточным движением фаз. Ряд конструкций этого типа приведен ниже.

К подклассу аппаратов с внешним подводом энергии и взаимодействием контактирующих фаз при ее стационарном подводе можно отнести аппараты с перемешивающими устройствами, с внешним принудительным циркуляционным контуром и роторные.

Основным направлением совершенствования совмещенных аппаратов с перемешивающим устройством является увеличение степени дисперсности газовой фазы, которая достигается вводом ее непосредственно в зону мешалки, где действуют максимальные сдвигающие усилия. В некоторых конструкциях

аппаратов перемешивающие устройства устанавливаются над секционирующими тарелками. Достоинством такого решения является возможность управления гидродинамической обстановкой в каждой секции и уменьшение продольного перемешива- вания, что, в конечном итоге, повышает производительность реакционно-массообменного аппарата. В аппаратах с внешним принудительным циркуляционным контуром энергия вводится в реакционный объем посредством нагнетания жидкости через рециркуляционную линию под повышенным давлением. Интенсивная циркуляция реакционной массы приводит к полной гомогенизации содержимого реактора, а высокоскоростные струи жидкости при соударении с жидкостью в реакционном объеме хорошо диспергируют газовые пузыри и равномерно распределяют их по сечению. Характерной особенностью роторных аппаратов являются высокие удельные энергозатраты (до 9 квт/м3), что предопределяет большую скорость переноса веществ, однако, ввиду малого времени пребывания жидкости область использования роторных аппаратов для реакционно-разделительных процессов ограничена.

Подкласс аппаратов с взаимодействием фаз при нестационарном подводе энергии объединяет аппараты трех типов: пульсационные с контролируемым циклическим вводом энергии и с подводом энергии посредством вибрации. Такие аппараты, по-видимому, целесообразно использовать для тех реакционно-массообменных процессов, в которых массоперенос является лимитирующей стадией.

В отдельный подкласс следует выделить насадочные колонны, которые также могут быть применены для проведения реакционномассообменных процессов. Их основными достоинствами являются простота конструкции, невысокое гидравлическое сопротивление, достаточно высокая интенсивность массопередачи, приспособленность к работе в условиях значительно изменяющихся нагрузок по газу и жидкости. В то же время их серьезным недостатком является то, что значительная часть реакционного объема заполнена объемными элементами насадки.

В книге обоснован ряд принципиально новых конструкций барботажных и насадочных аппаратов, разработанных автором или при его участии, учитывающих специфику реакционно- массообменных процессов, для проведения которых они предназначены, а также приведен ряд примеров совмещенных и комбинированных аппаратов, сконструированных на основе модульного подхода.

Элементы теории РРаП

Согласно классификации совмещенных реакционно-разделительных процессов [234] можно выделить реакционно-ректификационные, реакционно-экстракционные, реакционно-десорбционные, реакционно-кристаллизационные и другие процессы. Они принципиально отличаются от хемосорбционных, так как предполагают проведение реакции в жидкой фазе одновременно с отводом ее продуктов в другую фазу.

Данный раздел посвящен изложению элементов теории, некоторых общих приемов организации и выявлению возможностей одной из наиболее перспективных, по мнению автора, группы реакционно-массообменных процессов - реакционно-десорбционных процессов, которые для удобства дальнейшего изложения в противовес хемосорбционным, где реакция проходит между газом и жидкостью, названы также хемодесорбционными процессами.

При проведении хемодесорбционных процессов продукты реакции, протекающей в жидкой фазе, отводятся из нее в газовую с помощью десорбирующего агента, которым могут быть инертный газ или пары одного из компонентов системы. Не претендуя на принципиальную новизну данного приема, достаточно часто используемого в химических лабораториях, автор все же считает необходимым отметить, что непрерывные хемодесорбционные процессы сравнительно редко используются в промышленности из-за слабой теоретической проработки, отсутствия достаточно апробированных методов исследования и расчета.

Между тем, даже чрезвычайно опытные химики не всегда учитывают специфику хемодесорбционных процессов. Обязан привести пример, связанный с моим вхождением в высокую науку. На предзащите моей докторской диссертации в ведущем московском химическом университете я неосторожно сказал, что, изучая хемодесорбционные процессы, нельзя не учитывать особенности их кинетики, связанной с синергичным совмещением двух процессов – химического и массообменного (десорбция). Известный профессор попросил дать пояснения в части слайда, подтверждавшего эту мысль. На слайде были две кинетические кривые для реакции получения диоксана дегидратацией диэтиленгликоля. Кривые были получены в одинаковых условиях, только в одном случае реакционная смесь перемешивалась механической мешалкой, а во втором – с помощью перемешивания инертным азотом. Я пояснил профессору, что при перемешивании мешалкой изучали кинетику только одного автономного химического процесса, а во втором случае основной процесс был синергически (в пространстве и во времени) объединен с процессом десорбции продукта реакции диоксана из жидкой реакционной массы в газовую фазу за счет барботирования через нее инертного азота. Я сказал, что это кинетика совершенно другого хемодесорбционного процесса, хотя азот является инертным газом. Дальше было совсем интересно. Профессор аккуратно поинтересовался, правильно ли он меня понял. Мол, все его аспиранты и студенты испокон веку перемешивают массу в колбе при изучении кинетики, барботируя в нее азот под слой жидкости. Так что, они изучают не ту кинетику? Сейчас бы я промолчал. Тогда был молод и ответил: вот именно! Обиженный профессор попросил прервать предзащиту на 2 недели, дабы он смог проверить мою правоту. Мне повезло – профессор оказался честным человеком и очень порядочным ученым. Через две недели он лично позвонил мне, извинился, сказал, что я прав оказался, поблагодарил за науку и пригласил на продолжение предзащиты.

Между прочим, в этом же совете случилась со мной и вторая подобная история. Второй профессор, который был потом моим оппонентом, был недоволен тем, что реакционно- ректификационный процесс я организовал в одном аппарате, одновременно, проводя параллельно в одной колонне и химическую реакцию и

ректификацию для того, чтобы отвести продукты реакции в нереакционную газовую (паровую) фазу в момент их образования. Он занимался подобными процессами и делал в колонне ректификации специальную реакционную вставку, тем самым сознательно разделяя два процесса, которые было целесообразно, на мой взгляд, синергически связать, в пространстве и во времени. Мне стоило большого труда переубедить его, вот и стал он моим оппонентом после этого. Эти две поучительные для меня истории я вспомнил здесь не хвастовства ради, а только для того, чтобы подчеркнуть новизну развиваемого подхода при становлении перспективного направлении развития технологии органического синтеза.

В книге рассматриваются:
преимущественно прямоточные хемодесорбционные процессы и аппараты для их реализации с практически совпадающей протяженностью реакционной и массообменной зон; некоторые общие приемы организации хемодесорбционных процессов, обеспечивающие формирование наиболее благоприятного для рассматриваемой реакции профиля концентраций в жидкой фазе, где происходит химическая реакция.

Разработанная ранее [234] общая классификация совмещенных реакционно-массообменных процессов, в основу которой положен характер массообменного процесса, не исчерпывает всего многообразия совмещенных, в частности, хемодесорбционных, процессов и не устанавливает достаточно четких классификационных границ между ними. Газожидкостные процессы составляют самую большую группу среди совмещенных процессов. Наиболее интересными среди них являются процессы, в которых реакция протекает в жидкой фазе, а продукты реакции тем или иным способом переводятся в газовую фазу. Такие процессы, как это оговорено выше, будем называть газожидкостными реакционно-разделительными процессами (РРаП) и, прежде всего, к РРаП следует отнести хемодесорбционные процессы. Некоторые хемосорбционные процессы можно также организовать как РРаП. В таком случае компоненты газовой фазы химически взаимодействуют с компонентами жидкой фазы, а продукты взаимодействия десорбируются в избыток газовой фазы.

Реакционно-ректификационные процессы, как представители РРаП, характеризуются отводом легколетучих продуктов реакции из жидкой фазы в паровую при кипении реагирующей фазы (происходит обогащение паровой фазы легколетучими продуктами реакции) [4,5, 168, 171, 172, 180-182]. Область применения реакционно-ректификационных процессов несколько сужается необходимостью подбора компонентов, обеспечивающих соответствие температурных условий химической реакции режиму ректификации.

К особой группе РРаП относятся автоотделительные процессы, характеризующиеся использованием жидких исходных веществ и получением газообразных продуктов реакции, самостоятельно покидающих реакционную зону [169, 170].

В основу первого классификационного признака новой схемы положен тип исходной реакции. К первой группе относятся процессы гомогенные, протекающие обычно в жидкой фазе. При организации РРаП система искусственно переводится из гомогенной в гетерогенную. Вторая группа объединяет химические процессы, в которых один из реагирующих с жидкой фазой компонентов находится в газовой фазе. К третьей группе относятся процессы, в которых один из продуктов при условиях реакции переходит в газовую фазу. Данная классификация не учитывает процессы, характеризующиеся взаимодействием в газовой фазе.

Следующим классификационным признаком является природа используемого разделяющего газообразного агента. Такими агентами могут быть: десорбирующий агент, химически активный по отношению к компонентам жидкой фазы и выводящий из реакционной массы преимущественно продукты реакции; десорбирующий агент такого же типа, образующий с продуктами реакции азеотропы; химически активный по отношению к компонентам жидкой смеси разделяющий агент (случай, когда продукты химического взаимодействия разделяющего агента и жидкой фазы не являются целевыми); разделяющим агентом является паровая фаза жидких компонентов, обогащенная легколетучими компонентами (реакционно-ректификационный процесс); разделяющий агент - избыток газовой фазы, химически реагирующей с компонентами жидкой фазы, когда продукты этого взаимодействия являются целевыми (хемосорбция); разделяющий агент - паровая фаза целевого продукта.

Для выявления следующих классификационных признаков рассмотрим природу воздействия разделяющих агентов на реагирующую смесь. Одной из основных причин воздействия газовой фазы на реакционную жидкую массу является перенос вещества между фазами, изменяющий некоторым образом концентрации компонентов в жидкой фазе или время нахождения компонентов в реакционной смеси (последнее особенно важно для обратимых или консекутивных реакций). Скорость переноса вещества зависит от соотношения летучестей компонентов. Если летучесть исходных реагирующих веществ существенно меньше летучести продуктов химической реакции, то последние выносятся из реакционной массы, что приводит к ускорению химического процесса.

Однако, необходимо учитывать также возможность таких процессов, когда летучесть продуктов химической реакции много ниже летучести исходных веществ, а также случай, когда летучести приблизительно равны. Естественно, что решение вопроса о целесообразности организации РРаП в последних случаях не может быть однозначным. Перевод системы из гомогенной в гетерогенную и совмещение процессов в ряде случаев приводит к усложнению конструкции реактора и топологии всей ХТС, что часто ограничивает возможности промышленной реализации РРаП и требуется достаточно глубокая технико-экономическая проработка вопроса для принятия окончательного решения.

Практика показывает, что наиболее часто оказывается целесообразной промышленная реализация хемодесорбционных процессов с использованием в качестве десорбирующего агента азеотропообразователя в тех случаях, когда

погон после конденсации расслаивается, что облегчает огранизацию рецикла десорбирующего агента. Сравнительно упрощается аппаратурно-технологическое оформление процесса, если его организуют при условиях кипения реакционной массы; иногда в этом случав оказывается целесообразным проведение РРаП под вакуумом или с вводом в кипящую реакционную массу инерта , И, наконец, организация хемодесорбционного процесса на базе хемосорбционного за счет увеличения подачи реагирующего газа и организации его рецикла практически всегда способствует улучшению технико-экономических показателей процесса*

Взаимное синергическое влияние совмещаемых массообменного и химического процессов при хемодесорбции

Отмечено [34, 167] сильное взаимное влияние ("интерэктность") химического и тепломассообменного процессов при их совмещении. Выше показано, что основное внимание исследователи уделяли одной стороне этого явления - влиянию химического процесса на тепломассообменный. Достаточно глубоко изучено явление поверхностной турбулентности, причем, в основном, все данные получены в результате теоретического и экспериментального изучения процессов экстракции, физической абсорбции и хемосорбции. Можно предположить, что еще в большей степени явление поверхностной турбулентности проявляется при осуществлении РРаП. Действительно, в этом случае отвод продуктов способствует увеличению скорости обратимого процесса в соответствии с принципом Ле-Шателье, а для необратимого - вследствие закона действия масс, так как в реакционной массе при отводе продуктов реакции увеличивается концентрация реагентов.

Увеличение скорости реакционно-массообменного процесса, по- видимому, способствует более быстрому изменению поверхностного натяжения на границе раздела фаз и их плотности, что вызывает усиление поверхностной турбулентности. Последняя, как уже отмечено выше, ускоряет процесс массопереноса - отвода продуктов реакции из жидкой фазы в газовую, что, в свою очередь, интенсифицирует химический процесс в жидкой фазе. Налицо сильное взаимное влияние реакционного и диффузионного процессов и внутренняя нестационарность совмещенного процесса. Это явление в чем-то сродни явлению автокатализа и не может быть описано зависимостями, полученными совместным решением уравнений диффузии и кинетики.

Важной особенностью реакционно-разделительных процессов является то, что, организуя отвод продуктов реакции за счет наложения массообменного процесса "в такт" реакции, можно обеспечить практически постоянную (или даже увеличивающуюся) во времени (или по высоте аппарата) концентрацию исходных веществ в жидкой фазе. При постоянстве концентрации реагентов соответствующие концентрационные множители в кинетическом уравнении можно включить в константу скорости, при этом кажущийся порядок реакции уменьшается. Таким образом, налагая на химический процесс диффузионный, можно понизить общий кинетический порядок реакции вплоть до нулевого (правильнее "псевдонулевого").

В настоящее время не представляется возможным четко определить все причины влияния наложения массообменного процесса на химический, в особенности, если последний протекает в кинетической области.Кроме отмеченных выше проявлений закона действия масс и принципа Ле-Шателье, наложение барботажного разделительного процесса на химический может вызвать увеличение наблюдаемой скорости процесса, обусловленное целым рядом эффектов, связанных с образованием межфазной поверхности, разрывом сплошности слоя жидкости при барботировании газа в жидкость и образованием зон повышенного давления, фазовыми переходами при чередовании конденсации - испарения на каждой ступени контакта, введением в систему значительных количеств энергии извне с газовым потоком и др.

Проанализируем возможные причины влияния неоднофазноети системы на скорость РРаП.

-Увеличение свободной энергии молекул, находящихся на поверхности раздела фаз. При переводе гомогенной системы в гетерогенную за счет барботирования газа (пара) возникает поверхность раздела фаз, причем поверхностные молекулы появляются на ней в результате разрыва межмолекулярных связей, в связи с чем и обладают большей потенциальной энергией (183, 239] . Увеличение межфазной поверхности сопровождается затратой работы на разрыв межмолекулярных связей. Величина поверхностной энергии равна произведению поверхностного натяжения на площадь поверхности. Для большинства органических молекул с углеродными радикалами и различными функциональными группами внутренняя (полная) поверхностная энергия жидкости, чем энергия, необходимая для разрыва внутримолекулярных связей (для большинства органических молекул последняя меняется незначительно и составляет 200-400 кДж/моль). Однако, возможно именно сравнительно небольшая энергетическая добавка делает молекулы, находящиеся на поверхности раздела фаз в несимметричном силовом поле, "особенными" по энергетическому состоянию, отличными от молекул в объеме фазы, более реакционноспособными.

-Увеличение активности молекул в момент разрыва сплошности жидкости.

Эстонским изобретателем Урмасом Альтмери показано, что молекулы жидкости в момент механического разрыва сплошности приобретают биологическую и химическую активность. Это явление использовано практически в целом ряде разработок СКТБ "Дезинтегратор". Многократный разрыв сплошности жидкости имеет место и при барботировании через нее газа (пара). Поскольку в современных барботажных аппаратах время обновления поверхности очень мало, значительная часть молекул жидкости находится в "активизированной" форме и, по-видимому, может обладать более высокой реакционной способностью.

- Ориентация молекул на поверхности раздела фаз.

Как отмечено выше, увеличение межфазной поверхности сопровождается затратой работы на разрыв межмолекулярных связей. Следовательно, обратный процесс должен проходить самопроизвольно, так как сопровождается уменьшением энергии Гиббса поверхностного слоя. В этом причина стремления поверхности к снижению поверхностного натяжения. Для жидкостей оно проявляется в ориентировании молекул, особенно несимметричных, таким образом, чтобы в сторону газовой фазы была обращена часть молекулы, обеспечивающая меньшее поверхностное натяжение [239]. Последнее замечание

представляет особый интерес, так как приводит к такой ориентации молекул органических веществ, когда радикалы находятся на поверхности, а функциональные группы - внутри фазы. По крайней мере, именно такой ориентацией в [239] объясняют отмеченное выше незначительное изменение поверхностной энергии жидкости для различных органических соединений. Такая ориентация молекул не может не оказать существенного влияния на реакционную способность вещества*

-Образование двойного электрического слоя.

Избыточная поверхностная энергия и стремление гетерогенной системы к ее уменьшению вызывают также определенное "ориентирование полярных молекул, ионов и электронов в поверхностном слое, вследствие чего соприкасающиеся фазы приобретают заряды противоположного знака, но равной величины" [239], Не затрагивая вопросы механизма образования двойного электрического слоя, отметим лишь, что появление электрических зарядов на поверхности пузырьков объясняют также их адиабатическим сжатием или расширением, трением пузырьков о жидкость при их взаимном перемещении и т.д. В то же время известно [37], что даже сравнительно слабые электрические и магнитные (H = 10 - 100 эрстед) поля могут оказывать существенное влияние на скорость химической реакции при свободно радикальном механизме вследствие внесения некоторого порядка в расположение свободных радикалов в реакционной массе и изменения судьбы триплетных пар под воздействием внешнего магнитного поля.

-Возникновение пульсаций при переводе гомогенной системы в гетерогенную.

Известно, что при вводе газа (пара) в жидкость возникают пульсации давления и скорости, вызванные появлением и схлопыванием пузырьков в объеме жидкости. Эти явления во многом аналогичны явлениям при кавитации |38], а возникающие при этом эффекты - эффектам, возникающим при воздействии на систему ультразвуковых колебаний.

Так как частоты пульсаций в барботажном слое (1—10 с-1) на много порядков меньше собственных частот колебаний молекул, по- видимому, в системе не должны происходить химические изменения вследствие резонансных явлений, и изменение преобладающих частот в системе в указанном диапазоне вряд ли скажется на скорости химического превращения, однако, возникают акустические течения, вызывающие интенсивное перемешивание среды и ускоряющие процессы тепломассообмена. Образование и сложное движение пузырьков (например, эффект "танцующих" пузырьков), изменение их размеров, захлопывание, коалесценция и т.д. порождают в жидкости импульсы сжатия (микроударные волны и микропотоки), могут вызвать локальное нагревание среды. Как свидетельствует эксперимент [39], при адиабатическом сжатии кавитационного пузырька температура в нем может достигать 104 К. Повышение температуры способствует переходу молекул на границе и внутри пузырьков в возбужденное состояние и расщеплению их на радикалы при гомолитическом разрыве связей или ионы при гетеролитическом разрыве связей.

Не исключено, что для многих химических реакций перевод гомогенной системы в гетерогенную путем барботирования газа и организация, в частности, реакционно-десорбционного процесса вследствие комплекса вышеотмеченных

эффектов способствует расщеплению молекул на радикалы или ионы, увеличению их концентрации в зоне реакции. Скорость образования и расходования может оказывать значительное влияние на общую интегральную скорость процесса. Отмеченные выше эффекты гетерофазности имеют некоторую общность с поверхностными эффектами в системах жидкость-жидкость, обнаруженными при изучении межфазного катализа в органической химии [246],

Таким образом, пока трудно предложить единственное, исчерпывающее вопрос объяснение причин изменения скорости многих химических реакций при наложении разделительного массообменного процесса, в особенности, протекающего в барботажном режиме. Этот вопрос требует дальнейшего углубленного комплексного изучения. Однако, проведенные автором исследования и накопленный опыт использования ряда новых реакционно-разделительных процессов в промышленности позволяют сделать весьма важный в практическом отношении вывод о необходимости учета отмеченных эффектов при исследовании РРаП в лабораторных условиях и расчетах промышленных аппаратов.

Область протекания хемодесорбционного процесса.

Анализ хемодесорбционных процессов показывает, что они всегда состоят из нескольких стадий, которые могут быть включены в линейную последовательность, включающую стадию собственно химической реакции. Поэтому, несмотря на присущую хемодесорбционным процессам внутреннюю нестационарность, к ним применимо стационарное приближение [167], и, следовательно, скорость суммарного процесса определяется скоростью наиболее медленной стадии (в случае хемодесорбционных процессов это далеко не всегда химическая стадия). Поэтому в данных о наблюдаемой кинетике хемодесорбционного процесса наиболее полно отражается информация о лимитирующей стадии процесса и содержится мало информации о других стадиях, в число которых зачастую попадает и собственно химическая стадия процесса.

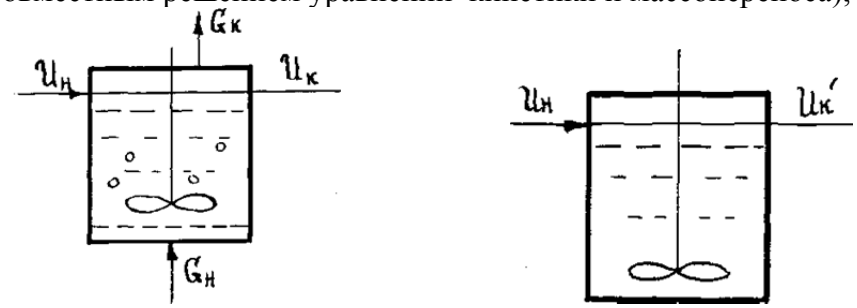
Газожидкостный хемодесорбционный процесс для реакций, локализованных в объеме жидкой фазы, можно рассматривать как состоящий из следующих макростадий: химическая реакция в объеме жидкой фазы, диффузия продуктов реакции из ядра потока к поверхности раздела фаз, десорбция продуктов реакции с поверхности раздела фаз, их диффузия в ядро газового потока, В гомогенной изолированной системе (рис.2.1а) удельная скорость реакции определяется концентрацией реагентов и температурой:

$$r = K e^{-E/RT} C_1^{\gamma_1} C_2^{\gamma_2} \quad (11.7.5)$$

где K - предэкспоненциальный множитель; E -энергия активации; R- газовая постоянная; T - абсолютная температура; C - концентрация реагента; γi- его стехиометрический коэффициент.

