

THE SHORTAGE
OF RAW MATERIAL
SUPPLY IN CONDITIONS
OF NATURAL RESOURCE
EXHAUSTION

Kh. E. KHARLAMPIDI

Principal tendencies in mining and using of the shortage of raw materials in conditions of raw materials resources exhaustion are considered. Influence of raw materials base structure variation on technology is given.

Рассмотрены основные тенденции в добыче и использовании сырья в обстановке истощения сырьевых ресурсов. Показано влияние изменения структуры сырьевой базы на технологию.

ПРОБЛЕМА СЫРЬЯ В ОБСТАНОВКЕ ИСТОЩЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

Х. Э. ХАРЛАМПИДИ

Казанский государственный технологический университет

Динамичный рост народного хозяйства приводит к ускоренному потреблению всех видов ресурсов (материальных, энергетических, финансовых и др.). К ресурсам химико-технологических систем относят сырье, энергию, труд, финансы и фонды (оборудование). Остановимся только на проблемах использования сырьевых и энергетических ресурсов в промышленном органическом синтезе. За десятилетие мировое потребление нефти, газа и угля возрастает почти вдвое, а потребность в энергии удваивается каждые 12–14 лет. Что касается добычи нефти, то в настоящее время наметилась тенденция к ее стабилизации и даже некоторому снижению до уровня 3 млрд т в год [1].

Около 70% нефти и 50% угля, извлеченных из недр, добыты за последние 15–20 лет. Естественно, что все это привело к истощению богатых месторождений, расположенных в европейской части нашей страны. Горнодобывающая промышленность уже ориентируется на эксплуатацию все более бедных месторождений ископаемых, химический и минералогический составы которых меняются не только по географическим районам, но и в пределах площади отдельных месторождений.

Перерабатывающие предприятия вынуждены приспосабливаться к частому изменению содержания целевых компонентов и вида примесей в сырье. Такая ситуация становится характерной для многих основных видов химического сырья: нефти, полиметаллических руд, фосфоритов и др. Добыча угля, газа, нефти переместилась в районы Сибири, что связано с большими капитальными вложениями в освоение месторождений и большими затратами на транспортировку сырья. Все это привело к удорожанию стоимости самого сырья (газа, нефти, угля) и стоимости получаемых из него продуктов (бензина, дизельного топлива, пластических масс, синтетических волокон, синтетических каучуков). Например, средняя себестоимость добычи одного кубометра природного газа возросла за 20 лет в 8–10 раз, а расходы, связанные с его транспортировкой, – в 2–4 раза. В целом капитальные вложения на единицу прироста продукции в добывающей промышленности в 3 раза выше, чем в перерабатывающей.

Дальнейшее развитие химической промышленности будет осуществляться в условиях, при которых сырьевые и энергетические ресурсы уже не могут считаться неисчерпаемыми. Поэтому на каждом

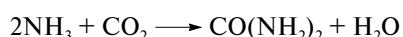
новом этапе развития химии должны быть найдены иные пути экономии сырья и энергии за счет поиска и реализации принципиально новых технологических решений, а также создания высокопроизводительного оборудования и более совершенных производственных систем.

Все сказанное заставляет пересмотреть сложившиеся взгляды, по-новому оценить проблемы бережного комплексного использования сырья, вторичных материальных и энергетических ресурсов, отходов производства.

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЫРЬЯ

Природное сырье в своем составе кроме полезного компонента обычно содержит примеси других веществ, причем количество последних может колебаться в достаточно широких пределах и зачастую во многом превышать содержание полезного компонента. Так, например, количество минеральных примесей (золы) в углях иногда достигает 50%, а в горючих сланцах эти примеси могут составить 95%. Апатито-нефелиновые руды как источник фосфатного сырья содержат лишь 15 мас. % P_2O_5 . Остальные 85% представлены Al_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 и другими компонентами. Поэтому основным направлением в решении проблемы экономии сырья являются разработка и применение комплексных методов его переработки.