В гетерофазной системе (Рис.11.8.1) любого реакционно-разделительного процесса, как отмечено выше, появляется целый ряд факторов, влияющих на скорость химического процесса. Их целесообразно разделить на две, далеко не равноценные, группы:

а) факторы, влияние которых может быть учтено в уравнении (11.7.5) изменением концентрации реагентов или показателей степени γ (отвод продуктов реакции за счет избирательного массообменного процесса учитывается совместным решением уравнений кинетики и массопереноса);



. a b

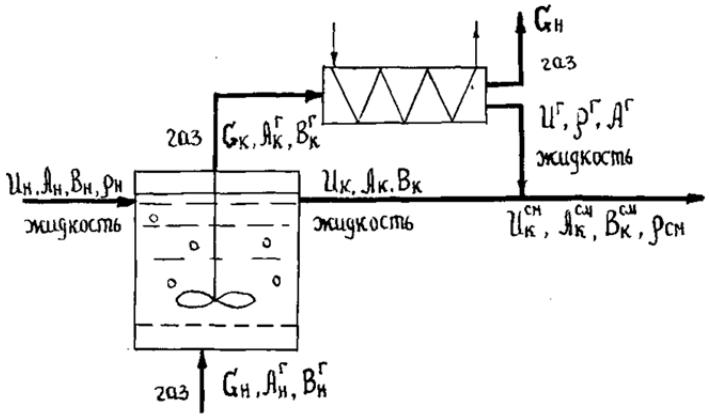


Рис.11.8.1. Реакционный (б) и реакционно-разделительный процессы (а) в реакторе полного смешения.

Рис.11.8.2. Материальные потоки в установке для изучения реакционно-десорбционного процесса в реакторе полного смешения с непрерывной подачей и отводом фаз.

б) факторы, определяемые гетерофазностью системы, влияние которых проявляется, прежде всего, через предэкспоненциальный множитель и показатель экспоненты: наличие и величина межфазной поверхности, разрыв сплошности при барботировании жидкости газом и обмен энергией при этом, образование зон повышенного давления, фазовые переходы, ориентация молекул реагента в несимметричном силовом поле, пульсации давления и скорости, акустические

эффек-ты, локальные повышения температуры, наличие двойного электриче¬ского слоя при барботировании, электрические и магнитные поля и др.

Ввиду невозможности при современном состоянии теории гетерофазных химических процессов количественно описать влияние всех факторов, относящихся к группе "б", в уравнение (11.7.1), по-видимому, целесообразно внести какой-то экспериментально определяемый коэффициент, отражающий их влияние. Причем, он может быть введен либо в качестве дополнительного предэкспоненциального сомножителя, либо в качестве "поправки" к энергии активации Е. Автором принят первый подход.

Величина "поправки" к энергии активации может быть положительной или отрицательной, точно также как величина дополнительного предэкспоненциального сомножителя может быть больше или меньше 1 в зависимости от того, замедляют или ускоряют химическую реакцию . Величина, которую назовем θ – фактором диффузионного ускорения, представляет собой отношение наблюдаемой константы скорости реакции в гетерогенной системе к наблюдаемой константе скорости реакции в гомогенной системе при тех же условиях

$$\theta = K_{гж} / K_{ж} \qquad (11.7.6)$$

Рассмотрим случай, когда реакционно-разделительный процесс реализован в гетерогенной газожидкостной системе, причем реакция локализована в объеме жидкой фазы, а продукт В избирательно отводится в газовую фазу (Рис.11.8.2). Пусть и жидкий и газовый потоки состоят из ядер, где происходит полное смешение, и неподвижных диффузионных пленок, соответственно разделенных межфазной поверхностью, линейные размеры которой существенно больше $\delta_ж$ и $\delta_г$. Последнее позволяет рассматривать задачу как плоскую. Пусть химическая реакция протекает с постоянной во времени скоростью и концентрация компонента В в ядрах газового и жидкостного потоков также не изменяется во времени. Тогда, если не учитывать внутреннюю нестационарность, распределение концентраций компонента В в плоскости, нормальной к межфазной поверхности, показано на Рис.11.8.3. Градиент концентрации продукта В в жидкой фазе будет

$$dC_B/dL = (C_{вст} - C^*_в)/\delta_ж \qquad (11.7.?).$$

После несложного вывода получим, что при $\psi_К << \beta_В$ реакция протекает в кинетической области и

$$r = \psi_К (\beta_ж /M_ж - C^*_В), \qquad (11.7.8)$$

При

$$r = \beta_В (\beta_ж /M_ж - C^*_В), \qquad (11.7.9)$$

т.е. наблюдаемая скорость химической реакции определяется скоростью диффузии продукта реакции В.

Таким образом, организуя хемодесорбционный процесс, можно перевести даже относительно быстрее реакции, протекающие в объеме жидкой фазы, в диффузионную область протекания, когда скорость процесса будет определяться, в основном, величиной коэффициента диффузии в жидкой фазе, толщиной диффузионной пленки и равновесной концентрацией на границе раздела фаз. Часто ψK и βB являются величинами одного порядка. В этом случае можно полагать, что процесс протекает в переходной области. Изменением скорости газового потока можно обеспечить как внешнедиффузионную, когда общая скорость лимитируется диффузией в жидкой фазе и отводом продуктов реакции к границе раздела фаз, так и внутридиффузионную область протекания процесса, когда наблюдаемая скорость процесса будет определяться скоростью десорбции продуктов реакции с поверхности раздела фаз. Заметим, что употребление терминов "внутри" и "внешнедиффузионная" область в рассматриваемом случае достаточно условно.

Аналогично можно показать, что влияние диффузионных факторов на наблюдаемую кинетику химических реакций сохраняется и для реакций, порядок которых отличается от первого.

Таким образом, совмещение химических стадий с массообменными при организации реакционно-разделительных процессов способствует интенсификации процесса. Отсюда вытекает целесообразность обеспечения равной протяженности реакционной и массообменной зон в совмещенном аппарате. При практической реализации этот принцип целесообразно использовать одновременно с известным приемом - рециркуляцией с промежуточным разделением реакционной массы.

При выборе метода совмещения и оптимальной схемы потоков фаз в совмещенном аппарате автор руководствуется еще одним принципом - разнонаправленности совмещаемых процессов, когда за счет химической реакции концентрация реагентов уменьшается, а за счет массообмена - увеличивается.

Автор не ставит задачу обстоятельно рассмотреть общие вопросы исследования макрокинетики химических реакций в гетерогенных системах. Для многих практически важных случаев эти вопросы подробно рассмотрены в литературе [167]. Однако, как отмечено в указанной монографии, в связи с внутренней нестационарностью системы газ-жидкость, в которой протекает химическая реакция, далеко не всегда удается свести решение задач диффузионной кинетики к совместному решению уравнений диффузии и собственно кинетики химической реакции.

Рассмотрим возможные варианты методов экспериментального кинетического исследования реакционно-разделительных, в частности, хемодесорбционных процессов. Прежде всего отметим, что из рассмотрения следует сразу же исключить методы, основанные на использовании изолированных систем (без

тепло- и массообмена с окружающей средой) как противоречащие самой природе рассматриваемых процессов.

С учетом специфики хемодесорбционных процессов наибольшего внимания заслуживают методы, основанные на использовании открытых по одной или обеим фазам систем при обеспечении изотермических условий процесса. Проточные системы наиболее удобны не только с точки зрения возможностей интерпретации экспериментальных данных, но и в связи с тем, что в реакционной ячейке возможно создать условия, максимально приближающиеся к условиям работы промышленных аппаратов, и снять, в связи с этим, многие вопросы, связанные с их моделированием и решением вопросов масштабного перехода.

Для газожидкостных процессов использование проточных систем требует решения вопроса о применении в качестве основной реакционной ячейки реактора идеального смешения, когда состав фаз одинаков во всем объеме ячейки и на выходе из нее, или реактора идеального вытеснения (РИВ), когда обратное перемешивание фаз по высоте ячейки отсутствует и необходимо учитывать изменение их концентрации по высоте слоя. Согласно [167] в связи с меньшей чувствительностью уравнений, получаемых с помощью РИВ, предпочтение следовало бы отдать РИС, однако, в целом ряде случаев, когда кинетические исследования проводятся для получения данных, необходимых для создания промышленных реакционно-разделительных установок, где часто используют различные колонные аппараты (барботажные, эрлифтные, тарельчатые, трубчатые, с многократной инверсией фаз и др.), исследования в РИВ могут представить значительный теоретический и практический интерес.

В большинстве случаев, рассмотренных в данной работе, изучение реакционно-разделительных процессов проводилось на установке, принципиальная схема материальных потоков в которой приведена на Рис.11.8.2. Вначале по известной [40] методике без подачи десорбирующего агента изучали кинетику процесса в открытой системе, используя РИС. Затем, меняя скорость десорбирующего агента и число оборотов мешалки, определяли область протекания процесса и характер ограничений (внутридиффузионный или внешнедиффузионный).

Можно показать, что РРаП в режиме хемодесорбера близок к “идеальному реактору”, работающему в режиме химической рециркуляции. Наиболее четко эти идеи выразил М.Ф.Нагиев [15], введя понятия “идеального реактора I рода", когда "образовавшиеся вещества без промедления удаляются и вместо них в то же мгновение добавляется такое же количество (масса) реагентов в стехиометрических соотношениях" [15] и "идеального реактора 2 рода", в котором "...химическая реакция должна начинаться с максимальных начальной и средней скоростей при мгновенном удалении из зоны реакции вновь образовавшихся продуктов так, чтобы содержимое реактора всегда состояло только из реагирующих веществ". М.Ф.Нагиевым реализованы эти направления достижения "идеальности" химического процесса за счет его проведения при низких конверсиях и рециркуляции реакционной массы (в особенности, при промежуточном выделении из нее продуктов реакции). Однако, такое решение приводит зачастую к увеличению объема реакторов, усложнению схемы,

необходимости дополнительной разделительной аппаратуры. В то же время, использование совмещенных РРаП при протекании химической реакции в жидкой фазе, позволяет максимально приблизиться к "второму роду идеальности" более простым и эффективным путем - отводом продуктов реакции по мере их образования в том же реакторе за счет наложения массообменного (разделительного) процесса в другую фазу, где химическая реакция не происходит. При этом сохраняются все особенности и преимущества рециркуляционных процессов, поскольку каждую секцию аппарата для РРаП можно представить себе как химический реактор, из которого непрерывно выводится реакционная масса, подвергается разделению, отделенные от продуктов исходные реагенты непрерывно подаются в ту же секцию (аналогично потоку рециркулята), а продукты от водятся из секции потоком инертной (в случае РДП - газовой, РРП - паровой) фазы. Таким образом, можно рассматривать РРаП как частный случай рециркуляционного химического процесса. Последнее замечание позволяет использовать для анализа РРаП основные выводы теории химической рециркуляции.

Действительно, как и для процессов с химической рециркуляцией, применение РРаП:
позволяет обеспечить наилучшее использование сырьевых ресурсов системы за счет обеспечения высокой селективности и выхода целевых продуктов, а также снятия трех известных термодинамических ограничений (снижение концентрации реагирующих веществ
за счет их разбавления продуктами реакции, образование побочных продуктов, завершение процесса в области, далекой от полного превращения);
позволяет обеспечить наиболее полное исчерпывание энергетических ресурсов системы за счет использования тепловых эффектов химических реакций для проведения массообменного процесса вывода продуктов реакции;
позволяет увеличить интенсивность оборудования за счет снятия 2 кинетических осложнений (побочные превращения продуктов реакции, снижение концентрации реагентов и соответствующее уменьшение скорости реакции).

В преломлении для РРаП можно использовать также следующие "теоремы супероптимальности“, доказанные М.Ф.Нагиевым для рециркуляционных химических процессов [15]:
если истинная скорость реакции в начале реактора выше, чем средняя скорость во всем реакторе, то процесс относится к классу стабилизирующихся (при этом средняя скорость отвода продуктов реакции меньше средней скорости их образования) и, наоборот, если истинная скорость реакции в начале реактора ниже, чем средняя скорость во всем реакторе, то процесс "антистабилен”, т.е. с течением времени его скорость растет;
для РРаП можно добиться улучшения процесса изменением профиля температуры по длине реактора (при этом изменяется соотношение скоростей массообменного и химического процессов);
поскольку отвод преимущественно продуктов реакции из каждой секции совмещенного аппарата равноценен осуществлению рециркуляции с добавлением эквивалентного количества свежей загрузки, то можно показать, что для РРаП соблюдается первая теорема супероптимальности, согласно которой свежая

загрузка реагирующих компонентов является монотонно убывающей функцией степени превращения Af;
для РРаП соблюдается также вторая теорема супероптимальности, согласно которой для последовательных реакций, протекающих в реакторе идеального вытеснения с рециркуляцией непрореагировавшего сырья в изотермических условиях, массы свежей загрузки и промежуточного продукта являются монотонно убывающими функциями степени превращения исходного сырья,
при одновременном протекании нескольких реакций в ступени совмещенного аппарата, реализующего РРаП, всегда можно, изменяя скорость и селективность отвода продуктов реакции, усилить или замедлить любую реакцию до желаемого предела (аналогично 1У теореме супероптимальности).

Из материалов, приведенных в первых главах книги, вытекают также некоторые другие принципы, которые учтены при разработке конкретных промышленно - важных РРаП и отражены в следующих разделах книги:
Правильно подобрав разделяющий агент, практически всегда можно увеличить скорость химического процесса, даже если он протекает в кинетической области и является необратимым. Вводом правильно выбранного разделяющего агента в реакционную зону практически всегда удается увеличить интенсивность реакционного объема, несмотря на уменьшение объема жидкости вследствие газонаполнения реакционной массы.
Для повышения интенсивности реакционного оборудования целесообразно при реализации РРаП обеспечивать одинаковую протяженность реакционной и мэссообменной зон.
При совмещении реакционного процесса с массообменным целесообразна организация РРаП с различным направлением совмещаемых процессов (относительно изменения концентрации реактантов) так, чтобы массообменный процесс увеличивал концентрацию реагентов, уменьшающуюся за счет химической реакции.
При создании химико-технологических систем с совмещенными РРаП целесообразен комплексный подход, позволяющий одновременно с решением вопросов оптимального технологического оформления решить вопросы оптимального аппаратурного оформления совмещенных процессов.
Фактор диффузионного ускорения не зависит от типа химической реакции, физико-химических свойств разделяющего агента и практически не зависит от температуры.

Помимо этих принципов, автором предложены и реализованы некоторые конкретные технологические приемы организации РРаП:
Целесообразно синергийное сочетание РРаП с РРП или просто ректификационным процессов, связанным с РРаП прямыми и обратными связями;
возможно сочетание РРаП с химической рециркуляцией (без разделения, либо с частичным или полным разделением рециркулята);
при создании аппаратуры для РРаП целесообразно использование принципов агрегатирования и модульного подхода;
при организации РРаП возможны полная или частичная замена газовой фазы, распределенный ее ввод (вывод) по высоте аппарата;

перегревом (охлаждением) разделяющего агента можно корректировать тепловой баланс конкретного реактора для РРаП и обеспечивать при необходимости внутренний теплообмен в системе.

В данном разделе уже несколько раз акцентировалось внимание на необходимости правильного подбора разделяющего агента. Остановимся на этом вопросе и прежде всего сформулируем основные требования к разделяющему агенту. Разделяющий агент при организации РРаП должен:
обеспечивать преимущественный отвод из жидкой фазы продуктов реакции в момент их образования с максимальной скоростью);
обеспечивать "активную" по отношению к реактантам межфазную поверхность и увеличивать за счет этого скорость химического превращения, обеспечивая ее максимальное значение;
легко отделяться от продуктов реакции;
быть химически инертным по отношению к компонентам системы;
способствовать улучшению теплового режима в зоне реакции за счет подвода или отвода реакционного тепла;
иметь максимальную "емкость" по отводимому (ым) компоненту (ам).

Ввиду некоторой противоречивости этих требований к разделяющему агенту, его выбор представляет собой сложную задачу. Взаимное влияние совмещаемых процессов при разработке РРаП вызывает дополнительные трудности их исследования, преодоление которых наряду с широким привлечением методов математического моделирования требует, как это показано выше, изучения кинетики в лабораторных условиях, максимально приближенных к условиям создаваемого совмещенного процесса. Причем, для РРаП не имеет смысла методологический подход к их изучению с позиций микрокинетики на молекулярном уровне. Лишь системный подход в сочетании с комплексным экспериментальным исследованием РРаП позволяет остановить выбор на конкретном разделяющем агенте, обеспечивающем высокие технико-экономические показатели процесса в целом.

Как показано выше, пока отсутствуют эвристические методы, которые позволили бы прогнозировать действие разделяющего агента на сложную систему компонентов РРаП. В связи с этим используемая в данной работе методика подбора разделяющего агента основана на одновременном анализе особенностей химизма и кинетики исходного химического процесса и термодинамико - топологическом анализе структуры диаграмм фазового равновесия жидкость - пар реакционной смеси, позволяющем определить лишь круг веществ, перспективных для использования в качестве разделяющего агента (пары одного из компонентов системы, инертные газы, пары веществ, нереакционноспособных в данной системе, азеотропообразователи и др.).

Вначале проводят термодинамический анализ исходной химической реакции с целью определения возможности сдвига равновесия для обратимого процесса или увеличения скорости для необратимого процесса. Затем по методике исследования РРаП, описанной выше, сужают круг разделяющих агентов. Анализ причин влияния диффузионного процесса на скорость химического превращения

позволяет выбрать направление дальнейшего исследования. Если влияние образовавшейся межфазной поверхности незначительно, то целесообразно осуществить термодинамико-топологический анализ структур диаграмм фазового равновесия жидкость-пар реакционной смеси с целью обеспечения соответствия условий проведения (гармонии) совмещенного процесса условиям исходных химического и массообменного процессов, а также определения оптимального направления совмещенного процесса по известной методике [234]. Если значительное влияние на кинетику химической реакции оказывает не только отвод продуктов реакции, но и эффекты гетерогенности, то только физическое моделирование в условиях, максимально приближенных к промышленным, в сочетании с математическим приводят к синтезу оптимальной ХТС.

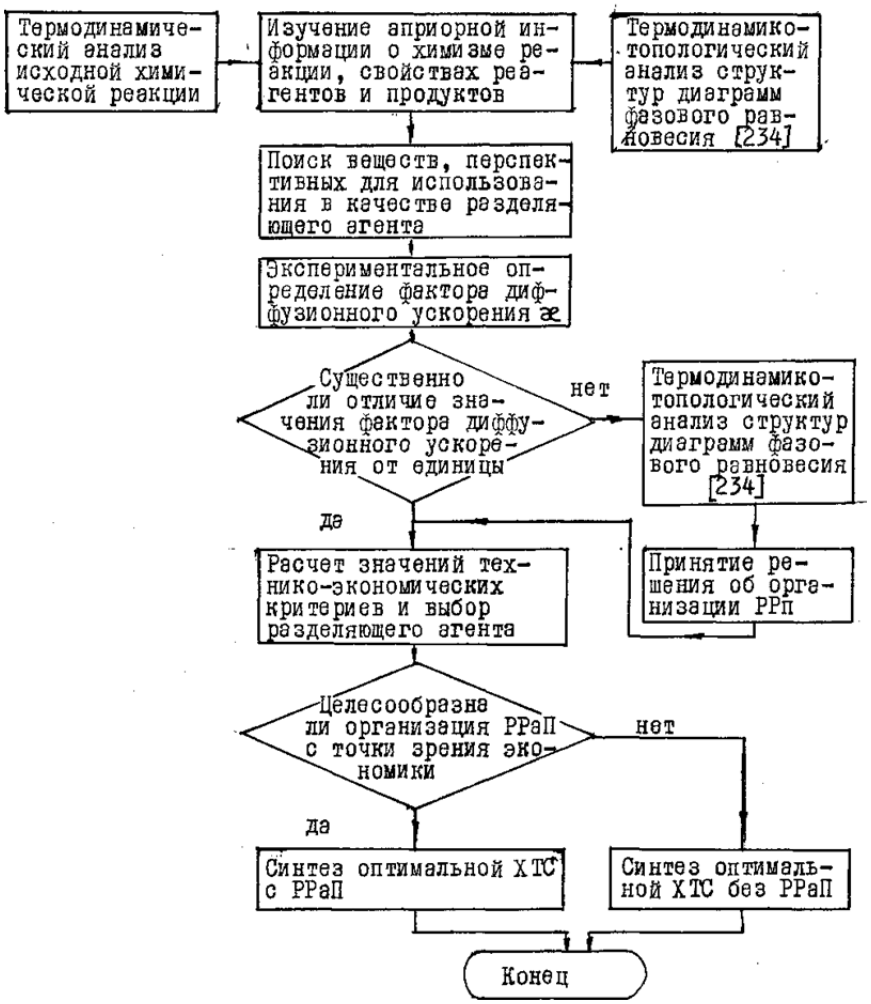


Рис.11.8.3. Алгоритм процесса выбора разделяющего агента

Исследование макрокинетики химической реакции и сбор информации по влиянию диффузионных факторов на процесс, позволит перейти к следующим этапам синтеза ХТС, включающей РРаП.

Таким образом, в отличие от традиционной методики разработки совмещенных реакционно-массообменных процессов, основной исходной информацией при развиваемом подходе являются не данные по статике дистилляции, а данные о кинетике исходного химического процесса. Следует отметить также, что целью работы по созданию РРаП, по мнению автора, является не выявление целесообразности совмещения процессов, ранее проводимых раздельно, а поиск массообменного процесса, способного при его совмещении с реакционным ускорить последний, вернее, увеличить интенсивность реакционного объема.

Разработка непрерывного совмещенного технологического процесса получения диметилформамида.

Диметилформамид (ДМФА, формилдиметиламин) - первый гомолог в ряду диалкиламидов карбоновых кислот, находит широкое применение для извлечения ацетилена, очистки этилена, удаления сероводорода в производстве синтетического волокна, применяется также в качестве растворителя полярных неорганических, органических и высокомолекулярных соединений. ДМФА впервые получен в 1893г. Берли из муравьинокислого натрия и солянокислого диметиламина.

В настоящее время диметиламиды монокарбоновых кислот, например, диметилформамид, диметилацетамид получают в промышленности преимущественно путем ацилирования диметиламина (ДМА) соответствующими кислотами. По этому методу работает, к примеру, крупнейший производитель ДМФА концерн BASF. Согласно современным представлениям реакция образования амидов из кислот и аминов считается обратимой.