Комплексная переработка сырья – это использование всех минеральных составляющих сырья путем превращения их в полезные продукты за счет совмещения нескольких производств внутри одного предприятия. Так, при конверсии природного газа наряду с водородом для синтеза NH_3 получают диоксид углерода, который в процессе синтеза NH_3 не применяется. Поэтому обычно совмещают производство аммиака с получением карбамида (мочевины):



На основе комплексного использования концентратов цветных металлов организовано крупное производство таких металлов, как кадмий, висмут, индий, рений, селен, теллур, а также других рассеянных элементов [2].

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ

С комплексным использованием сырья сопрягаются проблема переработки и утилизации побочных продуктов и отходов производств и применение их в качестве вторичных материальных ресурсов. Почти в каждом химическом производстве кроме целевого продукта образуются вещества, которые не находят применения и идут в отходы производства. Причины появления отходов самые различные: примеси в сырье, низкая селективность сложных реакций, многокомпонентность сырья. В отходы идут также отработанные вспомогательные материалы (катализаторы, растворители, экстрагенты и

др.). На каждом предприятии обычно образуются три вида отходов: жидкие, твердые и газообразные.

Твердые отходы хранятся в отвалах, постепенно накапливаясь на территории предприятия. Их сжигают, закапывают и сбрасывают в старые выработки. Между тем в отвалах содержатся миллионы тонн веществ, которые путем механической, термической или химической обработки можно превратить в полезные продукты.

Интересным примером реализации этой идеи служит использование крупнотоннажного отхода производства целлюлозы – технического гидролизного лигнина. Технический лигнин представляет собой сложный многофазный и полидисперсный твердый материал, в состав которого кроме лигнина входят трудногидролизуемые полисахариды, смолы, гуминовые вещества, влага. Наиболее интересным компонентом этой смеси является сам лигнин – природный полимер, обладающий сложной структурой, содержащей ароматические циклы. Его переработка может проводиться в трех направлениях: 1) использование лигнина после механической и тепловой обработки в натуральном виде; 2) термическая переработка (сжигание); 3) химическое модифицирование.

После сушки и измельчения лигниновая мука применяется в качестве наполнителя пластмасс взамен сажи, древесной муки, а также позволяет полностью исключить из рецептуры каркасных резин остродефицитную белую сажу.

Термическое сжигание нецелесообразно, так как компоненты этого отхода обладают определенными потребительскими свойствами, в частности ярко выраженной сорбционной способностью, которая может быть усилена путем химического модифицирования.

Процессами нитрования, хлорирования и сульфирования лигнин перерабатывается в такие продукты, как коллоидит (аналог активированного угля марки Б), нитролигнин (регулятор структурно-механических свойств бурильных растворов), хлорлигнин (заменитель природных дубителей, адсорбент для извлечения редкоземельных металлов из растворов), лигнофенолформальдегидные смолы (продукт конденсации с фенолом) и т.д.

Отходящие газы содержат такие компоненты, как CO , CO_2 , NO , NO_2 , SO_2 , H_2S . Состав отходящих газов зависит от характера производства. Эти газы отравляют атмосферу, снижают плодородие почвы, губят посевы. Наиболее опасным компонентом отходящих газов считается сернистый ангидрид, который взаимодействует в воздухе с парами воды и выпадает на землю в виде кислотных дождей, что губительно действует на здоровье людей, посевы и постройки. Только промышленные предприятия ежегодно выбрасывают в атмосферу около 160 млн т SO_2 , из них около 70% поставляют теплоэнергетические установки, 15% – предприятия черной и цветной металлургии и 15% – химическая и

нефтеперерабатывающая промышленность. Используя только отходящие газы цветной металлургии, получают серную кислоту – более 25% всего производства ее в стране.

Сточные воды, сбрасываемые в водоемы, содержат вредные органические и неорганические вещества. Они снижают содержание кислорода в воде, губительно действуют на флору и фауну водоемов. Таким образом, проблема отходов тесно связана с защитой окружающей среды.

Справедливо считают, что в химической промышленности не должно быть отходов. Любые отходы – это химические вещества, которые могут и должны стать сырьем для получения различных продуктов. Поэтому отходы следует рассматривать как вторичные материальные ресурсы. В последние годы благодаря развитию науки и техники постоянно расширяется номенклатура используемых отходов в химической промышленности. В настоящее время в нашей стране за счет использования вторичного сырья производится около 30% стали и 20% цветных металлов. Необходимо отметить, что энергоемкость производства алюминия из вторичного сырья в 20 раз, а стали в 10 раз ниже, чем энергоемкость их производства из первичного. Капитальные вложения при переработке вторичного сырья примерно в четыре раза меньше, чем при переработке первичного.

ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

Наиболее универсальным и ценным сырьем для химической и нефтехимической промышленности являются горючие полезные ископаемые: нефть, уголь, природные и попутные газы. Но эти полезные ископаемые являются одновременно и первичными источниками энергии. Нефть остается основным компонентом энергетического баланса и главным источником получения моторных топлив. Мировые мощности по переработке нефти составляют более 4 млрд т/год, что обеспечивает в развитых странах почти 40% всей вырабатываемой энергии. Из этого количества энергии на долю моторных топлив в зависимости от глубины переработки в различных регионах мира приходится от 35 до 70% [3]. В связи с израсходованием наиболее крупных и легкодоступных месторождений нефти и газа встал вопрос: как разумно распределить оставшиеся ресурсы сырья и обеспечить человечество необходимым количеством энергии? До последних лет прирост энергетических ресурсов шел в основном за счет увеличения доли нефти и газа в топливно-энергетическом балансе. Однако в России в 90-х годах начался спад производства [3], переросший в глубокий энергетический кризис (табл. 1). Поэтому возникла необходимость перестройки топливно-энергетического баланса.

В решении топливно-энергетических проблем можно наметить два направления: углубление пере-

Таблица 1. Баланс нефти и конденсата, млн т

Статья баланса	1985 г.	1990 г.	1993 г.	1995 г.	Прогноз	
					2000 г.	2010 г.
Производство	610	516	354	307	284	290
Экспорт	290	201	137	113	104	100
Потребление	320	315	217	194	180	190

работки нефти и газа и вовлечение угля и природного газа в производство альтернативных топлив.

УГЛУБЛЕННАЯ ПЕРЕРАБОТКА НЕФТИ

Если 10–20 лет назад потребности народного хозяйства в моторных топливах, смазочных материалах, химическом сырье удовлетворялись за счет увеличения объема переработки нефти, то сейчас с ростом себестоимости ее добычи такой подход нерационален. Предусматривается создание более совершенной технологии переработки нефти, в которой выход ценных светлых продуктов увеличился бы за счет уменьшения доли тяжелых остатков в виде мазутов, гудронов, вакуум-остатков и т.д. В современных условиях это наиболее экономичный путь. Глубокая химическая переработка этих остатков с помощью таких деструктивных процессов, как гидрокрекинг, гидрогенизация и коксование, увеличивает выход жидкого топлива и ресурсы сырья для нефтехимии без увеличения нефтедобычи.

Показатель глубины переработки нефти в нашей стране составил в 1995 году 65%. По сравнению с промышленно развитыми зарубежными странами этот показатель оставляет желать лучшего. Для нормального функционирования нашей экономики необходимо увеличить его к 2000 году не менее чем до 80% [4]. Для этого необходимо повысить мощности деструктивных гидрогенизационных процессов и постепенно осуществлять переход к переработке нефти по углубленным технологическим схемам.