Автором выполнен ряд исследований по созданию принципиально новой непрерывной технологии синтеза ДМФА из ДМА и муравьиной кислоты (МК) на базе сочетания совмещенных химических и реакционно-разделительных процессов. Читатель возмутится – что за выдумки, сначала совмещают процессы, потом их разделяют. Т.е. сначала используют синергию для создания гармонии, реализации принципа соответствия двум или более совмещаемым процессам, а за тем зачем-то переходят к диссинергии – организуют реакционно – разделительный процесс. И все же именно вот такой изощренный процесс оказался оптимальным в этом случае.

Как показали исследования [201], реакция осуществляется в две стадии. Вначале молекула муравьиной кислоты (МК) связывается с молекулой диметиламина (ДМА) с образованием неустойчивого соединения их соли - формиатдиметиламина (ФДМА). Известно [202], что взаимодействие достаточно сильных органических кислот и оснований приводит к образованию солей, ионы которых могут ассоциировать в ионные пары. ФДМА в расплаве, а также растворе может существовать в виде ионных пар, комплексов и ионов.

В форме I протон кислоты переходит к азоту амина и водородная связь осуществляется между анионом кислоты и катионом амина. В форме II водородная связь осуществляется за счет водорода карбонильной группы и

неподеленной пары азота амина, а также за счет карбонильного кислорода и аминного водорода. Равновесие между ионами и ассоциированными ионными парами зависит от концентрации соли и природы растворителя (более подробно об этом смотрите в [173]).

При повышенной температуре происходит дегидратация ФДМА с образованием ДМФА и воды. Реакция синтеза ФДМА является экзотермической (тепловой эффект + 11,34 ккал/моль, реакция дегидратации ФДМА эндотермична (тепловой эффект - 25,9? ккал/моль) [173]. В целом, реакция получения ДМФА эндотермическая (тепловой эффект - 14,63 ккал/моль), С учетом указанных выше тепловых эффектов, процесс синтеза ДМФА традиционно проводят в две стадии, причем первую стадию ацилирования ДМА организуют, обеспечивая интенсивный отвод реакционного тепла из зоны реакции, а вторую - дегидратацию ФДМА - проводят, подводя к реакционной зоне значительное количество тепла и используя теплоносители с высокой температурой (перегретый пар, ВОТ и т,п,).

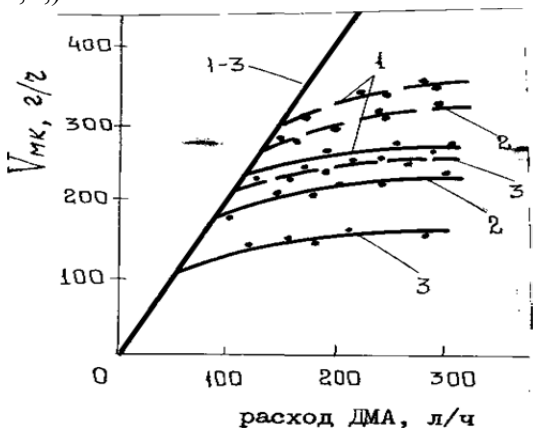
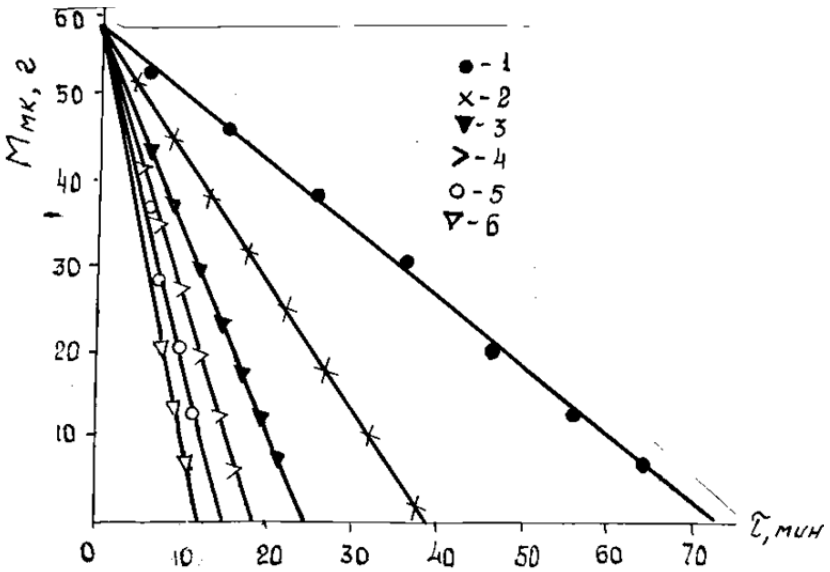


Рис.11.8..4. Зависимость скорости связывания МК от расхода ДМА. при скорости вращения мешалки 50-100 об/мин (сплош¬ные линии), 500-900 об/мин (пунктирные линии), пен¬ном режиме (сплошная прямая линия), и различных температурах: I - 60°С, 2-80, 3 - 100°С

Синтез ФДМА - гомогенный гетерофазный процесс, протекает с высокой скоростью, определяемой диффузией ДМА в жидкую фазу, где происходит реакция. Исследовали макрокинетику процесса, в частности, влияние на скорость интенсивности перемешивания, состава реакционной среды, температуры. Не останавливаясь на методике наших исследований (см. [34,174, 175]), обсудим лишь основные результаты. Лабораторные данные свидетельствуют (Рис.11.8.1, 8.2) о зависимости скорости образования ФДМА (или соответствующей ей скорости связывания МК растворенным ДМА) от эффективности контакта фаз. Причем с повышением темпера¬туры выше 80°С эффективность контакта приобретает особо важное значение из-за резкого понижения растворимости ДМА в реакционной массе (с 250 г/л при 40°С до 2-4 г/л при 100°С). Наклонная линия на Рис.11.8.4 соответствует началу перехода реакции от диффузионного режима к кинетическому. Полностью выйти на кинетический режим в рассматриваемых исследованиях не удалось ввиду невозможности отвода реакционного тепла и выдерживания заданных значений температуры в

реакционной зоне, обусловленной ограниченной теплообменной поверхностью в лабораторном реакторе.

Рис.11.8.5



. Кинетические кривые связывания МК при различных расходах ДМА. Температура 60°С. I - 23,0, 2 - 44,2, 3 - 7I,0, 4 - 94,6; 5 - II7,5; 6 - I42,0 л/ч ДМА.

О том, что отмеченный переход не является переходом от диффузионного режима к сложному кинетическому и не обусловлен изменениями гидродинамического режима работы реактора, свидетельствует то, что при повышении температуры характер зависимости скорости связывания МК от подачи ДМА сохраняется, и наблюдается тенденция выхода в область, где расход ДМА не влияет на скорость процесса.

Не останавливаясь более на количественных характеристиках первой стадии процесса, отметим, что при повышении температуры в реакционной зоне увеличивается и становится ощутимой скорость второй стадии - дегидратации ФДМА, что приводит к появлению в реакционной массе воды и ДМФА. Влияние последних на скорость синтеза ФДМА представляет не только теоретический, но и, как будет показано ниже, практический интерес. Содержание воды в реакционной массе практически не влияет на скорость процесса. Аналогичные результаты получены также для стадии получения ДМФА. Учитывая это, а также указанные выше противоположные тепловые эффекты обеих стадий процесса и, наконец, увеличение их скоростей при повышении температуры, проанализируем особенности процесса синтеза ФДМА при кипении реакционной массы.

Оказывается (Рис.11.8.6), в этом случае удается реализовать совмещенный процесс синтеза и дегидратации ФДМА. Вот откуда синергия на первой стадии! Видно, что одновременно со связыванием МК протекает реакция дегидратации и окончанию первой стадии соответствует примерно 70% превращения ФДМА в ДМФА. В связи с тем, что реализация такого совмещенного процесса заманчива ввиду ряда

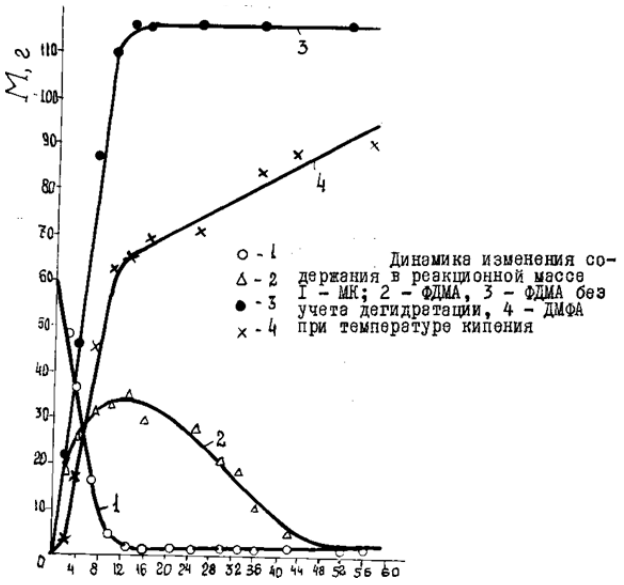


Рис.11.8.6. Динамика изменения состава реакционной массы.

технико - экономических преимуществ (увеличение интенсивности использования реакционного объема, использование теплоты реакции ацилирования для проведения реакции дегидратации, упрощение процесса и т.д.) возникает необходимость исследовать кинетические особенности стадии дегидратации с учетом гидролиза ДМФА при повышенных температурах и найти условия для максимальной гармонии двух синергично совмещаемых стадий процесса..

Исследования показали, что при повышенных температурах синтеза ФДМА наряду с превращением ФДМА в ДМФА наблюдается и разложение соли на исходные продукты - ДМА и МК. Скорость термического разложения увеличивается с отводом из системы одного из продуктов. Ввиду летучести ДМА и того, что все ранние исследования получения ДМФА рассматриваемым методом проводились в открытой системе, нами был сделан явно ошибочный вывод о термической нестойкости ФДМА. Проведенные автором исследования показали, что в закрытой системе или при подаче ДМА в реакционную зону обратная реакция практически не идет. С учетом идеи совмещения двух стадий процесса исследовали влияние температуры на скорость дегидратации ФДМА. На Рис.11.8.7 представлены кинетические кривые дегидратации, снятые при различных температурах реакционной массы. Заметно аномально высокое увеличение скорости дегидратации ФДМА при достижении температуры кипения, связанное с переходом к качественно новому реакционно-отделительному процессу, когда реакционная вода, являющаяся ингибитором процесса, удаляется из зоны реакции

в момент ее образования за счет тепломассообменного процесса. Об ингибирующей роли воды не только при низких температурах [201], но и при повышенной температуре свидетельствуют данные по кинетике процесса.

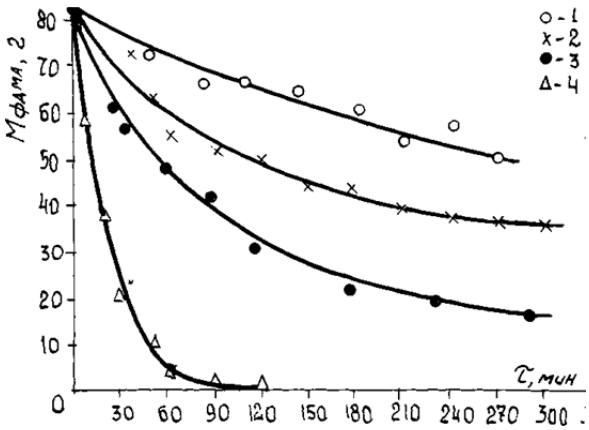
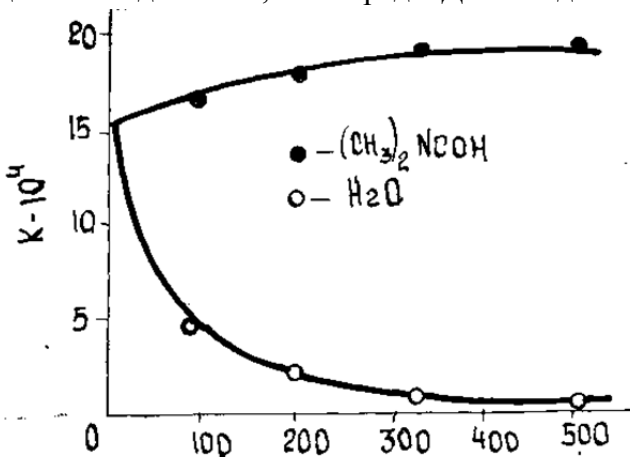


Рис.11. 8.7. Кинетические кривые дегидратации ФДМА при температурах: 1-80; 2-90; 3 - 100°С; 4 - кипения.

Казалось бы, в соответствии с материалами, приведенными выше, подача газообразного ДМА должна увеличивать скорость десорбции продуктов реакции, а, следовательно, и скорость дегидратации.

Однако, в приведенных данных можно проследить тенденцию уменьшения скорости дегидратации при увеличении расхода ДМА, особенно во втором периоде реакции, когда содержание ДМФА в реакционной массе увеличивается. Это можно объяснить только увеличением скорости гидролиза ДМФА за счет каталитического действия ДМА и связыванием полученной при гидролизе МК вновь в ФДМА. Показано также влияние ДМФА и воды на константу скорости реакции дегидратации ФДМА (Рис.11.8.8.). Видно, что наличие воды неблагоприятно сказывается на скорости процесса, что согласуется с вышеприведенными данными, а в среде ДМФА даже увеличивается скорость



процесса.

Таким образом, скорость реакции дегидратации ФДМА относительно невелика и лимитирует скорость процесса в целом. Величина констант скорости этой реакции, полученных в результате обработки экспериментальных данных

превращения ФДМА по кинетическому уравнению второго порядка, зависит от концентрации воды и ДМА в реакционной массе.

Рис.11.8.8. Влияние ДМФА и воды на константу скорости реакции дегидратации ФДМА.

Пусть исходное кинетическое уравнение имеет вид:

$$dC/d\tau = f(K_{набл})C^2 , \qquad (11.7.3)$$

где С - текущая концентрация ФДМА в реакционной массе. Для определения зависимости влияния концентрации воды в реакционной массе на екорость превращения ФДМА удобно использовать зависимость вида:

$$K_{набл} = \frac{K1}{(1 + K2C_{H_2O})^n}, \qquad (11.7.4.)$$

Показатель степени находили методом проб и ошибок и получили n= 2. Таким образом, подводя итоги этого раздела, можно отметить, что, судя по результатам исследований кинетики:

- необходима организация совмещенного процесса синтеза ФДМА и его дегидратации;
- целесообразно проведение второй стадии процесса, основанной на диссинергии, а именно, на организации реакционно-разделительного процесса при температуре кипения для отделения продуктов реакции в момент их образования;
- возможен также совмещенный процесс для этих двух стадий, который желательно проводить в среде ДМФА, с целью увеличения скорости, повышения температуры кипения реакционной массы, стабилизации режима, уменьшения опасности местных перегревов и т.д.;
- целесообразно обеспечить рециркуляционный режим процесса с промежуточным выделением целевого продукта, в связи с тем, что скорость лимитирующей стадии - дегидратации резко уменьшается к концу процесса и увеличивается скорость гидролиза ДМФА.

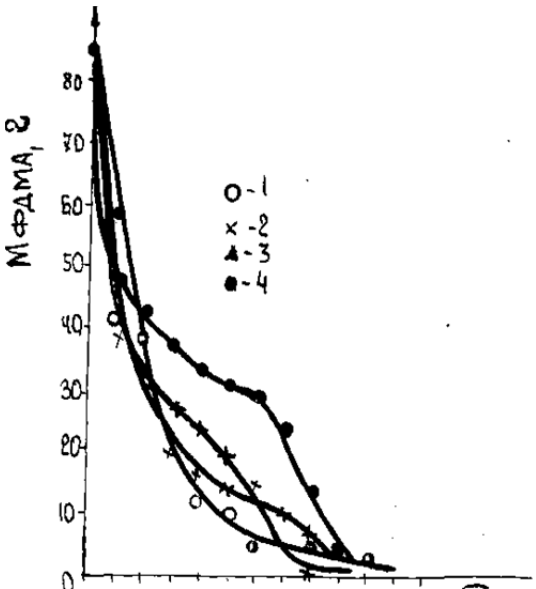


Рис.11.8.9. Влияние состава реакционной массы на константу скорости реакции дегидратации ФДМА. Реакционной смеси.1 - 20,0: 2 - 94,6; 3 - 164,0; 4 - 235,0 л/ч ДМА

Эти, достаточно поверхностные, на мой взгляд, выводы из исследований кинетики процесса были сделаны моими аспирантами и мной, но вывода о наиболее рациональном варианте процесса мы пока сделать не смогли. Единственное, чем мы располагали, было достаточное глубокое знание кинетики обеих стадий процесса получения ДМФА и, внимание!, знание влияния концентрации всех компонентов системы на особенности кинетики всех химических реакций в системе.

А теперь мы можем приступить к самому креативному этапу - поиску оптимальной технологии и ее аппаратурного оформления с учетом кинетических особенностей стадий процесса на основе уже сложившихся у нас к этому времени представлений о возможностях использования синергии (и диссинергии) для решения этой достаточно сложной задачи (о ее сложности говорит хотя бы тот факт, что монополистом технологии была одна из крупнейших химических корпораций мира - BASF, и она остановилась на этой дорогой, многостадийной технологии, которую мы пытались усовершенствовать). Технология BASF была типичной, последовательной, многостадийной, а, значит, дорогой, энергоемкой.

Попробуем на этом, на мой взгляд самом интересном из наших процессов примере, рассмотреть наши попытки найти эффективное, нестандартное, креативное решение. Итак, рассмотрим исходные позиции. О реакции и ее кинетике достаточно подробно написано в этой главе выше. Более подробно написано в статьях моего аспиранта В.В.Солодовникова, который защитил прекрасную диссертацию по этой теме. По технологии BASF производство ДМФА состояло из 4 достаточно больших цехов: синтеза МКС из ДМА и МК, дегидратации МКС с получением ДМФА. Это основные производственные цехи. И два вспомогательных энергетических цеха – получения холодильного рассола для первого цеха и получения высокотемпературного органического теплоносителя для нагрева реакторов во 2 цехе.

В первом цехе реакция синтеза МКС проходила с огромной скоростью (фактически это – реакция нейтрализации) в емкостных реакторах периодического действия. Часто в конце месяца крышка аппарата синтеза аккуратно отрывалась и падала на верхнюю площадку второго технологического цеха. Это место даже огородили и написали, как в свое время в Ленинграде, ”Осторожно! Сюда падает крышка такого-то аппарата из соседнего цеха”. Шутки – шутками, а с этой зловредной крышки началась креативная часть нашего проекта. Нас, механиков по образованию, попросили сделать крепление

крышки к корпусу реактора более прочным, чтобы она не летела при взрыве в аппарате. Мы, не без ехидства поинтересовались у главного инженера (он тоже выпускник нашего университета, правда, технолог, будет ли ему приятнее, если летать будет не крышка, а весь аппарат…). Вот с этого и началась вся эта история. Сначала мы нашли " креативное" решение частной задачи с летающей крышкой. Оказалось, что в конце месяца аппаратчики в погоне за премией (вот вам и гримасы "совковой" химии) выключали систему регулирования подачи жидкого ДМА в реактор и открывали все вентили полностью. Холодильный рассол не успевал снимать огромное тепло реакции нейтрализации (поверхность рубашки в реакторе была мала), реакционная масса закипала, давление повышалось, клапаны, как водится, не срабатывали, крышка летела. Решение было чрезвычайно простым, но "болваноустойчивым" – подавать ДМА в реактор не жидким, а в паровой фазе. Тогда и автоматика не нужна - диаметр трубы для подачи ДМА мы прикинули так, чтобы лишний ДМА она просто не смогла пропустить. С тех пор крышка перестала летать, а мы всерьез заинтересовались вопросами усовершенствования технологии.

Нас удивило, что огромное количество реакционного тепла пропадало в первом цехе синтеза МКС, а во втором технологическом цехе затрачивалось примерное такое же количество энергии на нагрев ВОТ для нагрева реакторов дегидратации. Думаю, что вы тоже подумали, когда прочли этот абзац, о возможности объединения двух стадий процесса – тут и особые знания синергии не нужны. Поставь, к примеру, реактор в виде кожухотрубного теплообменника и пусть в трубном пространстве идет одна реакция, а в межтрубном – другая. А, можно и еще проще – ведь, кинетику мы скрупулезно изучили и узнали, что ДМА, МКС и ДМФА друг другу никак не мешают. Поэтому, можно подавать вообще все продукты в один горшок (процесс- то периодический!) и горя не знать. Ан нет, простое совмещение (с синергией или без нее) здесь не проходит. Скорость первой реакции – огромна (потому и крышка от реактора летала), а вторая реакция идет совсем с черепашьей скоростью (цикл где-то 120 часов). Совмещение здесь неуместно ибо не работает основной принцип синергии – принцип соответствия, или доходчивее – гармонии между двумя процессами. Нельзя впрягать в одну повозку коня и трепетную лань.

А ведь хочется сберечь огромное количество энергии (эквивалентное 16 эшелонам угля в год)! Выход простой подсказала синергия. Надо гармонизировать совмещаемые процессы – максимально замедлить первый и максимально ускорить второй. С первым все ясно, надо многократно разбавить реакционную массу чем-то инертным к этой системе (по нашим принципам, желательно, это должно быть что-то, что уже есть в системе). Порылись в наших данных по кинетике и выяснили, что разбавить можно ДМФА – он сам по себе инертен и по отношению к МК, и по отношению к ДМА. Залил в аппарат ДМФА и подавай потихоньку в нужном соотношении МК и ДМА (теперь уже в паровой фазе, чтобы крышка не улетала). Проверили в лаборатории – все верно. Скоростью теперь можно управлять.

И тут вспомнили о том, что МКС тоже не реагирует с МК и ДМА. Так может проводить синтез не в среде ДМФА, а в среде МКС? Тогда и получился бы тот

самый синергически совмещенный процесс, который мы мечтали создать. Проверили, вроде, все верно. Первая реакция идет спокойно, крышка не отрывается. Да, вот с совмещением плохо, реакция вторая – уж очень медленная. Вот бы ускорить ее…

А, собственно, отчего она так медленно идет? Вернулись к кинетике. Обратили внимание на то, что именно реакционная вода ингибирует эту реакцию. Очень уж сильно замедляет. А что, если не замедлять реакцию, охлаждая реактор рассолом, как в немецком регламенте, а довести реакционную массу до кипения. Тогда и вода будет быстро улетать и не успеет затормозить вторую реакцию дегидратации. А как же летающая крышка? Много было опасений. Потом подумали, что взрываться там без кислорода и перекисных соединений нечему. Рискнули (с BASF согласовывать не стали) и… не взорвались. И вторая реакция, правда, не до конца, но стала идти. А реактор мы не охлаждали и не грели. Он сам разогревался, масса закипала, процесс пошел прекрасно. Итак, мы получили первый хороший эффект за счет синергического совмещения процесса кипения реакционной массы с проведением в ней, но в новых условиях, той же самой реакции между ДМА и МК.