ПРОИЗВОДСТВО АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВ

Проблема сокращения расхода нефтепродуктов на топливные цели может быть решена путем замены мазута в большой энергетике природным газом и угле-водно-мазутными смесями, применением сжатого и сжиженного природного газа на транспортных средствах, введением в состав бензинов метанола и его производных и получением через метанол моторных топлив. Часть этих задач должна решаться путем создания соответствующих конструкций двигателей, но основная роль принадлежит химии. Предстоит создать крупные типовые заводы по производству метанола, разработать катализаторы и технологические процессы получения метанола, обогащенного высшими спиртами, присутствие которых стабилизирует метанолабензиновые смеси. Метанол повышает октановое число бензина, улучшает процесс сгорания топлива, является дешевой

и доступной добавкой к топливу. Для производства метанола используют синтез-газ, который может быть получен газификацией нефтяных остатков, природного газа, угля, а в перспективе, по-видимому, и газификацией древесины и сельскохозяйственных отходов. С использованием метанола разработано производство многих ценных продуктов: белково-витаминных концентратов, эфиров *трет*-бутилового спирта, которые служат высокооктановой добавкой к бензинам, растворителей, пластификаторов, лекарственных препаратов и т.д.

В качестве топлива для автомашин планируется использование попутного газа и водорода. Химики принимают активное участие в создании прочных и легких топливных баков для сжиженных газов, разрабатывают новые катализаторы, позволяющие при умеренных температурах (в активной зоне атомных реакторов) разлагать воду на элементы. Таким образом, задача обеспечения химической и нефтехимической промышленности сырьем решается путем замены части нефтепродуктов, используемых в качестве топлив, на синтетические топлива за счет глубокой комплексной переработки нефти и попутного газа. Это позволит увеличить объем производства мономеров и исходных веществ для промышленного органического синтеза без увеличения добычи углеводородного сырья.

ПРИМЕНЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО СЫРЬЯ

Новой ступенью в развитии химических производств будут создание и постепенный переход на каталитические процессы, основной сырьевой базой которых станут природный газ и уголь. Запасы этих видов сырья (особенно последнего) велики.

Ведутся исследования по разработке технологии производства метанола, которая позволит многие важнейшие продукты, производимые из нефтяного бензина через этилен (рис. 1), получать непосредственно из синтез-газа или через метанол (рис. 2, 3). Это открывает возможность развития промышленности органического синтеза на основе альтернативного нефти сырья – угля и природного газа. Такая возможность существовала и раньше, поскольку процессы газификации угля и конверсии метана в синтез-газ давно применяются в промышленной химии. Однако низкий уровень техники и технологии ограничивал это направление химического превращения угля и природного газа лишь производством аммиака и метанола.

Современные достижения в области металлокомплексного катализа позволяют в относительно мягких условиях получать из метанола и синтез-газа такие продукты нефтехимии, как этанол, этиленгликоль, ацетальдегид, низшие олефины, ароматические углеводороды, винилацетат, уксусная кислота, уксусный ангидрид.

Проблему сырья нельзя решать в отрыве от использования других видов ресурсов, обеспечивающих нормальное функционирование химико-технологических систем (ХТС). Это объясняется взаимосвязанностью и взаимообусловленностью протекающих в ХТС процессов, вследствие чего изменение одного элемента системы приводит к соответствующим изменениям других. На рис. 4 показаны основные подсистемы ХТС, то есть совокупность процессов и аппаратов, объединенных единой технологической целью. Сырье последовательно проходит каждый элемент (процесс, аппарат) системы,

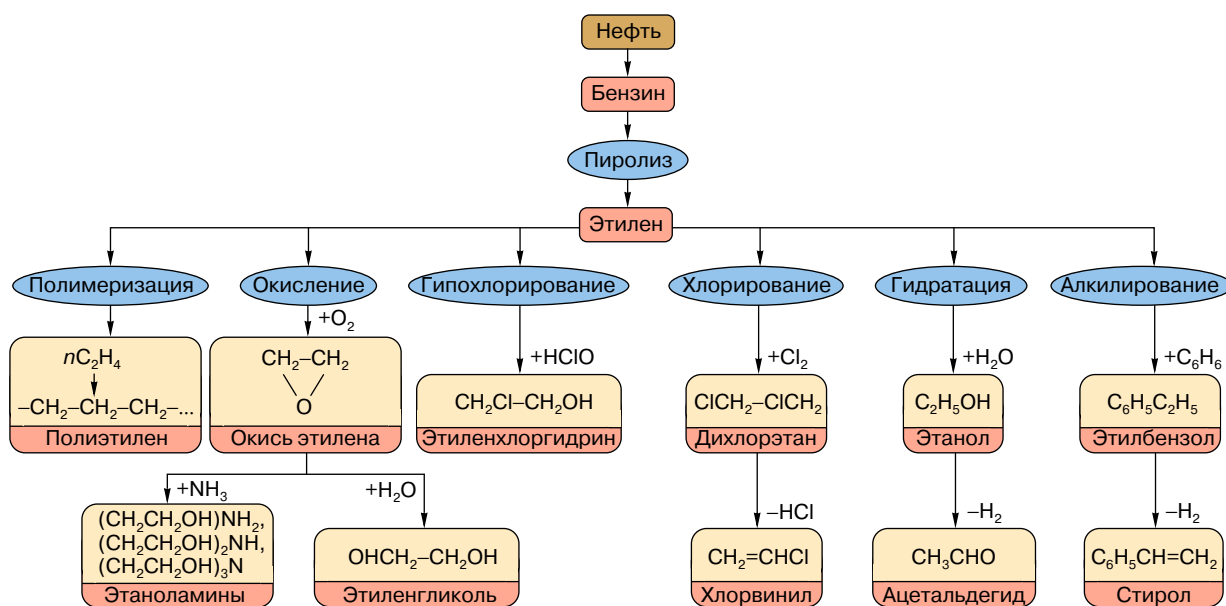


Рис. 1. Производство нефтехимических продуктов из нефти через этилен

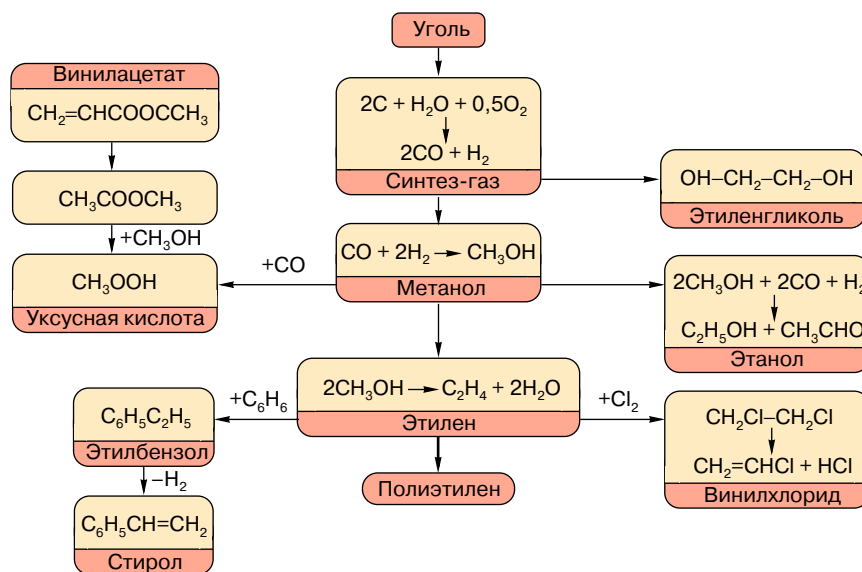


Рис. 2. Производство химических продуктов из угля и синтез-газа

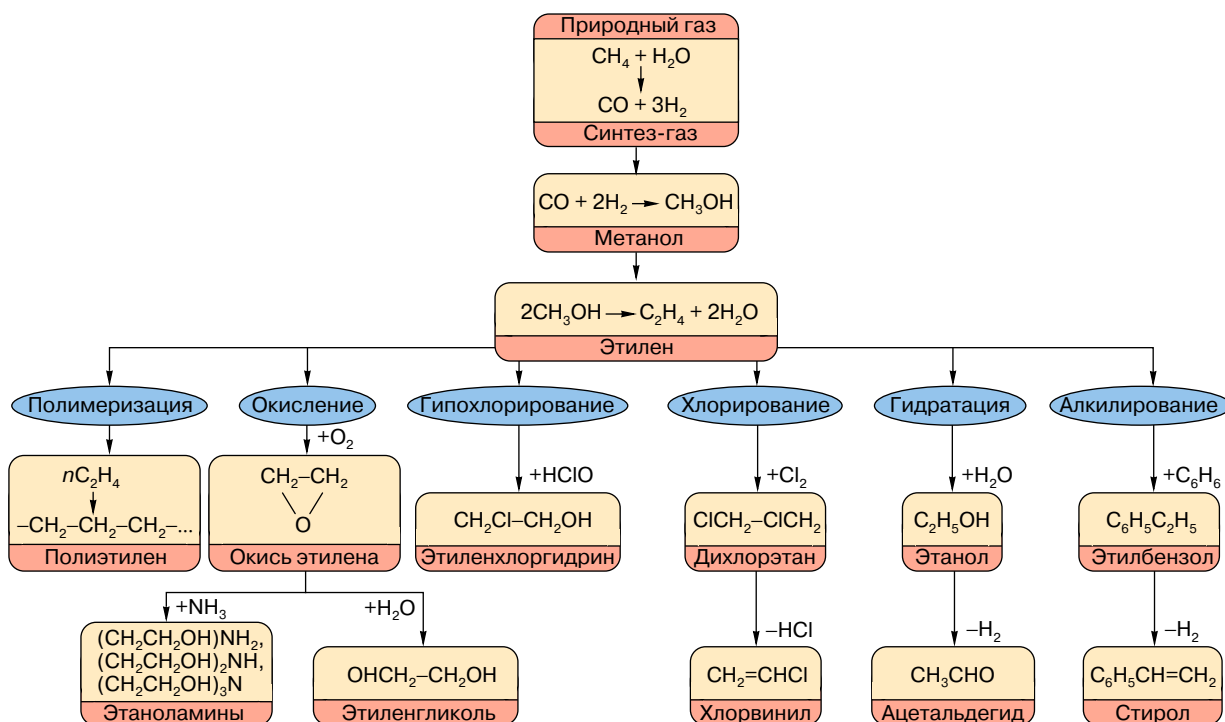


Рис. 3. Производство химических продуктов из природного газа через синтез-газ

постепенно превращаясь в товарный продукт. Естественно, что от уровня технологичности сырья будут зависеть затраты на всех стадиях его обработки.

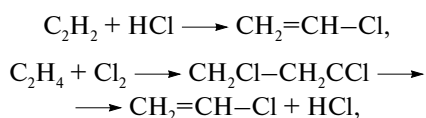
Современный уровень научно-технического прогресса и особенности ХТС позволяют применять различные варианты технологических процессов: на

одном и том же оборудовании можно осуществлять различные технологические процессы и один и тот же процесс можно проводить на различном оборудовании. Один и тот же продукт может быть получен из разных видов сырья или одного и того же сырья по разным технологическим схемам. Так,