И все же почувствовали, что реакционная вода тормозит вторую стадию процесса даже при кипении реакционной массы. Стали искать, что еще можно использовать, чтобы максимально ускорить процесс отвода реакционной воды. Тут и вспомнили о ДМА (подчеркиваю, не о жидком ДМА, а о его парах). Ведь у него огромная упругость паров, это прекрасный десорбирующий для воды агент. Позвольте, но ведь мы и так подаем его в реактор, как один из двух реагентов первой реакции. Ответ простой – никто не мешает подавать ДМА столько, сколько нужно не только для 1 реакции, но и для удаления реакционной воды, получающейся по второй реакции. Подавать в 2, 10, 100 раз больше, чем требуется по стехиометрии. Сколько надо! Так и сделали. Т.е. выражаясь языком синергии мы явно использовали диссинергию и организовали реакционно – десорбционный процесс. Эффект был ошеломляющий. Зауважали мы синергию. Скорость процесса выросла в десятки раз и, главное, вообще отказались и от охлаждения, и от нагрева реакторов. Адиабатический процесс получили.

Проверили наши идеи на специально сооруженной установке на заводе, все подтвердилось. Тоже ничем не грели и не охлаждали. Одна была беда – мешала автоматика, “дергала” процесс. Помня об идеологии гибкости технологий и оборудования, развиваемой все той же синергией при реализации концепции гармонии, выключили почти всю автоматику (кроме управления подачей ДМА и МК в начале процесса), понадеявшись на внутреннюю гибкость системы. И не ошиблись, все вышло.

В результате работы этой опытной установки, мы пришли к еще одному синергическому выводу – всю установку (где-то 5 – 6 аппаратов, не помню уже) можно заменить одной ректификационной колонной, в которой проводить совмещенный реакционно – ректификационный РРаП. Проверка в производственных условиях подтвердила целесообразность реализации такого варианта процесса.

Эта разработка, естественно вытекающая из материалов монографии, защищена автором с сотрудниками несколькими авторскими свидетельствами на изобретения [к примеру, 161-164], а также 6 патентами ФРГ, Франции и Японии, которые были положены в основу опытно- промышленной установки непрерывного производства ДМФА, созданной на Шосткинском заводе химических реактивов (к сожалению, завод сейчас не работает по независящим от нас причинам).

11.8. Применение совмещенных процессов и блочно-модульных аппаратов

Разработка реакционно - разделительного процесса получения диметилацетатамида.

Ввиду общности химизма этого процесса с предыдущим процессом синтеза ДМФА, приведу только некоторую информацию, подтверждающую целесообразность использования подходов синергии для решения подобных задач.

Реакцию ацилирования ДМА уксусной кислотой (УК) можно представить аналогично получению ДМФА следующим образом. Молекула УК связывается с молекулой ДМА с образованием неустойчивого комплекса - ацетатдиметиламина (АДМА). АДМА в растворе и расплаве, находится, как и ФДМА, в виде ионных пар, комплексов с обычной водородной связью и ионов, равновесие между которыми определяется pH среды, свойствами растворителя и температурой.

В водных растворах существенное влияние на скорость протекания реакций оказывает межмолекулярное взаимодействие, возникающее между полярными молекулами и ионами, степень ассоциации которых зависит от их активности и от общей концентрации соли. Поэтому следует отметить, что скорость реакции превращения АДМА в ДМАА значительно уменьшается в разбавленных растворах.

Получение АДМА из УК и ДМА можно рассматривать как реакцию нейтрализации, протекающую до конца. Превращение АДМА в ДМАА сопровождается выделением молекулы воды. Накопление этого продукта в процессе реакции, по-видимому, оказывает значительное влияние на скорость дегидратации. Согласно литературным данным [184], наряду с реакцией получения ДМАА при температуре выше 100°С имеет место разложение АДМА на исходные продукты ДМА и УК. Ввиду высокой летучести ДМА практически весь покидает зону реакции. При определенных условиях возникает химическое равновесие, которое можно сместить в желаемом направлении.

Кинетические исследования процесса получения ДМАА проводились на нескольких установках - реакторе периодического действия с мешалкой, лабораторном барботажном реакторе непрерывного действия, пилотной

установке. При этом пришлось преодолеть ряд трудностей, связанных со сложностью аналитического контроля, протеканием реакции гидролиза ДМАА (щелочного при избытке ДМА или кислотного при избытке кислоты), ингибирующим действием реакционной воды, неоднофазностью системы, отводом продуктов реакции в газовую фазу при избытке ДМА и др.

Не останавливаясь подробно на всех этапах исследования (см. [34, 162-164, 173-175]), рассмотрим лишь основные результаты, относящиеся к вопросу влияния отвода продуктов реакции на наблюдаемую скорость процесса.

Сдвиг равновесия процесса дегидратации АДМА в сторону образования ДМАА может быть обеспечен применением катализатора дегидратации или выводом из зоны воды и целевого продукта в момент их образования. Эти приемы могут быть использованы как самостоятельно, так и одновременно.

Как показали исследования кинетики рассматриваемого процесса дегидратации АДМА, представляет практический интерес организация как можно более быстрого отвода реакционной воды, обладающей сильным ингибирующим действием (как и в случае диметилформамида), которая, кроме того, вызывает достаточно быстрый гидролиз продукта. Следует заметить, что скорость реакции гидролиза в случае ДМАА гораздо выше, чем в случае ДМФА. Поэтому, наряду с организацией реакционно-десорбционного процесса с использованием в качестве десорбирующего агента избыточного ДМА в рассматриваемом случае следует уделить внимание подбору более интенсивных водоотнимающих средств, в частности, использованию азеотропообразователей. В качестве азеотропообразователя исследовались толуол, ксилол и бензол. Предпочтение было отдано бензолу, несмотря на то, что он связывает относительно меньшее количество воды. Выбор объясняется более четким в сравнении о толуолом или ксилолом его отделением от сконденсированного потока, содержащего значительные количества ДМА, что облегчает организацию рецикла.

Для ускорения процесса дегидратации оказалось целесообразным также использовать в качестве катализатора дегидратации MoO_3 (в количестве 0,03% масс, от исходного реагента) [185].

На Рис.11.8.11 представлены результаты исследования процесса дегидратации АДМА в термостатированном реакторе периодического действия, снабженном механической мешалкой, необходимой для равномерного распределения катализатора и для улучшения контакта реакционной массы с десорбирующим агентом. Реактор был снабжен также пробоотборником для отвода реакционной массы из куба и противоточной насадочной колонкой. Реакцию проводили при 150°С. Бензол подавали под слой реакционной массы объемом 100 мл со скоростью 1,7-3,4 мл/мин.

Анализ экспериментальных данных показал, что использование десорбирующего агента увеличивает скорость процесса примерно так же, как и использование катализатора. Как видно из Рис.11.8..10, использование катализатора и десорбирующего агента приводит к значительно более заметному ускорению

процесса. В результате математической обработки экспериментальных данных установлено, что реакция дегидратации адма описывается уравнением первого порядка (Рис.11.8.11). Рассчитанные с учетом этого значения констант скоростей при различных условиях протекания реакции приведены в таблице 8.1.

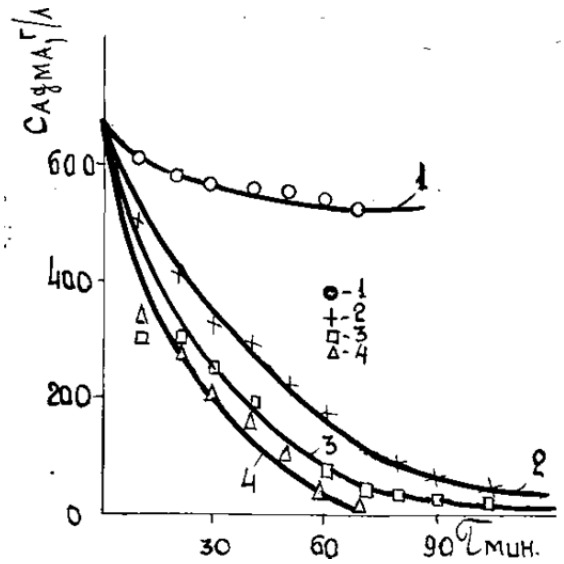


Рис.11. 8.10. Изменение концентрации АДМА в реакционной массе при температуре 150°С, Сн=680 г/л. I - без катализатора и десорбирующего агента, 2 - в присутствии 0,03% МоО3, 3 - с подачей 2,7 мл/мин бензола. 4 - в присутствии 2,7 мл/мин бензола и 0,03% Мо03.

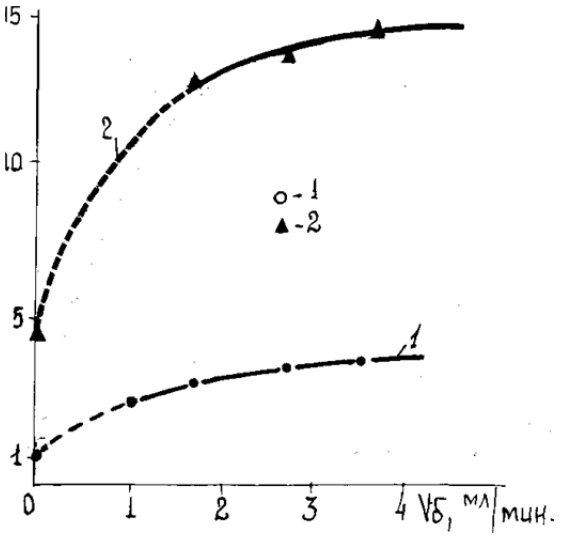


Рис.11.8.11. Зависимость фактора диффузионного ускорения реакции дегидратации АДМА от подачи бензола. I - без катализатора, 2- с катализатором /0,03% Мо03/.

Порядок реакции дегидратации АДМА определяли графически (Рис.11.8..12).

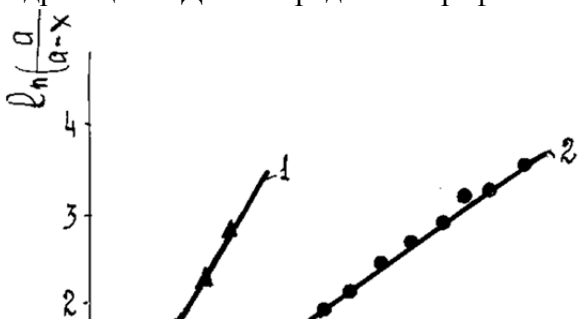


Рис.11.8.12. Графическое определение порядка реакции дегидратации АДМА; I - с добавлением 0,03 мас.% Мо03,, и пода¬чей 2.71 мл/мин бензола под слой; 2 - с добавлени¬ем 0,03 мае.% МоО3 без бензола; 3 - без МоО3 и бензола

Таким образом, организация хемодесорбционного процесса дегидратации АДМА с использованием в качестве десорбирующего агента бензола позволяет получить значения фактора диффузионного ускорения порядка 2,5. Поскольку эти результаты не позволяют принять однозначное решение о целесообразности промышленной реализации хемодесорбционного процесса, были проведены дополнительные исследования хемодесорбционного процесса с использованием в качестве десорбирующего агента перегретых паров воды при хемодесорбционном режиме, обеспечивающем отвод преимущественно реакционной воды при противоточном движении фаз и режиме, обеспечивающем отвод не только воды, но и образовавшегося ДМАА. Таким образом, исследования показали целесообразность отвода из реакционной зоны как ДМАА, так и реакционной воды при подаче ДМА, выполняющего в рассматриваемом случае роль не только десорбирующего агента, но и агента, связывающего УК, образующуюся при гидролизе ДМАА в АДМА, С учетом исследования этого режима, который можно назвать реакционно-дистилляционным в токе паров ДМА, были продолжены с целью уточнения ряда технологических показателей, необходимых для расчета и проектирования промышленной установки. Оказалось, что организация реакционно-дистилляционного режима способствует существенному ускорению процесса дегидратации.

При различных режимах работы интенсивность аппарата изменялась в пределах 48 - 146 кг/м3час (в расчете на ДМАА). В хемо - десорбционном прямоточном режиме интенсивность была меньше (12 - 36 кг/м3час). Повышению интенсивности способствует увеличение расхода ДМА, применение катализатора, повышение температуры в реакционной зоне. Хотя понижение давления в реакторе также способствует повышению интенсивности реактора, этот прием не может быть рекомендован для промышленной реализации ввиду увеличения проскока УК в погон.

Таким образом, исследование кинетических особенностей различных вариантов реакционно-разделительного процесса получения ДМАА и позволило отдать предпочтение реакционно-дистилляционному варианту с противоточным движением паров ДМА и жидкой фазы. Разработан с учетом приведенных кинетических данных противоточный пленочный неадиабатический реактор-дистиллятор. Новая технология и оборудование были переданы Шосткинскому заводу химических реактивов для промышленной реализации.

Разработка непрерывного хемодесорбционного процесса синтеза 1,4-диоксана.

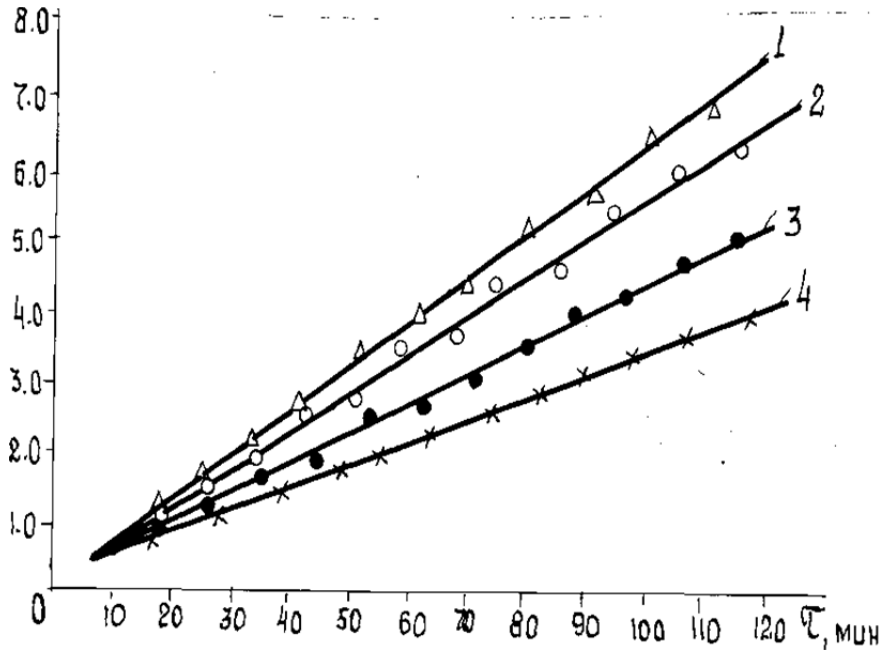
Реакция получения 1,4-диоксана из диэтиленгликоля (ДЭГа) является одной из наиболее интересных для изучения синергичного влияния барботажно - разделительного процесса на химический. Эта реакция по своему механизму аналогична реакции дегидратации спиртов и может осуществляться нагреванием ДЭГа до 130-170°С в присутствии различных катализаторов, например, сильных минеральных кислот.

В настоящее время в промышленности диоксан производят периодическим способом. Этот процесс характеризуется большой длительностью, многостадийностью, большими потерями сырья за счет побочных реакций - процессов полимеризации и осмоления. Выход диоксана на заводе – производителе не превышал 20% ввиду значительного осмоления конечного продукта. Это приводило к необходимости 1- 2 раза в месяц демонтировать реактор со смолой и обжигать его на городской свалке. Город Шостка весь покрывался черным дымом с мелкими каплями серной кислоты, что вызывало массовые протесты населения. Руководство предприятия попросило нас спроектировать для обжига реактора специальную печь. Мы решили проверить возможность на базе синергичных подходов решить проблему не за счет печи обжига, а за счет увеличения выхода целевого продукта и снижения его осмоления. Вот что получилось…

Мы предположили, что осмоление конечного продукта диоксана ускоряется за счет того, что катализатор дегидратации ДЭЕа одновременно катализирует полимеризацию диоксана. Попытки найти селективный катализатор дегидратации к успеху не привели. Для синергичной гармонизации совмещаемых процессов дегидратации и отвода продуктов реакции мы выбрали новое направление оптимизации – заменить отвод диоксана за счет кипения реакционной массы его десорбцией с помощью специально вводимого десорбирующего агента. В связи с тем, что исходный продукт при условиях реакции практически нелетуч, рассматриваемый процесс представляет интерес именно в плане определения влияния скорости отвода продуктов реакции на кинетику совмещенного реакционно-разделительного процесса. В качестве десорбирующего агента использовали азот, пары воды, а также бензол, образующий бинарные азеотропы с продуктами реакции (а также тройной азеотроп бензол-диоксан-вода). Организация реакционно-десорбционного процесса способствует удалению продуктов реакции из реакционной зоны в момент их образования, по нашему замыслу, должна была снизить смолообразование и возможность образования перекисных соединений в продукте. Вместе с тем, ввиду чрезвычайной агрессивности реакционной массы (ввиду высокой температуры и использования серной кислоты в качестве катализатора) представляет практический интерес поиск других менее агрессивных катализаторов. Актуальность замены катализатора, как показали исследования кинетики, усугубляется еще и тем, что одним из главных недостатков серной кислоты является ее способность взаимодействовать с диоксаном с образованием смолоподобных веществ. В результате выход диоксана уменьшается как за счет его связывания в смолу, так и за счет понижения концентрации катализатора в системе.

Остановимся на некоторых результатах исследования кинетики реакционно-разделительного процесса дегидратации ДЭГа в емкостном реакторе с мешалкой. Реакция подчиняется уравнению первого порядка, о чем свидетельствует линейная зависимость ln(a/a-x) от времени. Катализатор - 5% H2S04 от массы ДЭГа. Апробированы другие катализаторы, лишенные недостатков серной кислоты, к примеру, катионит КУ-2 в Н-форме, бензолсульфокислота. Введение бензола в реакционную массу значительно увеличивает скорость реакции, поскольку бензол образует с продуктами реакции азеотропные смеси бензол-вода и бензол-диоксан, обладающие температурами кипения ниже, чем температура кипения воды, облегчая таким образом отвод их из зоны реакции. При быстром отводе продуктов время контактирования диоксана с реакционной массой уменьшается и вероятность его осмоления уменьшается.

Рис,8.13. Влияние подачи воды в реакционную массу на концентрацию 1,4-диоксана в ней: I и 4-0; 2 - 0,22; 3 -0,12 г/мин воды. Температура: 1-175;2,3-100;



4—

Использование водяного пара в качестве инерта также оказывает некоторое воздействие на процесс (Рис.11.8.13). Скорость реакции в этом случав возрастает за счет интенсификации десорбции диоксана. Однако, увеличение скорости, связанное со вводом острого пара, не так значительно, как в случае ввода паров бензола, т.е. бензол является не только инертом, но и принимает непосредственное участив в процессе, связывая реакционную воду в легкокипящий азеотроп.

Как видно из Рис.11.8.14, каталитическая активность Al2(SO4)3 сопоставима с каталитической активностью H2SO4 даже при значительно более низких концентрациях. Однако, требуется при использовании сульфата алюминия увеличить температуру в реакционной зоне.

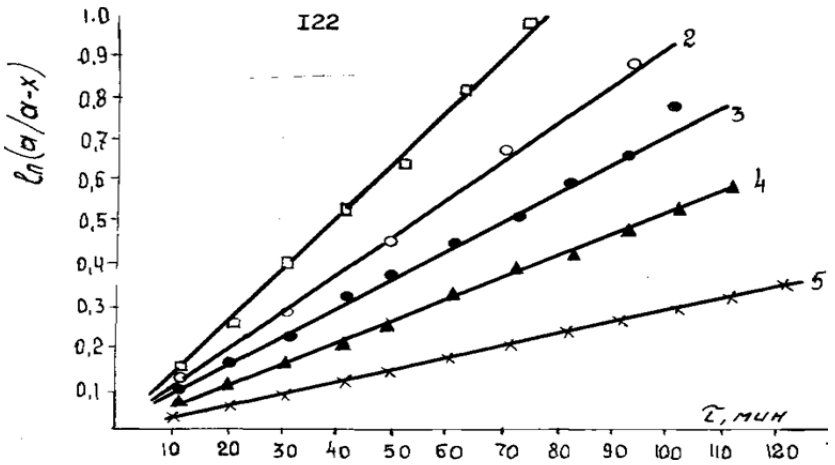


Рис.11.8.14. Сравнение каталитической активности сернокислого алюминия и серной кислоты при температурах: 1.2,4 - 210; 3 - 175; 5 - 150°С. Расход бензола: I - 0,85: 2,3,4,5 - О г/мин; концентрация катализатора: 1,4 - 0,44% Al2(S04)3; 2 - 0,7% Al2(SO4)3; 3 - 5 - 5% Al2(S04)3.

В РИС проведены также исследования для количественной оценки влияния ввода азота или паров бензола, барботирующих под слой ДЭГа. Установлено, что ввод паров бензола в качестве десорбирующего агента в 1,5-5 раз увеличивает наблюдаемую скорость реакции синтеза 1,4-диоксана. Зависимость наблюдаемой константы скорости химической реакции в условиях хемодесорбционного процесса от расхода паров бензола, представленную на Рис.11.8.16, оказалось возможным представить в виде зависимости фактора диффузионного ускорения:

$$\Psi = 1{,}0 + 0{,}62 \cdot 105\ GH, \qquad (11.7.5.)$$

где GH - расход десорбирующего агента - бензола, кг/с, подаваемого в реактор объемом 100 мл.

Следует заметить, однако, что зависимость от Gh сохраняет линейный характер не во всем диапазоне изменения GH и при достаточно высоких значениях Gб следует ожидать уменьшения фактора ускорения Ψ (Рис.11.8.15) .

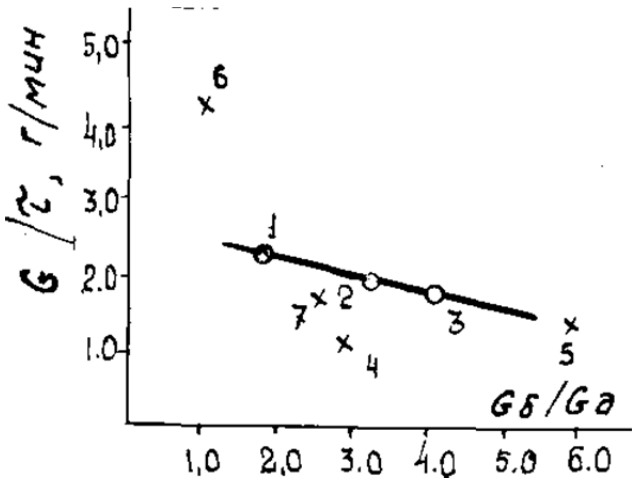


Рис.11.8.15. Зависимость скорости образования диоксана в проточном реакторе-десорбере от удельного расхода бензола:
1,2,3,4,7 - 150°6; 6 - 1750С; 1,3,б,7 - 10% H2S04, 4-5% H2SO4, 5-6% H2SO4 концентрация диэтиленгликоля: 1-6- 8%;7 - 83,6%.