Таблица 2. Сравнительные показатели производства ацетилена

Показатель процесса	Пиролиз метана в плазме	Электрокрекинг метана	Термоокислительный пиролиз метана
Конверсия метана, мас. доля	0,9	0,7	0,9
Селективность, мас. доля	0,8	0,5	0,3
Концентрация ацетилена в пирогазе, %	23	14	9
Доля полезно используемой энергии, %	45	35	35
Чистота получаемого водорода, %	95	75	65
Выход гомологов ацетилена, отн. ед.	60	200	100
Выход ароматических соединений, отн. ед.	5	120	100
Себестоимость ацетилена, отн. ед.	65	110	100
Затраты электроэнергии на 1 кг ацетилена, кВт·ч	9	14	4
Капитальные затраты, отн. ед.	60	70	100

хлорвинил можно получить используя в качестве сырья ацетилен, этилен и этан:



Ацетилен можно получать из природного газа по разным технологическим схемам, отличающимся способом активации системы (подвода энергии) и конструкцией реактора. Очевидно, что различные технологические процессы, используемые для получения одного и того же продукта, будут отличаться своими показателями (табл. 2).

Выбор сырья для проектируемого процесса будет определяться уровнем эффективности использования основных видов ресурсов. Создание нового продукта начинается с исследования возможных схем получения молекулы заданной структуры, так как химическая реакция определяет вид (виды) используемого сырья. Следующим этапом является систематизация реакций по признакам условий проведения процесса, используемых типов катализаторов, методов подготовки сырья и способов выделения

целевого продукта из реакционной смеси. Далее следует операция отбраковки вариантов, для которых непригодность по тому или иному критерию очевидна. Оставшиеся варианты принимаются к дальнейшей разработке, первым этапом которой становится лабораторное исследование. В результате исследования могут быть получены первичные данные (скорость реакции, конверсия, селективность) для определения необходимых оценок сопоставляемых альтернативных процессов. Расчет себестоимости, показателя приведенных затрат, показателя эффективности использования ресурсов позволяет сделать окончательный выбор.

При отбраковке альтернативных вариантов сырья следует учитывать ожидаемый объем производства, содержание полезного компонента в сырье, величину конверсии и селективности, скорость реакции, количество побочных продуктов и их чистоту, число химических стадий, стоимость и доступность сырья, ресурсоемкость, наличие стоков и выбросов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Караханов Э.А.* Что такое нефтехимия // Соросовский Образовательный Журнал. 1996. № 2. С. 65–73.
2. *Кутепов А.М., Бондарева Т.И., Беренгартен М.Г.* Общая химическая технология. М.: Высш. шк., 1990. 520 с.
3. Инженерно-химическая наука для передовых технологий / Под ред. В.А. Махлина. М.: АОЗТ "Просветитель", 1997. Вып. 3. 295 с.
4. *Лемаев Н.В.* // Журн. Всесоюз. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева. 1989. Т. 34, № 6. С. 580–585.

* * *

Харлампий Эвклидович Харлампиди, доктор химических наук, профессор Казанского государственного технологического университета, зав. кафедрой общей химической технологии. Лауреат государственной премии по науке и технике Республики Татарстан. Область научных интересов – исследования в области кинетики, катализа и механизма органических реакций, моделирование и оптимизация промышленных процессов. Автор более 160 научных трудов и одного учебника для вузов.

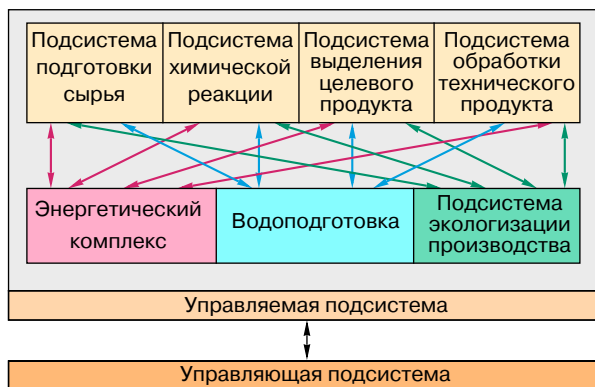


Рис. 4. Основные подсистемы ХТС