Представляет интерес зависимость К0 при 150°С от расхода инертного к реагирующей системе десорбирующего агента (азота). Экстремальный характер зависимости можно объяснить тем, что при подаче в реактор десорбирующего агента возникают два конкурирующих фактора, влияющих на скорость процесса. С одной стороны, с увеличением расхода десорбирующего агента увеличивается газонаполнение и, соответственно, уменьшаются объем жидкой фазы и время пребывания жидкости в реакторе. С другой стороны, происходит интенсификация химического процесса за счет его совмещения с отделительным. Целесообразность применения синергично совмещенного процесса определяется соотношением этих факторов.

Исследование процесса в реакторе периодического действия затруднено в связи с необходимостью создания достаточно интенсивного режима перемешивания и отвода продуктов из зоны химической реакции. Кроме того, по мере отгонки продуктов концентрация катализатора в системе возрастает, что приводит к увеличению смолообразования. Поэтому проводились исследования кинетики реакции также на описанной выше лабораторной установке непрерывного действия, включающей реактор-десорбер проточного типа (открытая система), выполненный в виде барботажной стеклянной колонны высотой 0,15 м и диаметром 0,05 м с мешалкой и фиксированным уровнем перелива. Реактор термостатирован. Исходная смесь, состоящая из ДЭГа и катализатора непрерывно поступала в реактор на ситчатую тарелку и удерживалась на ней восходящим потоком барботирующего десорбирующего агента. Такое же количество прореагировавшей смеси через перелив выводилось в мерную емкость. Десорбирующий агент (азот) поступал снизу через отверстия в ситчатой тарелке. Обеспечивался практически полный возврат в зону реакции диоксана и воды, устранялся эффект ускорения процесса за счет отвода продуктов реакции. Интенсивность реакционно-разделительного процесса синтеза 1,4-диоксана может быть значительно (более, чем в 6 раз) выше, чем реакционного, причем

вклады барботажного эффекта и отвода продуктов реакции примерно равноценны.

Таким образом, исследования кинетики синтеза 1,4-диоксана в реакторах периодического и непрерывного действия позволили установить основные кинетические закономерности процесса, изыскать менее коррозионноактивные катализаторы и подтвердить целесообразность организации хемодесорбционного процесса. Найденные технические решения защищены авторскими свидетельствами СССР на изобретения [165,16б] и использованы при создании химико-технологической системы (ХТС) для непрерывного производства 1,4-диоксана.

В соответствии с предложенной автором методикой синтеза оптимальных ХТС были выделены (Рис.11.8.16) две подсистемы: обеспечения заданной производительности ХТС (подсистема I) и обеспечения требуемого качества производимого продукта (подсистема очистки 2). Для второй подсистемы выбрана схема трехколонной азеотропной ректификации, В одной из колонн производится отделение воды, во второй - бензола, в третьей - высококипящих продуктов осмоления.

При решении задачи синтеза подсистемы во внимание было принято, что при конденсации и охлаждении паровой фазы, отводимой из реакционно-разделительного аппарата, образуется расслаивающаяся система диоксан – вода - бензол; водный слой практически не содержит бензола и диоксана, поэтому целесообразно подвергать разделению верхний органический слой, отводимый из флорентийского сосуда. С учетом этого, в качестве базового варианта подсистемы 1 была выбрана схема, состоящая из четырех аппаратов - прямоточного реактора-десорбера, испарителя, холодильника и флорентийского сосуда. Технологическая схема ХТС “диоксан” в операторах приведена на Рис.11.8..16.

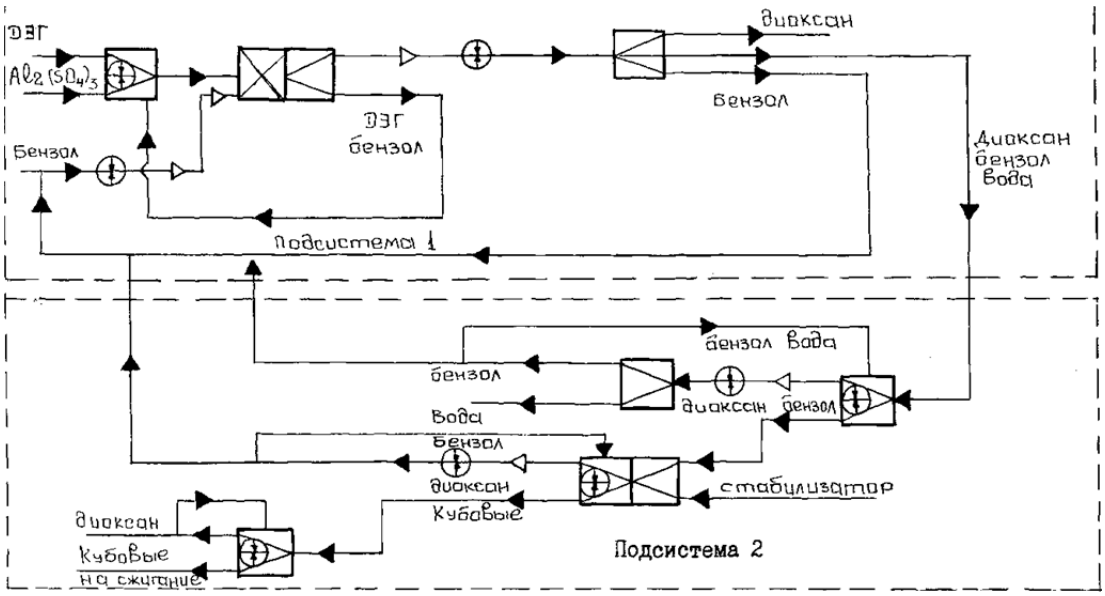


Рис.11.8..16 . Технологическая схема производства 1,4 – диоксана в технологических операторах.

Эта схема была реализована на Шосткинском заводе химических реактивов [226] в виде опытно-промышленной установки. Новая ХТС имеет следующие технико-экономические преимущества в сравнении с ранее эксплуатировавшейся ХТС:
интенсивность реактора синтеза водного диоксана в 10 раз выше, чем в реакторе периодического действия;
уменьшено количество единиц технологического оборудования и их емкость;
за счет применения совмещенного процесса и нового катализатора снижено осмоление продукта, увеличен выход продукта и время безотказной работы оборудования.
Кроме того, при новой технологии обеспечена полная автоматизация, снижены трудо- и энергозатраты, повышен общий выход продукта, а также уменьшены выбросы в атмосферу и загрязнение сточных вод.

Хемодесорбционный процесс и реактор окисления о-ксилола до о-толуиловой кислоты.

Окисление алкилароматических углеводородов воздухом или кислородом в присутствии солей металлов переменной валентности имеет ряд особенностей по сравнению с действием азотной кислоты или других сильных окислителей и несколько отличается от окисления углеводородов других классов. Окисление метильных групп протекает через стадию образования гидроперекисей и альдегидов, причем альдегиды появляются как нестабильные промежуточные продукты в сравнительно небольшой концентрации и затем быстро окисляются в ароматические кислоты [186] . Окисление о-ксилола проводят с целью получения о-толуиловой кислоты. Процесс проводят при температуре 40-150°С в присутствии катализатора (обычно ацетата кобальта).

Рассмотрим некоторые особенности кинетики окисления о-ксилола кислородом воздуха. Лабораторный реактор представлял собой барботажную колонну с расширением в верхней части. В нижней части реактор для равномерного распределения кислорода по сечению реактора снабжен фильтром Шотта. Обогрев реактора осуществляется с помощью нихромовой спирали. Регулирование температуры осуществлялось контактным термометром. В реактор загружали 100 мл о-ксилола, добавляли катализатор - ацетат кобальта, включали обогрев и продували азотом. При установлении температуры азот заменялся на кислород и это время принимали за начало реакции.

Для выяснения влияния температуры на скорость окисления и селективность образования о-толуиловой кислоты были поставлены опыты при температурах 94-132°С. Кинетические кривые накопления о-толуиловой кислоты представлены на рис.3.20. Как и следовало ожидать, увеличение температуры приводит к увеличению скорости образования о-толуиловой кислоты; отмечено снижение общей концентрации перекисных и карбонильных соединений, однако на хроматограммах при повышении температуры отмечалось появление пиков других веществ, по-видимому фталида, о-карбоксибензальдегида.

Температура сильно влияет на величину индукционного периода (Рис.11.8.17). Так при 94°С индукционный период составляет более 200 минут, при 102°С он сокращается до 150 минут, а при 132°С накопление о-толуиловой кислоты протекает практически без индукционного периода. Повышение температуры выше 140°С нецелесообразно ввиду значительного увеличения уноса о-ксилола.

Добавление воды оказывает сложное влияние на процесс окисления и характер накопления продуктов окисления. При добавлении воды до 0,50% масс, скорость накопления о-толуиловой кислоты возрастает (Рис.11.8.18). Накопление о-толуиловой кислоты с самого начала процесса окисления протекает без индукционного периода. При дальнейшем увеличении добавок воды накопление о-толуиловой кислоты снижается (проявляется ее ингибирующее действие).

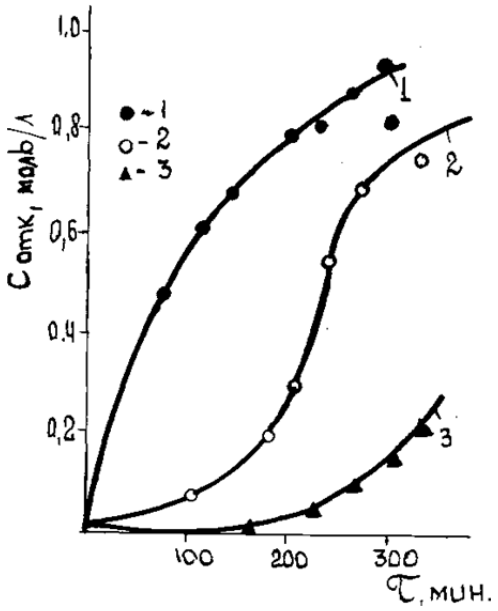
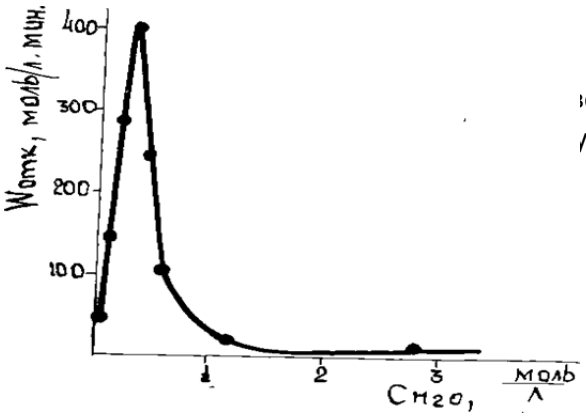


Рис.8,17. Влияние температуры на кинетику накопления о-толуиловой кислоты, I - 132; 2 - 102; 3 - 94°С.



оды на скорость
уиловой кислоты

способствует также повышению селективности процесса, причем максимум селективности (70%) соответствует 0,5 - 0,6 моль/л воды. Добавление о-толуиловой кислоты в значительной степени влияет на накопление карбонильных групп в особенности в начальный период окисления. Увеличение начальной концентрации о-толуиловой кислоты приводит к увеличению начальной скорости накопления карбонильных групп, причем эта зависимость носит линейный характер.

В развившемся процессе окисления (t > 240 мин) добавление кислоты не сказывается на накоплении. Кинетические кривые накопления о-толуиловой кислоты (Рис.11.8.18 - 8.20) показывают, что увеличение начальной концентрации о-толуиловой кислоты практически не влияет на скорость накопления в развившемся процессе окисления, однако, существенно влияет на период индукции. Так как скорость накопления о-толуиловой кислоты практически не зависит от ее начальной концентрации, то увеличение выхода обусловлено главным образом сокращением индукционного периода и увеличением скорости накопления карбонильных групп, в основном о-толуилового альдегида, который является продуктом недоокисления о-толуиловой кислоты.

Полученные при исследовании кинетики окисления о-ксилола в лабораторных условиях результаты были использованы при разработке непрерывного технологического процесса и опытно-промышленного реактора-десорбера. Одной из наиболее соответствующих требованиям процесса окисления конструкцией реактора является построенный по модульному принципу многоступенчатый прямоточный секционированный газожидкостный аппарат с многократной инверсией фаз при их восходящем движении (глава 5), соединенный в верхней части с вертикальным кожухотрубчатым теплообменником.

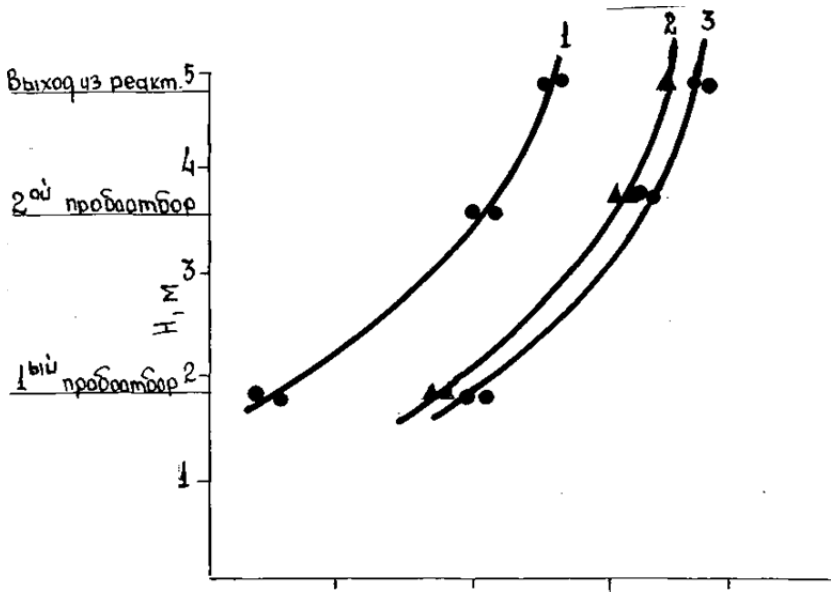
Анализ влияния различных факторов на процесс окисления о-ксилола кислородом воздуха с получением о-толуиловой кислоты, показал, что наряду с такими факторами, как температура в зоне реакции, концентрация реагирующих веществ и катализатора, существенное влияние на скорость окисления и качество получаемых продуктов оказывают гидродинамические условия, определяющие интенсивность подвода кислорода в зону реакции и связанные с конструкцией реактора, На Ангарском заводе химических реактивов внедрен колонный прямоточный реактор окисления о-ксилола в присутствии катализатора - ацетата кобальта. Аппарат диаметром 265 мм, высотой 6 м секционирован 15 массообменньши тарелками с кольцевыми клапанными контактными элементами . Свободное сечение тарелок 8%, высота подъема клапанов 4 мм, масса клапанов 50 г.

При синтезе ХТС окисления о-ксилола были учтены:
целесообразность повышения температуры в зоне реакции до 135- 140°С для увеличения скорости реакции;
целесообразность рециркулящш некоторого количества продуктов реакции дляшдвода к первой секции аппарата катализатора и некоторого количества воды, являющейся инициатором процесса окисления, а также для стабилизации гидродинамики реактора.

Несмотря на то, что вода является инициатором реакции, ее избыток в реакционной зоне приводит к уменьшению скорости процесса. В то же время, организация удаления реакционной воды избыточным воздухом и о-ксилолом способствует значительному увеличению скорости процесса, что делает целесообразной организацию реакционно- дееорбционного процесса. Для регулирования количества удаляемого из реакционной массы о-ксилола (в виде азеотропа с водой, расслаивающегося при охлаждении) в реакторе предусмотрены рубашки и змеевики.

В связи со значительными трудностями интерпретации экспериментальных данных в виде, удобном для использования при разработке промышленных аппаратов, автором была предпринята попытка использовать при обработке экспериментальных данных по скорости процесса окисления, полученных на опытно-промышленной установке с прямоточным секционированным реактором-десорбером окисления.

Получены экспериментальные данные по окислению о-ксилола, при различных режимах работы опытно-промышленного варианта реактора-десорбера, смонтированного на Ангарском заводе химических реактивов. Влияние добавки ОТК представлено на Рис.11.8..19. Исследования влияния температуры проводились при постоянном расходе воздуха, о-ксилола, концентрации катализатора.



10 20 30

С отх мас %

Рис.11.8.19. Влияние добавок о-толуиловой кислоты на концентрацию кислоты в реакционной массе на выходе из реактора, t – 132 -138 оС , расход о-ксилола - 30 л/час, воздуха - 20 м3/ч, концентрация ОТК I - 0; 2 - 0,04; 3-0,1 моль/л.

Таким образом, исследования, проведанные на опытно-промышленной установке, подтверждают выводы, сделанные по результатам исследований на лабораторной установке. Оптимальные температуры в реакторе лежат в диапазоне 132 * 138°С. Дальнейшее повышение температуры в реакторе нецелесообразно по ряду

причин: значительно увеличивается унос о-ксилола (температура кипения о-ксилола 144°); уменьшается растворение кислорода в реакционной массе; ввиду увеличения концентрации о-толуиловой кислоты в реакционной массе из-за отпаривания о-ксилола по всей высоте колонны снижается скорость процесса согласно закону действия масс.

На основе лабораторных исследований выше сделан вывод о том, что целесообразно введение воды в исходную смесь в количестве 0,6 моль/л. Однако, ввиду высокой летучести воды относительно других компонентов реакционной массы, малой ее растворимости в о-ксилоле и о-толуоловой кислоте, высокой температуры в реакторе оказалось практически невозможным поддерживать концентрацию воды в жидкой реакционной массе достаточной для какого-либо влияния на скорость химического процесса.

Согласно лабораторным исследованиям добавка о-толуиловой кислоты в исходный о-ксилол (0,1 моль/л) приводит к инициированию химической реакции. Оптимальное количество ОТК в исходной смеси 0,04 моль/л (5,6г на I л ксилола).

На опытно-промышленной установке подвод о-толуиловой кислоты на нижнюю тарелку реактора реализован путем организации рецикла реакционной массы, выходящей из реактора. Результаты представлены на Рис.11.8.19.

Расчет реактора-десорбера производили с включением в расчет модуля, учитывающего влияние массообмена на скорость реакционно -разделительного процесса. Температуру процесса удалось повысить до 135-140°С организацией рецикла части готового продукта, что позволило также стабилизировать гидродинамическую обстановку' в реакторе. При кратности рецикла 2 - 2,2 производительность реактора была увеличена в 2,5 раза.

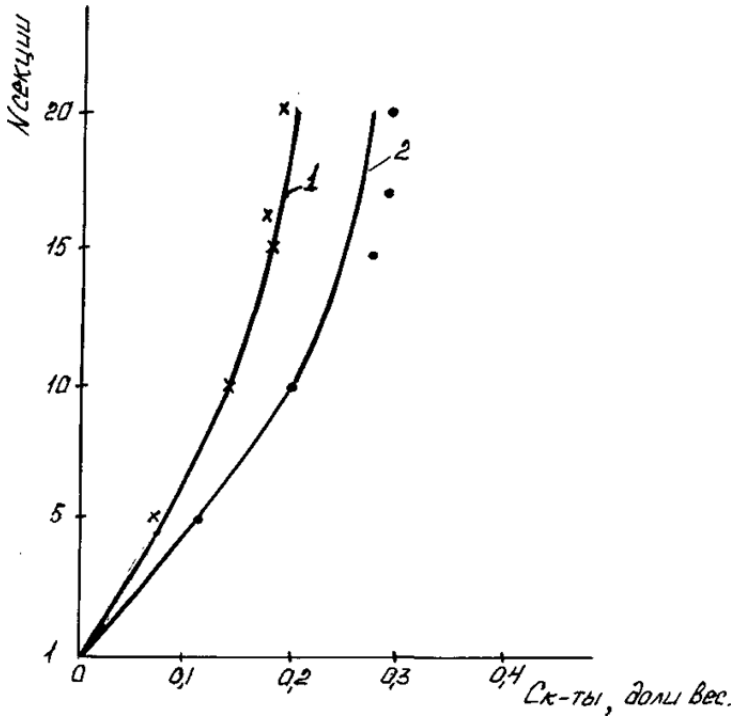


Рис.11.8.20. Концентрация о-толуиловой кислоты в жидкой фазе по высоте реактора.

На Рис.11.8.20 приведены расчетные (линии) и экспериментальные (точки) значения концентрации о-толуиловой кислоты в жидкой фазе по высоте реактора. Так как расхождения между расчетными и экспериментальными значениями не превышают ±15%, можно сделать вывод о возможности использования предложенной методики для расчета реактора-десорбера окисления о-ксилола. Аппарат может быть использован в качестве модуля при синтезе ХТС окисления других веществ.

Использование при разработке реактора ряда методов интенсификации позволило повысить интенсивность реактора-десорбера в 5-5,5 раз в сравнении с использовавшимися ранее барботажными колонными реакторами и обеспечить получение о-толуиловой кислоты высокого качества.

Другие промышленно важные реакционно-разделительные процессы.

Изложенные во 2 главе подходы к вопросам создания реакционно - массообменных процессов позволили предложить ряд принципиально новых промышленно важных реакционно- разделительных процессов, многие из которых внедрены, либо прошли апробацию в промышленных условиях.

В данном разделе будут даны самые краткие сведения лишь о некоторых новых процессах, относящихся к реакционно-разделительным и не нашедших отражения в других главах книги.

В промышленности используют способ получения бензилового спирта путем омыления хлористого бензила водным щелочным раствором при температуре 150-350°С и повышенном давлении, достаточном для сохранения реагирующих веществ в жидкой фазе, и перемешивании с последующим выделением целевого продукта из полученной реакционной массы.

Недостатком этого способа является невысокая селективность процесса (образование нежелательного побочного продукта - бензальдегида достигает 10-15% от бензилового спирта). Вместе с тем, высокая температура и давление обуславливают сложность технологического и аппаратурного оформления процесса. Для уменьшения содержания побочных продуктов и упрощения процесса омыление целесообразно [153] вести при температуре 100- 110°С в присутствии острого водяного пара. Из реакционной массы непрерывно отводят пары воды и непрореагировавшего хлористого бензила, конденсируют их, разделяют и возвращают в реактор. Ввод острого водяного пара в реакционную массу обеспечивает частичный перевод хлористого бензила в паровую фазу при температуре ниже его температуры кипения и позволяет провести реакцию в пенном режиме, что значительно увеличивает эффективность контакта фаз в гетерогенной жидкой системе (хлористого бензила и содового раствора), уменьшает температурные неоднородности в реакционной массе и повышает селективность процесса. Кроме того, сокращается общая длительность процесса и исключается необходимость использования механического перемешивания реакционной массы.

Выделение бензилового спирта из реакционной смеси проводят известными методами, например, декантацией спиртового слоя и его последующей ректификацией. Промышленные испытания нового процесса показали, что его длительность уменьшилась до 5-6 час (против 9-Ю час), содержание бензальдегида в спиртовом слое - 5-9% (против 10-15%), выход целевого продукта - 90-95% (против 85-90%). В установке и реакторе реализован ряд РТ-методов и АК-методов интенсификации. Как показал опыт автора, аналогичные приемы и аппаратура могут быть с успехом использованы при необходимости интенсификации эксплуатируемых в промышленности установок гидролиза, дегидрации, сульфирования, галоидирования и т.п., а конструкция реактора смешения с эрлифтной вставкой может быть использована в качестве модуля или унифицированного узла при создании новых химико-технологических систем.

Автором совместно с ВНИИйодобром выполнен также ряд работ по созданию на базе совмещенных реакционно-разделительных процессов новых технологий и оборудования для получения ряда броморганических соединений. В производстве жидкого брома, необходимого для бронирования, лимитирующей является стадия окисления растворов бромжелеза хлором и последующая отгонка свободного брома. Анализ химизма показал, что высокая глубина окисления возможна только при удалении из реакционной зоны свободного брома, что обеспечивается совмещением процессов окисления и отгонки свободного брома при прямоточном движении контактирующих фаз в комбинированном реакторе- десорбере, реализующем несколько методов интенсификации. Полученные экспериментальные данные по содержанию ионов и свободного брома в растворе,

окисляемом при различных расходах хлора, указывают на то, что с увеличением степени окисления и температуры растворимость брома в системе уменьшается. Это способствует его отгонке из жидкой фазы и рациональному использованию тепла реакции окисления в случав ведения процесса по совмещенному варианту. Во второй зоне для обеспечения достаточно полного удаления остаточных количеств брома из жидкой фазы отгонку целесообразно проводить острым водяным паром при противоточном движении контактирующих фаз.

Рафинирование паров брома от хлора производится при их контактировании со свежим раствсром бромжелеза, которое целесообразно осуществлять в третьей зоне, секционированной противоточными клапанными тарелками.

Процесс отрабатывали на опытной установке, созданной на Сакском химзаводе. Исходный раствор бромисто-бромного железа из емкости 3 (Рис.11.8.21) подавали насосом-дозатором I в инжектор 9, где газообразный хлор смешивался с исходным раствором бромжелеза и раствором из рафинера. Полученная газожидкостная смесь поступала в нижнюю часть окислительного узла А колонны б, выполненной в виде прямоточного секционированного реактора.

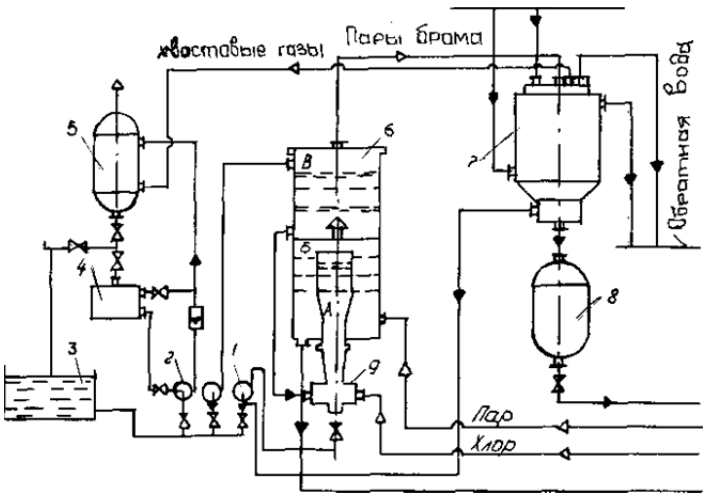


Рис.11.8.21.Принципиальная схема получения брома окислением растворов бромжелеза

При прямоточном восходящем движении газожидкостной смеси происходит окисление раствора бромжелеза и десорбция брома из жидкой фазы. Окисленный раствор поступает в сепаратор, откуда на верхнюю тарелку противоточной отгонной зоны, стекая по тарелкам которой, контактирует с восходящим потоком острого пара. При этом происходит отгонка растворенного брома и хлора. Полученный раствор хлорного железа отводится из нижней части колонны, а пары брома, загрязненные хлором, поднимаются в рафинирующую часть колонны, на противоточных тарелках которой происходит очистка паров от хлора свежим раствором бромисто-бромного железа, подаваемым на верхнюю тарелку. Отработанный раствор возвращается (частичный рецикл) в инжектор 9. Затем пары брома попадают в конденсатор 7 с бромо- отделителем, где от бромной воды

отделяют бром. Жидкий бром собирается в сборник 8, бромная вода отводится из бромоотделителя и подается на рециркуляцию в реактор. Хвостовые газы из конденсатора 7 поступают в скруббер 5, орошаемый свежим раствором бромжелеза. Было показано, что проведение процесса окисления в прямоточном режиме движения обеспечивает отгонку выделяющегося свободного брома за счет тепла химической реакции окисления. Интенсивной отгонке брома из раствора способствует значительное уменьшение его растворимости в жидкости по мере ее окисления при восходящем прямоточном движении. В свою очередь, удаление брома из жидкости ускоряет диффузию хлора в ней и создает необходимые предпосылки для смещения реакции окисления вправо. Интенсивной отгонке брома способствует также подвод тепла за счет теплопередачи из зоны окончательной отгонки брома, совмещенной по высоте с зоной окисления. Раздельное проведение процессов окисления, отгонки и рафинирования позволяет стабилизировать гидродинамическую обстановку в аппарате и качество получаемых продуктов даже при значительных изменениях в составе сырья, а также повысить интенсивность аппарата вследствие обеспечения более высоких скоростей движения фаз.

Такая технология и аппаратурно-конструктивное оформление процесса обеспечивают необходимое качество продукции, несмотря на относительно высокие нагрузки на установку, устойчивые режимы при значительном изменении нагрузок и концентрации раствора.

Синтез бромистого метила осуществляют взаимодействием метанола с бромистым железом и серной кислотой. По этому способу в реактор синтеза, оснащенный мешалкой, подаются реагенты, причем процесс ведется в избытке метанола и серной кислоты для более полного использования ионов брома. Продолжительность синтеза составляет 5 часов. Основными недостатками способа являются: большая длительность процесса, так как завершение реакции протекает со значительно меньшей скоростью, чем в начальный период, что связано с уменьшением концентрации и с отводом образовавшегося бромистого метила только с поверхности зеркала испарения в реакторе; неполное использование тепла реакции синтеза бромистого метила в связи с необходимостью охлаждения зоны синтеза при подаче в нее серной кислоты.

С учетом выводов, приведенных в этой главе, целесообразно организовать совмещенный реакционно - ректификационный процесс в агрегатированном аппарате. Анализ кинетики процесса, исследованной при различных скоростях отвода бромметила из реакционной массы, показал, что совмещение химического и массообменного процессов и организация реакционно-разделительного процесса позволяет более, чем в 5 раз увеличить скорость процесса. Разработана и передана для использования конструкция комбинированного реактора-ректификатора, выполненного в виде вертикального аппарата колонного типа; Рис.11.8.22). Синтез бромметила происходит в условиях, позволяющих отводить реакционное тепло за счет внутреннего теплообмена при испарении метанола, а отвод продуктов реакции в момент их образования во всем объеме реактора путем ректификации, позволяет интенсифицировать процесс.

В зоне, расположенной выше ввода реагентов, совмещают рек-тификацию низкокипящих продуктов реакции с их промывкой сконденсированными парами реакционной воды и осушкой подаваемой сверху концентрированной серной кислотой. В зоне, расположенной ниже ввода, совмещают процесс синтеза бромистого метила и удаления из жидкой фазы в паровую легкокипящих продуктов реакции и непрореагировавшего метанола, причем испарение метанола происходит за счет использования теплоты экзотермической реакции синтеза. Жидкая фаза, перемещаясь вниз, обогащается водой и солями железа.

Принципиальная схема агрегата для непрерывного получения бромистого метила показана на Рис.11.8.22. Агрегат состоит из реактора-ректификатора 3, оснащенного контактными элементами, пленочных теплообменников 2 и 4, куба I и верхней части 5. Синтез бромистого метила происходит при взаимодействии метанола с водным раствором бромжелеза и серной кислотой в противоточном реакторе - ректификаторе 3, что позволяет отводить реакционное тепло за счет внутреннего теплообмена при испарении метанола. Метанол и раствор бромжелеза подают на контактную ступень в среднюю часть реактора, куда поступает часть серной кислоты. Для возврата непрореагировзвшего метанола в зону реакции в верхней части аппарата предусмотрен теплообменник пленочного типа, орошаемый серной кислотой, поступающей из узла сушки бромметила 5, и идущей потом в барботажную зону реактора 3. Бромистый метил выводится из аппарата в паровой фазе и поступает на конденсацию. Кубовые остатки при помощи насоса либо отводятся на дальнейшую переработку, либо могут использоваться в рецикле.

В средней части реактора происходит синтез целевого компонента; с парами метанола создает на контактных элементах интенсивный режим барботажа. Для исключения неполного использования метанола в режиме провала нижний теплообменник служит для испарения жидкой фазы и возврата последней в зону синтеза. Образующиеся в процессе реакции вещества (кроме бромметила) собираются в кубе агрегата синтеза, и часть кубового остатка с помощью насоса возвращается в зону реакции.

Расчет реакционно-разделительного аппарата проведен с учетом данных по кинетике совмещенного процесса [147,204] , которые здесь не приводятся с целью сокращения объема, В связи с тем, что бромистый метил после реактора содержит небольшое количество примесей, в частности, бромистого этила, для его очистки целесообразно, как показали исследования в промышленных условиях, использовать ректификационные колонны, оснащенные тарелками с двухступенчатыми балластно-кольцевыми клапанными контактными устройствами. Описанная конструкция реактора может быть использована в качестве модуля для проведения реакционно-массообменных процессов в газожидкостных системах, когда целесообразно локализовать реакционную зону и обеспечить более полное разделение продуктов реакции.

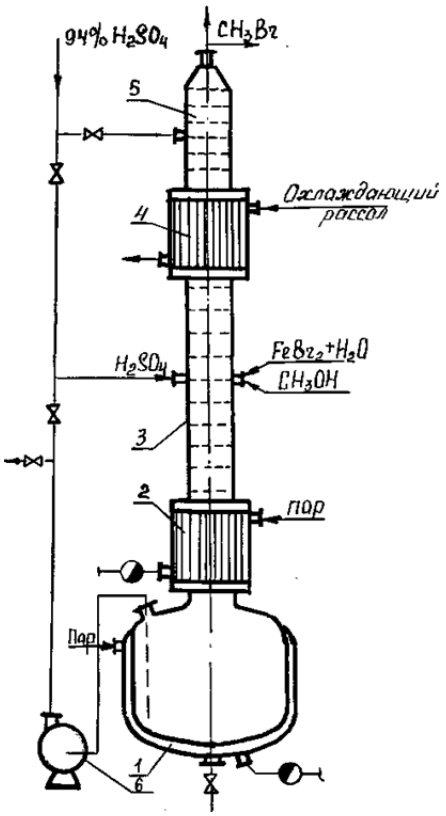


Рис..8.22. Опытно промышленный реактор синтеза бромистого метила

Получение бромистого натрия и других солей бромистоводородной кислоты

Получение бромистого натрия и других солей бромистоводородной кислоты целесообразно, как показали исследования, проводить в две стадии путем взаимодействия водноаммиачного раствора с парами брома, содержащимися в бромовоздушной смеси, при прямоточном движении газожидкостной смеси в секционированном реакторе и последующей щелочной обработкой реакционной массы, сопровождающейся десорбцией реакционного аммиака воздухом.

Первую стадию процесса (бромирование аммиачной воды парами брома целесообразно вести в прямоточном режиме для того, чтобы исключить "перебромирование”. При этом следует учесть необходимость обеспечения высокоразвитой межфазной поверхности, а также коррозионные и технологические (возможность кристаллизации) свойства среды. Поэтому в качестве базового был принят прямоточный, секционированный по высоте контактными элементами, реактор с восходящим движением потоков и многократной инверсией фаз.

Вторая стадия процесса, предусматривающая непосредственный синтез целевого продукта, согласно данным экспериментов, проведенных на опытной установке, выдвигает следующие требования: конструкция реактора должна обеспечивать надежное смешение исходных реагентов; для увеличения скорости процесса

необходим подвод тепла в зону контактирования; время достижения необходимой степени завершенности процесса, обуславливающее среднее время пребывания реагентов в реакционной зоне, должно быть не менее 30 минут; конструкция реактора должна обеспечивать достаточно высокие нагрузки по фазам.

В связи с вышеизложенным, для второй стадии целесообразно использовать прямоточный, секционированный по высоте контактными тарелками и теплообменными, в виде трубчатки, элементами реактор. С учетом вышеприведенных требований к реактору в качестве контактных устройств необходимо использовать клапанно- эжекционные контактные элементы, обеспечивающие соударение потоков фаз. Таким образом, при разработке реактора- десорбера использованы ряд Ак-методов интенсификации. Изготовленный из титана на Перекопском бромном заводе опытно-промышленный реактор выполнен (см.Рис.11.8.23) в виде колонны диаметром в нижней части - 100 мм, в средней - 200 мм, в верхней 350 мм. Нижняя часть реактора снабжена клапанными устройствами для контактирования паров брома, подаваемых под первую снизу тарелку колонны, и аммиачной воды, подаваемой на ту же тарелку. Образовавшаяся в нижней части пена (содержащая бромистый аммоний) поступает в среднюю часть реактора. Средняя часть также секционирована клапанными тарелками, между которыми расположены кожухотрубные теплообменники для подвода тепла в зону реакции. Бромистый аммоний в средней части колонны взаимодействует со щелочью, подаваемой в боковой патрубок, и там же частично упаривается образовавшийся бромистый натрий. В верхней, сепарационной части происходит отделение десорбированной пароаммиачной фазы, которая поступает на регенерацию.

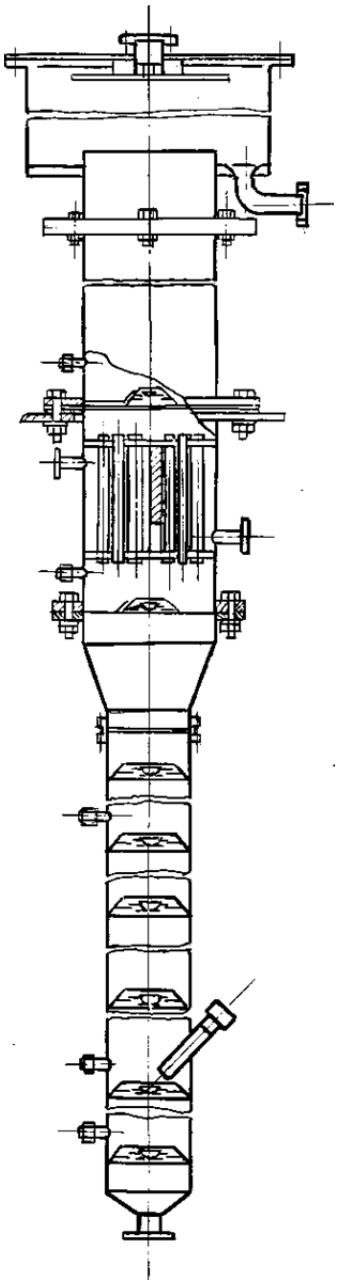


Рис.11.8..23. Схема реактора-десорбера получения бромистого натрия.

Для получения бромсодержащих антипиренов (гексабромбензола, тетрабромфталевого ангидрида, тетрабромдифенилолпропана и др.) предложены новые реакционно-кристаллизационные процессы. В настоящее время в ряду антипиренов, являющихся наиболее перспективным видом добавок для полимерных материалов, понижающих их воспламеняемость, особое место занимают соединения брома вследствие их высокой эффективности, легкости введения в полимеры, относительно низкой стоимости. Однако, в Украине промышленное производство бромсодержащих антипиренов практически отсутствует из-за отсутствия эффективных непрерывных процессов и оборудования для реализации. Автором совместно с сотрудниками университета и отраслевого института выполнены работы по созданию непрерывной

технологии бромирования для получения антипиренов. При решении этих вопросов встретились значительные трудности, прежде всего связанные с тем, что кинетика реакций бромирования практически не изучена ввиду сложности, многостадийности процесса, наличия большого количества промежуточных продуктов, гетерофазности и др. К примеру, при проведении реакции бронирования бензола бромом в среде олеума в реакционной массе будут присутствовать, кроме бензола, олеума, брома, катализаторов, сульфо- и бромпроизводные бензола. Поэтому для изучения кинетики получения гексабромбензола (ГББ) при непосредственном участии автора разработан метод анализа реакционной массы, основанный на ее дробной экстракции селективными растворителями, в которых различна растворимость компонентов реакционной массы: пробу из реактора выливают в захоложенную воду; выпавший осадок представляет собой смесь сульфо- и бромпроизводных бензола. Его промывают водой для удаления легкорастворимых в ней сульфокислот, осадок высушивают и промывают этиловым эфиром, при этом ди-, три-, тетра- и пентабромбензолы, растворимые в эфире, отделяются от гексабромбензола. Остаток анализируют методом ИК-спектроскопии.

Особенностью реакции получения ГББ является то, что реагенты поступают в зону реакции в жидкой фазе, а целевой продукт является твердым веществом. Реакционная масса обладает способностью к налипанию на свободных поверхностях, вследствие чего, а также для обеспечения интенсивного проведения химической реакции, необходима активное перемешивание реагентов в реакционной зоне. Кроме того, замещение первых атомов бромом обычно проходит при сравнительно низких температурах (40-60°С), в то время, как замещение 4-го и последующих атомов требует более жестких температурных условий (100-120°С). В связи с этим, реакторы, в которых проводят гетерогенно-каталитические реакции с неподвижной твердой фазой, не могут быть использованы для синтеза ГББ. Трудно приспособить для этого процесса без серьезных конструктивных изменений известные конструкции экстракторов для системы жидкость-твердое тело, хотя они и предназначены для проведения непрерывных процессов. Поэтому, для выбора наиболее эффективной конструкции реактора непрерывного действия для синтеза ГББ в лабораторных условиях исследовали работу аппаратов различных типов с различными схемами движения и выгрузки реакционной массы.

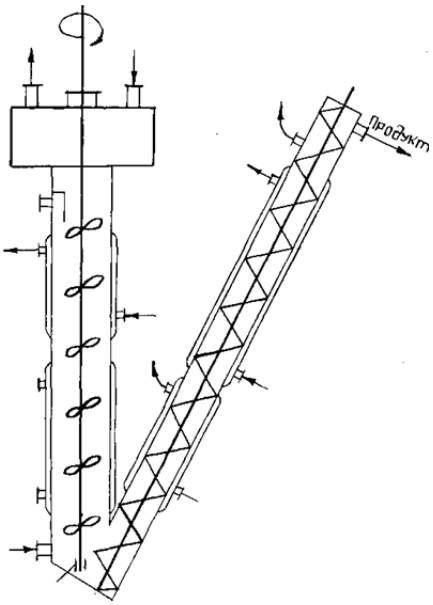


Рис.11.8.24. Опытно – промышленный реактор получения антипиренов бромированием органических соединений.

Наиболее удачным оказался реактор, выполненный в виде полого вертикального аппарата с многорядной мешалкой (или шнеком), установленной на оси. Подвод тепла в зону реакции осуществляется через рубашки. Реактор снабжен наклонной секцией, оснащенной шнеком. Наличие теплопередающих элементов в этой части позволяет использовать ее не только для транспортировки и выгрузки продукта, но, при необходимости, в качестве реактора “добромирования”. В этом случае в нижнюю переходную часть реактора необходимо подавать пары брома. В лабораторном варианте реактора был получен вывод о том, что требуется избыток брома до 70%. На основании лабораторных исследований синтеза ГББ в описанном реакторе был разработан опытно-промышленный реактор непрерывного действия [149] (Рис.11.8.24) , выполненный в виде вертикального аппарата с многорядной мешалкой по его оси, жестко связанного с наклонной (под углом 20-80°) частью, снабженной шнеком.

Различные модификации реактора такой конструкции внедрены или испытаны в целом ряде промышленных или опытно-промышленных установок: экстракции альфа-лецитина из фосфатидов, экстракции яичного масла, нитрования о-толуиловой кислоты, амидирования 3,5-динитроортотолуиловой кислоты, бромирования фталевого ангидрида, дифенилолпропана и др.).

Контрольные вопросы

1. Что такое гибкость ХТС? Единиці измерения,?
2. Концепция блочно - модульного подхода.Приведите нехимические аналоги.
3. Назовите несколько унифицированных модулей для газо - жидкостных систем.
4. Что такое инверсия фаз? Как ее провести многократно? Зачем?
5. Какая эффективность контакта фаз при их инверсии?
6. Когда целесообразно организовать совмещенній процесс?
7. Когда целесообразен реакционно- разделительній процесс.
8. Приведите несколько примеров реакционно - разделительных процессов, разработанных специалистами кафедры ОХВ.

Литература

1. Яновская Л.А., Юфит С.С. Органический синтез в двухфазных системах. *Л.: Химия, 1982.- 184 с.

2. Кафаров В.В., Дорохов И.Н. Системный анализ процессов химической технологии /основы стратегии. -М. -Наука, 1976 -499 с.ил.
3. Кантарджян С.Л. зкономические проблемы оптимизации химико- технологических процессов. -М.: Химия, 1980-149 с.ил.
4. Астарита Д. Массопередача с химической реакцией. -Л.: Химия, Ленингр.отд-нже,1971-224 с. ил.
5. Балашов М.И. Физико-химические основы и технологические принципы организации реакционно-ректификационных процессов. Автореф. Дис. докт. техн. наук. -М.-1980 - 46 с.
6. Майков В.П. Методика сравнения эффективности контактных мас¬сообменных устройств. - Теор.осн.хим.техн., 1972, т.6, №2, с.269.
7. Кафаров В.В. Применение многоуровневой методики для статистической оптимизации химико-технологических систем с мультипликативными целевыми функциями-Теор.осн.хим.техн., 1974, Том 8, N6, с.906.
8. Сидоров А.С., Смирнов Л.Т., Минц Л.М. Планирование технического перевооружения химической промышленности. - Химическая промышленность, 1977, М, с.304-310.
9. Философский словарь, п/ред. М.М.Розенталя. -3-е изд. 1975 - 496 с.
10. Жоров Ю.М. Моделирование физико-химических процессов нефтепереработки и нефтехимии. -1.: Химия, 1978-375 с, мл.
11. Кафаров В.В., Мешалкин В.П., Перов.В.Л. Математические основы автоматизированного проектирования химических производств. - М.: Химия, 1979-318 с.ил.
12. Орочко Д.И. Теоретические основы ведения синтеза жидких топлив. - М.: Гостоптехиздат, I95I-I42 с.
13. Нагиев М.Ф.Теория рециркуляционных процессов в химии. -М: АН СССР, 1962-460 с.
14. Плановский А.Н. К теории непрерывных процессов. -Химическая промышленность, 1944, № 5-6, с.5-9.
15. Нагиев М.Ф. Учение о рециркуляционных процессах в химической технологии. -М.: АН СССР, 1958-244 с.
16. Denbigh. U.G. Optimum temperatur sequences in reactors - Chem. Eng. Sci., 1958 vol. 8, N 1/2, p,125
17. W. Kramers, K. Westerterp. Elements of chemical Reactor Design and Operation. - Hetherland University Press Amsterdam, 1963, c. 28 - 37.
18. Миненко В.И. Магнитная обработка водно-дисперсионных систем. -Киев.: Техника, 1970-168 с.
19. Панченков Г.М., Цабек Л.К. Перемешивание жидкости в сильном внешнем электрическом поле. - ИФЖ, 1969, т.17, № 6, с.981-988.
20. Атрощенко Л.С., Воронина С.М. Процессы дистилляции и ректификации в однородном магнитном поле. -В Изв.вуз. Химия и химическая технология, 1970, т.13, № 10, с.1529-1533.
21. Тиман Б.Л. 0 возможности влияния неоднородного электрического и магнитного поля на химическую реакцию в газе. -ШХ, 1959, т.33, 22. № 6, с. II89-II90.
22. Агаев А.А., Ибрагимов В.И., Курбаналиев Т.С. Исследование абсорбции газов в электрическом поле. -Ученые записки Азерб.инст. нефти и химии, 1976, сер.9, N 5, с.45-50.
23. Бродецкий Г.Л.: Системный анализ в логистике: выбор в условиях неопределенности. - М.: Академия, 2010

24. А.с.355963 (СССР) Способ осуществления массообмена в магнитном поле. /В.М.Задорский, А.П.Кациди. -Опубл. в Б.И., 1972, № 32,
25. А.с.567453 (СССР) Способ проведения массообменных и реакционных процессов. /А.П.Кациди, Н.В.Васин, В.М.Задорский. -Опубл. в Б.И., 1977, № 29.
26. Козлова-Маркова К.Н., Михайлов Б.И. Химико-технологическая установка, использующая энергию ударной волны. -В кн. Оборудование с использованием различных методов интенсификации процессов.М.: НИИХиммаш, 1935, вып.71, с.36-41.
27. Bowman Graig T. Investigation of metric oxide formation kinetics in combustion processes* the hydrogen - oxygen - nitrogen reaction, - Combust, Sci and Technol, 1971» 30, Ж 1, р, 37-4-5*
28. Метод искровых разрядов для ускорения массообмена в системе твердое тело-жидкость. /А.Д.Молчанов, А.Г.Акеельруд, А.И.Чернявский и др.- И®, 1970, т.18, № 2, с.293-298.
29. Анфилатов В.С.: Системный анализ в управлении. - М.: Финансы и статистика,
30. Попов В.Н.: Системный анализ в менеджменте. - М.: КноРус, 2007
31. Слинько М.Г. Моделирование химических реакторов. -Новосибирск: Наука,1968-95 с.
32. Данквертс. Газо-жидкостные реакции. -М.: Химия, 1973-296 с.
33. Hatta S, J. Soc, Chem, Ihd. Jap, 1952, 35» 559*
34. Рамм В.М. Абсорбция газов. -М.: Химия, 1976-656 с.
35. Реутский В.А.- В сб. Процессы и аппараты химической технологии, сер."Итоги науки и техники". М.: ВИНИТИ, т.4, 1976-81 с.
36. Задорский В.М. Интенсификация газожидкостных процессов в химической технологии. -Киев.: Техника, 1979-198 с.
37. Ruckenstein E., Berbente C. The effect of roll-cells on mass transfer, - Chem, Eng* Sci*, 1970, 23,
38. Дильман В.В., Аксельрод Ю.В., Хуторянский Ф.М. Влияние меж¬фазных явлений на процесс масеопередачи в гетерогенных системах газ - жидкость. -Химическая промышленность, 1976, № 9, с.693-695.
38. Франкевич Е.Л. Влияют ли магнитные поля на химические реакции, - Химия и жизнь, 1980, N 6, с.9-14.
39. Акуличев В.А. Кавитация в криогенных и кипящих жидкостях. - М.: Наука, 1978-280 с.
40. Ультразвук.Краткая энциклопедия. -М.Советская энциклопедия, 1979-173 с.
41. Эмануэль Н.М., Кнорре Д.Т. Курс химической кинетики. -3-е изд.- М.: Высшая школа, 1974-396 с.
42. Kaibel G., Mayer M., Seid B. Reaktionen in Destillationsko¬lonnen- Chem. Ing. Techn., 1978. Vol. 50. N 8. P. 586 - 592
43. Методы-спутники в газовой хроматографии. /пер. с анг. С.А.Орловского п/ред. В.Г.Березкина. -М.: Мир, 1972-400 с.
44. Соколов В.Н., Доманский И.В. Газожидкостные реакторы. -Л.: Машиностроение, 1976-214 с.
45. Кардашев Г.А., Михайлов П.Е. Тепломассообменные акустические процессы и аппараты. -М.Машиностроение, 1973-223 с.
46. Беннет К.О., Майерс Дж.Е. Гидродинамика, теплообмен и маесо- обмен. М.: Недра, 1966-726 с.
47. Исакович М.А. Общая акустика. -М.: Наука, 1973-495 с.
48. Международный электротехнический словарь, гр.35.- М.: Физматгиз, 1963-70 с.
49. Пейн Г. Физика колебаний и волн. -М.: Мир, 1979-389 с.

50. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. -4-е изд. перераб. и доп.-М.: Наука, 1973-847 с.
51. Задорский В.М., Васин Н.В. К вопросу о влиянии пульсаций газожидкостного слоя на маесоотдачу в барботажной колонне. -ТОХТ, 1974, т.8, № I, С.105-107.
52. Антипов А.С. Анализ влияния пульсаций газожидкостных потоков на эффективность массообменных аппаратов. В кн.Технология и оборудование переработки нефтяных газов.М.: Труды ВНИИОЭМГ, 1978.с.94-101.
53. А.с.258714 СССР. Способ проведения массообменных процессов. /А.А.Жуховицкий, В.А.Григорян, А.В.Явойский. -Опубл.в БИ,1970, № I.
54. Исследование влияния низкочастотных вибраций контактного элемента на массообмен в пленке жидкости при противотоке. /В.И.Олемберг, В.М.Задорекий, Н.В.Васин, М.И.Якуценя и др.- Изв.вузов "Химия и химическая технология", 1974, т.17, № 12, с.18-88.
55. Массообменные процессы с регулируемыми циклами. /Б.И.Конобеев, М.А.Фандеев, Г.Р.Арутюнян и др.-ТОХТ, 1976, № 2, с.190-197.
56. А.с.194055 (СССР) Контактная тарелка массообменных аппаратов. /В.Н.Буренков. Н.А.Буренков - Опубл. в БИ., 1967, № 8.
57. Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред. - М.: Наука, 1978, 336с.
58. Бретшнайдер С., Ящак М., Пасюк В. Интенсификация некоторых процессов химической промышленности путем вибрации. - Химическая промышленность, 1963, № 3, с.211-217.
59. Головачевский Ю.А. Оросители и форсунки скрубберов химической промышленности. - М.: Машиностроение, 1974, 271с.
60. А.с.644516 (СССР) Оросительь для тепломассообменных аппаратов. /В.М.Задорский, Н.В.Васин, В.И.Олемберг. -Опубл.в БИ, 1979, № 4.
61. Соломаха Г.П., Чехов О.С. 0 классификации тарельчатых абсорбционных и ректификационных аппаратов. -Химия и технология топлив и масел, 1967, № 3, с.42-45.
62. А.с.413953 (СССР) Контактный элемент противоточной клапанной тарелки. /В.М.Задорский, Н.В.Васин, В.А.Сегаль и др.-Опубл.в БИ,1974, №5.
63. А.с.422423 (СССР) Клапанная тарелка для массообменных процессов. /С. Ф. Хохлов, В.М.Задорский, 0. И. Степченко и др.-Опубл.в БИ,1974, №13.
64. K. Hoppe. Ein newes Austan scheiement ft|r Balenko, lonnen. - Chemische Technik, 1965, 17, N 9, p. 555 - 558
65. А.с.190328 (СССР) Клапанная тарелка для процесса массообме на в системе газ(пар) - жидкость. / В.М.Задорский. -Опубл. в Б.И., 1967, 12.
66. Шейнман В.А., Александров И.А., Свеженцев В.С. Новые конструкции ректификационных колонн. -Химическое и нефтяное машиностроение, 1967, № 9, с.30-36.
67. Fair I.B. Selecting Fractionnating — Column Internals. — Chemical Engineering, 1965, 72, N 14, p. 107 - 116.
68. Малежик И.Ф. Клапанные тарелки ректификационных и абсорбционных аппаратов. - М.: ЦНИИТЭИПищепром, 1971-33 с.
69. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. - 2-е изд., перераб. -М.: Химия, 1971-296 с.
70. Гегузин Я.Е. Капля. -М.; 1973—160 с.
71. Аналитическое исследование процесса образования газожидкостной смеси при пульсационном перемешивании. / В.М.Бахтюхов, Р.А.Медник, С.И.Колотилов и др.- В сб.: Теория и практика перемешивания в жидких средах. М.: 1973, с. I59-163.
72. Влияние вынужденных колебаний сопла на дисперсность эмульсии в трубчатых аппаратах. / Е.К.Фирсов, В.И.Смирнов, А.Г.Горст и др. - Труды МИХМ, 1972, вып.7, с.137-141.

73. Алексеев В.П., Вайнштейн Г.Е., Герасимов П.В. Кинетика пленочной ректификации в аппаратах с нестабилизированным течением потоков. -Тез.докл. 1У-й Всесоюзной конференции по ректификации. -М.: НИИТЭХим, 1978, с.162.
74. Красильников А.Н., Богословский В.Е. О распределении интенсивности тепломассопереноса по высоте барботажного слоя. -Тез.докл. М., 1970-48 с.
75. Hoppe K. Druckverlust mud Stoff au stan sch iu Ventffböden. - Chem. lug. Technik, 1967, 39, N 11, s. 659 - 666.
76. Юрченко В.А. Клапанные тарелки массообменных аппаратов. - Химич.нефт. и цел.-бум.машиностр, М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1966, » 2, с.21.
77. Соломаха Г.П, Массоотдача при групповом барботаже. Автореф. Дис. докт. техн. наук -М.:1969- 48 с.
78. Чехов 8.С. Исследование и промышленное внедрение тарелок для массообменных процессов, созданных по принципу продольно-поперечного секционирования потоков в колонне. Автореф. Дис. докт. техн. наук. -М., 1969-48 с.
79. B. Lockart, R. Martinelli. Proposed Correlation of data for two - phase flaw. - Chem. Eng. Progr., 1949, vol 45, Ж 39, p. 15 - 20.
80. D. Zimmer E. Chemiker Zeitung Chemische Apparatur, 1965, vol. 89, Ж 20, p.709 - 721.
81. Малафеев Н.А., Малюсов В.А. К анализу работы ректификационной колонны с прямоточным взаимодействием фаз на ступенях. - ТОХТ, 1971, т.5, № I, с.131-133.
82. Сабитов G.С. Исследование массопереноса в аппаратах прямоточно-вихревого типа. Автореф. Дис. ...канд.техн. наук. -Казань, 1979, -24 с.
83. Савельев Н.И., Николаев Н.А. Расчет эффективности ступеней массообменных аппаратов с прямоточно-вихревыми контактными устройствами. -ТОХТ, 1976, т.Ю, № 3, с.456-460.
84. Тарат Э.Я. Исследование влияния вибрационного диспергирования на абсорбцию газов разной растворимости в барботажном аппара¬те. -Сб. трудов ЛТИ им.Ленсовета, 1971, с.55.
85. Соломаха Г.П., Плановский А.Н. О зависимости между массопередачей в газовой фазе и гидравлическими параметрами при барботаже (ситчатые тарелки). -Химия и технология топлив и масел. 1962, № 6, с. 1-7.
86. Эффективность новых конструкций клапанных тарелок при ректификации бинарных систем. / Э.Я.Тарат, Н.В.Васин, В.А.Сегаль, В.М.Задорекий. - В Изв.вуз.: Химия и химическая технология, 1973, т. 16, N 10, с. 584-1587.
87. Кольцов И.С., Плановский А.Н. Влияние концентрации и физико¬химических свойств разделяемых при ректификации смееей на коэффициент массопередачи. - Химическая промышленность, 1969, № 7, с.37.
88. А.С.354870 (СССР) Клапанная тарелка для процесса маесообмена в системе газ (пар)-жидкость. /В.М.Задорекий, Н.В.Васин, В.А.Сегаль и др.-Опубл. в Б.И., 1972, № 31.
89. А.с.258266 (СССР) Клапанная тарелка для проведения процесса массообмена. /В.М.Задорский. -Опубл. в Б.И., 1970, № I.
90. А.с.391835 (СССР) Клапанная тарелка для осуществления процесса массообмена. /Н.В. Васин, В.М.Задорский. -Опубл. в Б.И., 1973, № 32.
91. А.с.565672 (СССР) Контактный элемент противоточной клапанной тарелки. /В.А.Сеяаль, В.М.Задорекий, А.Л.Рабец и др.-Опубл. в Б.И., 1977, № 27.
92. А.с.352656 (СССР) Тарелка для контактирования газа (пара) с жидкостью. /В.М.Задорский, Н.В.Васин, Л.С.Позин. -Опубл. в Б.И.,1972, № 29.
93. А.с.375077 (СССР) Контактная тарелка. /В.М.Задорский, Н.В.Васин, Е.И.Баранов и др. -Опубл. в Б.И., 1973, № 6.
94. А.с.394058 (СССР) Контактная тарелка. /В.М.Задорекий, Н.В.Васин-Опубл. в Б.И., 1973, № 34.

95. А.с.338291 (СССР) Клапанная тарелка /Н.В.Васин, В.М.Задорский. -Опубл. в Б.И., 1972, № 16.
96. А.с.521897 (СССР) Клапанная тарелка. /Н.В.Васин, В.М.Задорский, С.С.Сариев. - Опубл. в Б.И., 1976, № 27.
97. А.с.611632 (СССР) Контактное устройство для тепломассообменных тарелок, /В.В.Рогозный, В.М.Задорский, Г.И.Шкурупий. -Оцубл. в Б.И.,1978, № 23.
98. А.с.571281 (СССР) Клапанное контактное устройство. /В.М.Задорский, О.И.Школа, Ю.Г.Шалахман. -Опубл. в Б.И., 1977, № 33.
99. А.с.321259 (СССР) Клапанная тарелка для массообменных процессов. / В.М.Задорский -Опубл. в Б.И.,1971, № 35.
100. А.с.424575 (СССР) Контактная тарелка. /В.Н.Мельниченко,
В.В.Солодовников, Ю.Г.Шалахман и др.-Опубл. в Б.И., 1974, № 15,
102. А.с.570369 (СССР) Контактное устройство. /Ю.Г.Шалахман, В.М.Задорский, В.В.Солодовников и др.-Опубл. в Б.И., 1977, № 32.
103. Расчет физических полей методами моделирования. /п/ред. Л.А.Люстерника, Б.А.Валынского. -М.: Машиностроение, 1968-428 с.
104. А.с.556826 (СССР) Регулярная насадка для тепло-массообменных аппаратов/ Н.В.Васин, В.М.Задорский, В.И.Олемберг и др, - Опубл. в Б.И., 1977, № 17.
105. Жиляков Е.Г.: Модели и методы системного анализа в экономике. - Белгород: БелГУ, 2006
106. Хоблер Т. Маесопередача и абсорбция. -Л. .-Химия, 1964-479 со
107. Оптимизация конструкции хордовой насадки для массобменных аппаратов. / И.И.Игнатенко, Г.Р.Залкинд, В.М.Задорский и др. - В сб.: Химия и технология брома и йода. ГИПХ, 1976, с.34-40
108. Boardman J. Systems Thinking: Coping with 21st Century Problems (Industrial Innovation) CRC Press, 2008. - 240 pages
109. Майков В.П. Об оценке эффективности внутренней структуры тепло- и массообменных аппаратов. -ТОХТ, 1970, т.4, № 3, с.400-405.
110. Исследование массопередачи в газовой и жидкой фазах в колонне с хордовой насадкой. / И.И.Игнатенко, Г.Р.Залкинд, И.Д.Сараева и др. - В сб.: Химия и технология брома и йода. - ГИПХ, 1976, с. 47-51.
111. А.с.503586 (СССР) Регулярная насадка для тепло-массообменных аппаратов. /Г.Р.Залкинд, В.М.Задорский, и др.-Опубл. в Б.И., 1976, № 7.
112. А.С.526375 (СССР) Регулярная насадка для тепломассообменных аппаратов/ Г.Р.Залкинд, В.М.Задорский, И.И.Игнатенко и др.-Опубл. в Б.И., 1976, № 32.
113. А.с.563997 (СССР) Регулярная насадка. /И.И.Игнатенко, Г.Р.Залкинд, И.Д.Сараева и др.-Опубл. в Б.И., 1977, № 25.
114. А.с.507341 (GССР) Насадка для массообменных и реакционных аппаратов. /В.М.Задорский, Н.В.Васин, В.М.Олемберг. -Опубл. в Б.И., 1976, № II.
115. Кафаров В.В. Основы массопередачи; Системы газ-жидкоеть, пар-жидкость, жидкость-жидкость: -3-е изд., перераб и доп.-М.: Высшая школа, 1979-439 с.
116. Карпачева С.М., Захаров Е.И. Основы теории и расчета пульсационных колонных реакторов. -М.: Атомиздат, 1980-256 с.
117. А.с.760991 (СССР) Устройство для перемешивания жидкости. /Е.А.Боровик, В.М.Задорский, Б.А.Кривой. -Опубл. в Б.И., 1980, № 33.
118. Colderbank B.H., Patra K.P. Mass transfer in liqued phase during the formation of bubbles. - Chenu Eng. Science, 1966, v. 21, p. 719 - 721.
119. Nagel 0., härten H. Untersuchung Zum. Diesprrgiren in turbulenten scherfeld. - Chem.- Ing.- Techn., 1966, N 2, p.6

120. Рейхсфельд В.О., Шеин В.G., Ермаков В.И. Реакционная аппаратура и машины заводов основного органического синтеза и синтетического каучука. -Л.: Химия, 1975, 391 с.,
121. Батунер Л.М. Процессы и аппараты органического синтеза и биохимической технологии. - М.-Л.: Химия, 1966, 520 с.
122. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. -2-е изд., перераб. -М.: Химия, 1971-496 с.
123. Жоров Ю.М. Расчеты и исследование химических процессов нефтепереработки. -М.: Химия, 1973-213 с.
124. Розенберг М.М., Хейфец Л.И., Кац М.Б. К определению параметра диффузионной модели продольного перемешивания. -ТОХТ,1970, т.4, с.523-526.
125. А.с.230780 (СССР) Колонна для контактирования газа (пара) с жидкостью. / В.М.Задорский. -Опубл. в Б.И., 1968, № 35.
126. А.с.729237 (СССР) Способ дистилляции масляных мисцелл. /В.М.Задорский, Г.И.Шкурупий, Г.Е.Кожемякин. -Опубл. в Б.И., 1980, N 15.
127. А.с.603399 (CGCP) Колонный аппарат для проведения тепло¬массообменных и реакционных процессов. /В.М.Задорский, Г.Е.Кожемякин, Г.И.Шкурупий и др.-Опубл.в Б.И., 1978, № 15.
128. А.с.683758 (СССР) Тепломассообменный аппарат. / В.М.Задорский, В.В.Солодовников, Г.Е.Кожемякин. -Опубл. в Б.И., 1979, № 33.
129. Положительное решение по заявке 2614200/23-26 (СССР) Пленочный секционный испаритель. / Г.Е.Кожемякин, В.М.Задорский, 0. И.Школа.
130. Аксельруд Г.А. Молчанов А.Д. Растворение твердых веществ. -М.: Химия, 1977-268 с.
131. Патент II29I65 (Англия).
132. Ниязов М.И. и др. Интенсификация экстракции масла и госсипола из сырой хлопковой мятки в электромагнитном поле. -Масложиро¬вая промышленность, 1974, № 8, с.4-5.
133. Салимов 3. и др. Влияние магнитной обработки ацетона на экстракцию хлопкового масла из сырой мятки. - В Изв.вуз.: Пищевая промышленность, 1973, № б, с.154-155.
134. Сирота Л.А. и др. Массообменные характеристики процесса экстракции в электрическом поле. Всесоюзная конференция по экстракции. -Рига. : Зинатне, 1977, т.3, с.95-98.
135. Ниязов М.И. и др. Исследование влияния низкочастотных механических колебаний на процесс экстракции растительных масел. -Узбекский химический журнал, 1970, № I, с.71-72.
136. А.с.643166 (СССР) Способ проведения массообменных процессов, преимущественно процессов экстракции, растворения и выщелачивания. / В.М.Задорский, Г.И.Шкурупий, В.И.Мамонтов и др.-Опубл. в Б.И.,1979, № 3.
137. Соколов В.Н., Решанов А.С. Исследование массообмена в барботажном экстракторе. -В сб.: Процессы химической технологии.М.-Л.: Наука, 1965-с.151-154.
138. А.с.661962 (СССР) Способ экстракции. /В.М.Задорский, В.И.Мамонтов, Г.И.Шкурупий. -Опубл. в Б.И., 1979, № 17.
139. Bowman K. Systems Analysis: A Beginner's Guide Palgrave Macmillan, 2003. — 192 pages
140. Brunelli M. Introduction to the Analytic Hierarchy Process New York: Springer, 2015. - 83p.
141. А.с.439298 (СССР) Насадка для экстракционных аппаратов. /С.Н.Головко, В.М.Задорский, О.П.Хлебников. -Опубл. в Б.И., 1974, №30
142. Трейбал Р. Жидкостная экстракция. -М.: Химия, 1966, 360 с.

143. А.с.413952 (СССР) Массообменный аппарат. /В.М.Задорский, - Опубл. в Б.И., 1974, № 5.
144. А.с.476882 (СССР) Аппарат для проведения массообменных и реакционных процессов. /В.М.Задорский, А.П.Кациди, Н.В.Васин. - Опубл. в Б.И., 1975, № 26.
145. А.с.319318 (СССР) Массообменная колонна. /В.М.Задорский, И.Р.Резанцев, О.И.Школа. -Опубл. в Б.И., 1971, № 33.
146. Dennis A., Wixom B.H., Roth R.M. Systems Analysis and Design Wiley – 2012, 594 p.
147. Игнатенко И.И., Залкинд Г.Р., Сараева И.Д. Исследование гидродинамических характеристик хордовых насадок. -В сб.: Химия и технология брома и йода. ГИПХ, 1976, с.40-46.
148. А.с.592420 (СССР) Контактный элемент массообменной тарелки. /В. М.Задорский, Г.Р.Задкинд, В.П.Сыпленко и др.-Опубл. в Б.И., 1978, № 6.
149. Mobus G.E., Kalton M.C. Principles of Systems Science Springer, 2015. 755pp.
150. Valacich J., George J., Hoffer J.A. Essentials of Systems Analysis and Design Prentice Hall, 2011, 5th edition. 417 p.
151. Способ получения пербромпроизводных ароматических углеводородов. /О.И.Школа, В.М.Задорский, В.И.Мамонтов.
152. Авдеюк О.А., Горбачёв С.В., Муха Ю.П. и др. Математические методы информатики в задачах и примерах. Опыт применения в проектировании сложных систем. Учебное пособие. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2012. — 484 с.
153. А.с.541480 (СССР) Тепломассообменный аппарат. /В.М.Задор¬ский, Ю.Г.Миняйло, Г.И.Шкурупий. -Опубл. в Б.И., 1977, f I.
154. Zadorsky W.M., Segal W.A., Schola O.I., Uber der Eimflug der Konstruktion der Kontakten elemente auf die jueistung - Scha- rakteristik Ton ventilboden. - Chem. Techn., 1977» 29, N 11, 622.
155. А.с.541480 (СССР) Тепломассообменный аппарат. /В.М.Задорский, Ю.Т.Миняйло, В.В.Солодовников. -Опубл. в Б.И., 1977, № I.
156. А.с.550376 (GССР) Способ получения бензилового спирта. /В.М.Задорский, В.В.Солодовников, В, В., Мамонтов и др.-Опубл. в Б.И., 1977, №11.
157. А.с.535798 (СССР) Способ получения ß -аланина. /В.М.Задорский, Н.Д.Посохов, М.К.Пурик и др.-Опубл. в Б.И., 1976, № 42.
158. А.с.457695 (СССР) Способ получения ß -аланина. /В.М.Задорский, В.Н.Мельниченко, С.Ф.Хохлов и др.-Опубл. в Б.И., 1975, № 3.
159. Орлов Б.Н., Плановский А.Н. Экспериментальное определение коэффициентов маесоотдачи в тарельчатых аппаратах. -Химическое машиностроение, I960, № 3, е.24-25.
160. Коробчанский И.Е., Кузнецов М.Д. Расчеты аппаратуры для улавливания химических продуктов коксования. -М.: Металлургия,1972, 296 с.
161. А.С.5I55I7 (СССР) Клапанное противоточное контактное устройство. /В.М.Задорский, 0. И.Школа. -Опубл. Б.И., 1976, №20.
162. Антонов А.В. Системный анализ М.: Высшая школа, 2004. — 454 с.
163. Ачкасов А.Є., Лушкін В.А., Охріменко В.М., Воронкова Т.Б. Теорія систем і системний аналіз Навчальний посібник. – Х.: ХНУМГ, 2014. – 167 с.
164. А.с.483396 (СССР) Способ получения диметилформамида. /В.М.Задорский, В.В.Солодовников, С.Ф Хохлов. -Опубл. в Б.И., 1979, № 4.
165. Бакуменко В.Д. Методологія системних досліджень в державному управлінні : Навчальний посібник / Бакуменко В.Д., Кравченко С.О. – К. : ВПЦ АМУ, 2011. – 115 с.
166. А.С.5I09I3 (СССР) Способ получения ДМАА/В.В.Солодовников, В.М.Задорский, В.И.Базакин. -Опубл. в Б.И., 1976, № 14.
167. А.С. 809818 /СССР/ Способ получения диметилформамида. /В. М. Задорский, В. В. Солодовников, В.Д.Егоркин и др.- не публ.

168. Дрейфус, Х. Что не могут вычислительные машины. Критика искусственного разума; пер. с англ. - М.: Прогресс, 1978.
169. А.с. 574447 /СССР/ Способ получения 1,4-диоксана. / В.В.Солодовников, В.М.Задорский, Ю.Г.Миняйло и др, - Опубл.в Б.И. ,1977, й36.
170. А.С. 661896 /СССР/ Способ получения безводного диоксана. /В.В.Солодовников, В.М.Задорский, Ю.Г.Миняйло И др.- Опубл. в Б.И. 1979, М7.
171. Розовский А.Я. Гетерогенные химические реакции. - М..-Наука, 1980- 323.
172. Хусанов А.й., Левичев С.А., Жаров В.Т. поверхностное разделение веществ. - Л.: Наука,1981 - 185 с.ил.
173. Протодьяконов И.0., Марков А.В. Явления переноса в процессах химической технологии. - п/ред.П.Г. Романкова. - Л.: Химия. Ленингр.отд-ние, 1981- 263 с. ил.
174. Влияние массопередачи на кинетику радиационного хлориро¬вания парафиновых углеводородов в жидкой фазе. / Р.В.Джагаупян, В.И.Косоротов, Б.Я.Стуль и др. - Теор. осн. химич. техн., 1970, т. 4, № 5, с.679-686.
175. Савченко В.И., Гельперин Й.И.- Метод расчета реакционно- ректификационных аппаратов. Теор. осн. химич. техн., 1972, т.6, N5, с. 748-755.'
176. Савченко В.И. - Расчет реактора синтеза триоксана. Химическая промышленность, 1970, N3, с. 171-174.
177. Исследование физико-химических параметров реакционной массы в производстве диметилформамида. / В.В.Солодовников, В.М.Задорский, Н.С.Гордиенко и др. - В сб.: Вопросы химии и химической технологии. - Харьков: Вища школа, 1975, вып.38, с.Ш-116.
178. Применение комбинированного реактора в производстве диметилформамида./ В.В.Солодовников, В.М.Задорский, В.И.Базакин и др.- Химическая промышленность, 1976, № 9, с.56-59.
179. Солодовников В.В., Задорокий З.М., Чернышова Т.П. Моделирование процесса ацилирования диметиламина в новом реакционно- массобменном аппарате. - В кн.: I Всесоюзная научная конференция. Современные машины и аппараты химических производств /Чимкент, сент.1977/: Тез.докл. Чимкент, 1977, т.1, с.120-123.
180. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. -Химия.
Ленингр.отд-ние. 1975. с.268. ил.
181. Балаганский И.А. Прикладной системный анализ Учебное пособие. НГТУ. 2000 г. – 51 с.
182. Бергман 1. Ультразвук и его применение в науке и технике. - Иностранная литература. М. 1957, с.650, ил.
183. Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода М.: Наука, 1973. - 274 с.
184. Балашов М.И., Серафимов Л.А., Принципы и технологические приемы организации непрерывных совмещенных реакционно- ректификационных процессов. - ТОХТ, 14, 1980, М, с.515-521.
185. Балашов М.И., Серафимов Л.А. Анализ статики непрерывных совмещенных реакционно-ректификационных процессов. - Теоретические основы химической технологии, 14, 1980, 115, с.803-809.
186. Балашов М.И., Патласов В.П., Серафимов Л.А. Правила принципиальной протяженности реакционной зоны в непрерывных совме¬щенных реакционно-ректификационных процессах. - Теоретические основы химической технологии, 14, 1980, №5, с.650-658.
187. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. -Д.: Химия, 1974 - 397 о., ил.
188. Серова Н.В., I^рьян Я.И. Исследование кинетики гидролиза диметилформамида в присутствии диметиламина. - Журнал общей химии 42, 1972, №7, с.1441 - 1446.

189. А.с. 255252 /СССР/ Способ получения диметилформамида/ М.Б.Недув, В.И.Базакин и др.
190. Кондратьев В.К., Русьянова Н.Д. Теория и практика жидкофазного окисления. - М.: Наука, 1974 - 155 с., ил.
191. Франк - Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. - М.; Д., Изд-во АН СССР, 1947
192. Берд., Стьюарт В., Лайтфут Е. Явления переноса. М.: Химия, 1974
193. Шервуд Т., Пигфорд Р., Уилки Ч. Массопередача. п/ред. В.А.Малюсова - М.: Химия, 1982 - 695 с.
194. Бордюженко О.М. Основи системного аналізу. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення. Рівне. НУВГП. 2008-113с.
195. Бояркин Г.Н., Шевелева О.Г. Теория систем и системный анализ
Конспект лекций. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2008. –76 с.
196. Гельперин Н.М. Основные процессы и аппараты химической технологии. М., Химия, I98I- 8II с.
197. Рамм В.М. Абсорбция газов. М., Химия, I976- 655с.
198. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М., Наука, 1970-720с.
199. Брахман Т.Д. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике М.: Радио и связь, 1984. —288 с. ил.
200. Водолазская Е.Г. Основы теории систем и системного анализа
Конспект лекций – Краматорск: ДГМА, 2003. - 68 с
201. Волкова В.Н. Искусство формализации: от математики к теории систем и от теории систем - к математике Изд. 2-е. СПб. Изд-во СПбГПУ, 2004. 199 с
202. Вунш Г. Теория систем М.: Советское радио, 1978. — 288с.
203. Горбань О.М., Бахрушин В.Є. Основи теорії систем і системного аналізу
Запоріжжя: ГУ ЗІДМУ, 2004. – 204 с.
204. Коган В.Б., Харисов М.А. Оборудование для разделения смесей под вакуумом, М., Машиностроение, 1976.
205. Громов Ю.Ю., Земской Н.А., Лагутин А.В., Иванова О.Г., Тютюнник В.М. Системный анализ в информационных технологиях Учебное пособие Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 176 с
206. Згуровський М.З., Панкратова Н.Д. Основи системного аналізу К.: Видавнича група BHV, 2007. — 546 с.
207. Зеленский В.А. Проектирование сложных систем Учебное пособие. — Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2012. 96 с.
208. Гельперин Н.И., Пебалк В.А., Костанян А.Е. Структура потоков и эффектив-ность колонных аппаратов химической промышленности. М., Химия, 1977, 261с.
209. Королькова М.Д., Кричевцов Б.К. Физико-химический анализ системы муравьиной кислоты - диметилформамида. -Журнал общей химии, 28, № II, 1958, с.2915-2916.
210. Кнорре Д.Г., Эмануэль Н.М. Водородная связь в кинетике химической реакции. - "Успехи химии", Т4, N13, 1958, с.275-301.
211. А.с. 623572 (СССР) Реактор /В.М.Задорский, В.В.Солодовников, П.И.Видман, В.Н.Базакин. -Опубл. в Б.И.,1978, N 13.
212. Задорский В.М., Стрельцова С.Й., Школа О.И. Исследование кинетики синтеза бромистого метила. -В сб.: Вопросы химии и химической технологии. -Харьков: Вища школа, 1981, вып.62, с.27-30.
213. А.С. 262382 (СССР) Способ удаления незаподимеризовавшихся мономеров из латексов. / Т.А.Киль, В.М.Задорекий, И.П.Лукьянова, Н.В.Швецов, Н.И.Волкова. - Опубл. в Б.И.,1970, №6.

214. Маторин С.И., Зимовец О.А. Теория систем и системный анализ
Учеб. пособие. – Белгород: Изд-во НИУ «БелГУ», 2012.
215. А.С. 255430 (СССР) Способ удаления незаподимеризовавшихся мономеров из латексов. / Т.А.Киль, В.М.Задорский, И.П.Лукьянова, Н.Й.Волкова, В.Д.Кенжетяева. - Опубл. в Б.И.,1970, НО
216. А.С. 265431 (СССР> Способ удаления незаполимеризовавшихся мономеров из латексов / Т.А.Киль, В.М.Задорский, И.П.Лукьянова, В.Д.Кенжетаева. - Опубл. в Б.Й., 1970, НО
217. А.С. 352879 (СССР) Способ очистки уксусной кислоты / А.П.Литовка, В.М.Задорский, О.В.Бановска, Киль Т.А. - Опубл. в Б.И.,1972 г., »29.
218. А.С. 247866 (СССР'1 Способ очистки промывных вод производства ацетилена. / Б.А.Кривой, В.М.Задорский, С.М.Максимов, С.А.Усачев, А.Яковлева. - Опубл. в Б.И, 1977, N3.
219. Мороз А.И. Курс теории систем М.: Высшая школа. 1987. — 300 с.
220. А.С. 661894 (СССР') Способ получения диметиламидов моно кар¬боновых кислот. / В.В.Солодовников, В.М.Задорский, Ю.Г.Шалахман,
221. В.И..Базакин, В.Д.Егоркин, И.В.Галич, П.Д.Якухный.Опубл. в Б.И., 1979, N7.
222. А.С. 66Т962 (СССР) Способ экстракции. / В.М.Задорский, Г.И, Шкурупий, В.И.Мамонтов, В.А.Харитонов, В.В.Солодовников. - Опубл. в Б.й., 1979, N7.
223. Патент 2389407 (Франция). Reacteur pour processus en phases gazeuse et liquide /
V. M. Zadorsky, V.V. Solodovnikov, P.I. Vidman, V.I. Basakin.
224. Liu S., Xie N. Systems Evaluation: Methods, Models, and Applications PDF
CRC Press, Taylor & Francis Group, 2012. 257 p. 36
225. Патент 2390418 (Франция"Procédé de préparation de dime- thylformamide /V.M. Zadorsky, V.V. Solodovnikov, S.F. Khokhlov Опубл. в Б.И., 1979, N10-55.
226. Lamsweerde A. Requirements Engineering: From System Goals to UML Models to Software Specifications Wiley, 2009. — 712 p.
227. Патент 2715440 (ФРГ) verfahren zur Herstellung von Dime¬thylformamid /V.M. Zadorskij, V.V. Solodovnikov, S.F. Chochlov. -Опубл. в Б.И.,1979, » 4-55.
228. Патент 2721506 (ФРГ) . Reaktor fur Gas - Pltissigkeits - Prozecce /V.M. Zadorskij, V.V. Solodovnikov, V.I# Basakin. Опубл. в Б.И.,1979, №7-16
229. Заявка 52-045204 (Япония) (1950731/23 в СССР) Process for for Producing Dimethylformamide/В.М.Задорекий, В.В.Солодовников, С.Ф.Хохлов.
230. Lamsweerde A. Requirements Engineering: From System Goals to UML Models to Software Specifications Wiley, 2009. — 712 p.
231. Заявка 59-980/1977 (Япония),(1968540/23 в СССР) Реактор для газоимпульса. / В.М.Задорский, В.В.Солодовников, П.И.Видман, В.И.Базакин.
232. А.С. 709612 (СССР^ Способ получения формиата натрия /К.А.Мельников, В.В.Рогозный, Г.И.Шкурупий, В.М.Задорский, В.Ф.Антоненко,
233. Lamsweerde A. Requirements Engineering: From System Goals to UML Models to Software Specifications Wiley, 2009. — 712 p
234. А.С. 72147я (СССР) Способ дистилляции маслянных мисцелл/ Ю.В.Иванов, В.В.Ключкин, Г,Е.Кожемякин, В.М.Задорский, С.Â.Иванова.Опубл. в Б.И., 1980, №10.
235. Kahraman C. (ed.) Fuzzy Multi-Criteria Decision Making. Theory and Applications with Recent Developments Springer Science+Business Media, LLC, 2008
236. А.С. 726030 ПХСР) Способ обесцвечивания сточных вод./В.В.Солодовников, В.М.Задорский, Ю.Г.Шалахман, - Опубл. в Б.И., №13. ,
237. Jones C., Wierman M.J., Clark T.D., Pham A., Redmond M.A. Linear Models in the Mathematics of Uncertainty N.-Y.: Springer, 2013. - 256p

238. Dubois E., Gray P., Nigay L. (Eds.) The Engineering of Mixed Reality Systems Springer, 2009. 450 p.
239. А.С. 822837 (СССР) Способ разделения смесей. /В.М.Задорский, Н.В.Вясин, В.С.Ежов, В.И.Олемберг, С.М.Максимов. - Опубл. в Б.И., №15.
240. Dennis A., Wixom B.H., Roth R.M. Systems Analysis and Design Wiley, 2008. - 551 p.
241. А.С. 829150 (СССР) Способ абсорбции паров растворителя из паровоздушной смеси и устройство для его осуществления. / В.В.Ключ¬кин, И.А.Золотарева, С.А.Иванова, В.М.Задорский, Г.В.Донскова, И.В.Гавриленко, В.К.Брик, И.Е.Безуглов, И.А.Маркова, Балашова, В.А.Харитонов, А.В.Луговой, Ю.Г.Шалахман. - Опубл. в Б.И., 1981, №18.
242. Brunelli M. Introduction to the Analytic Hierarchy Process New York: Springer, 2015. - 83p
243. Васильев Е.М.: Теория систем и системный анализ.- Воронеж: Науч.книга, 2008
244.А.С. 844015 (СССР) Способ экстрагирования из твердых тел./ В.В.Солодовников, В.Н.Мамонтов, Ю.Р.Иоффе, П.К.Швец, В.М.Задорский,0.И.Школа, Г.Е.Кожемякин,И.С.Глух, О.А.Перехрест. - Опубл. в Б.И., 1981, №25.
245. Основания синергетики Князева Е.Н. Основания синергетики: синергет. мировидение / Е.Н.Князева, С.П.Курдюмов. - М.: URSS: КомКнига, 2005. - 238 с
246. Малинецкий Г.Г. Нелинейная динамика и хаос: основные понятия / Г.Г.Малинецкий, А.Б.Потапов. - М.: URSS: КомКнига, 2006. - 236 с.
247. Совершенствование конструкции регулярных насадок для промышленных массообменных аппаратов. /В.М.Задорский, Э.Я.Тарат, Н.В.Васин, В.И.Олемберг. - Журнал прикладной химии, № 8, 1982, с.1784-1790.
248. Синергетика природных, технических и социально-экономических систем: сб. ст. междунар. науч.-техн. конф., 8-9 нояб. 2007 г. Ч.1. - Тольятти: ТГУС.- 2007. - 229 с.
249. Задорский В.М. Новые методы интенсификации технологических процессов и практика их использования в производствах веществ реактивной квалификации. - В сб.: Новые процессы и оборудование для получения веществ реактивной квалификации. (Тез. докл. Всесоюзной научно-технической конференции "Реахимтехника- I", г.Днепропетровск, сентябрь, 1982г.) Черкассы, 1982, ч.1, с.36-37.
250. Задорский В.М., Русалин С.М., Мартынов В.Н. Нестационарный реакционно-отделительный процесс каталитического получения 1.4-диоксана. - В сб.: Нестационарные процессы в катализе (Труды II Всесоюзной конференции, Новосибирск, 1982г.), Новосибирск,1982.
256. Николаев Е.С., Вертузаев Е.Д., Жлоба Т.М. Технологиче¬ские аспекты исследования и промышленной реализации реакционно¬ректификационных процессов. - Химическая промышленность, 1982, № 8, с.477-481.' Задорский В.М., Фокин А.П., Яковенко М.М. К вопросу опти¬мального конструирования оборудования для технологических процес¬сов получения химических реактивов. - В кн.: Реактивы и особо чистые вещества (Труды ИРЕА, вып.44). М., 1982, с.185-200.
257. Кинетика реакционно-отделительного процесса получения 1,4- диокеана дегидратацией диэтиленгликоля. /В.М.Задорский, С.М.Русалин, З.И.Селеменева, Э.Я.Тарат. - Журнал прикладной химии, № 3, 1983, с.631-635.
258. Штеренберг М.И. Синергетика: Наука? Философия? Псевдорелигия? / М.И.Штеренберг. - М.: Academia, 2007. - 168 с.
259. Михайлов А.С. Foundations of synergetics. Vol.1. Distributed active systems / А.С.Михайлов. - Berlin: Springer, 1994. - XII, 213 p
260. Балашов М.И., Серафимов Л.А. Реакционно-ректификационные процессы. - В кн.: Дж.Астарита. Массопередача с химической реакци¬ей. М.: Химия, 1971, с.186-210.
261. Данов С.М. и др. ТОХТ, 1974, т.8, с.781; Данов С.М., Дозо¬ров В.А., ТОХТ, 1973, т.7, с.440.

262. Автоматизированный анализ статики непрерывных совмещенных реакционно-ректификационных процессов. /М.Ю.Гарбер, М.И.Балашов,
263. А.С.Мозжухин, Н.К.Тихонова. - Теор.основы хим.техн., 1983, т.17, № 2, с.178-185.
20. Аршинов, В.И. Синергетика как феномен постнеклассической науки [Текст] / В.И. Аршинов. - М.: РАН. Ин-т философии, 1999.
264. Бердяев, Н. Человек и машина. Философия творчества, культуры и искусства. [Текст] / Н. Бердяев. - М.: Искусство, 1994. - Т.1.
265. Кафаров В.В*, Ветохин В.Н. Основы построения операционных систем в химической технологии. - М.: Наука, 1980, 429с., ил.
266. Верхопятницкий П.Д., Латинский В.С. Справочник по модульному конструированию радиоэлектронной аппаратуры. - Л.: Судостроение, 1983, 232с.,
267. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы.- М.: Химия, 1982, 400с., ил.
268. Задорский В.М., Боровик Е.А. Классификация и направления развития конструкций биохимических реакторов. (Обзорная информа¬ция) - М., ОНТИ ТЗпМикробиопром, 1983, с.52, ДСП.
269. Задорский В.М., Русалин С.М., Селеменева З.И. Исследование реакционно-десорбционного процесса получения 1,4-диоксана. - В сб.: Вопросы химии и химической технологии. Харьков, Вища школа, вып.70, 1983, с.10-13.