

**Хлобжева И.Н., Крекалева Т.В.**

**Лекционный курс  
«Ресурсосберегающие процессы  
в химической технологии»**

**Волжский**

**2023**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хлобжева И.Н., Крекалева Т.В.

**Лекционный курс**  
**«Ресурсосберегающие процессы**  
**в химической технологии»**

*Электронное учебное пособие*



2023

УДК 66 (07)  
ББК 24я73  
Х 57

Рецензенты:

канд. тех. наук, начальник лаборатории химической обработки труб и  
материалов АО «ВТЗ»

*Морозова М.С.;*

Генеральный директор ООО «Комед»

*Володин Д.С.*

Издается по решению редакционно-издательского совета  
Волгоградского государственного технического университета

Хлобжева, И.Н.

Лекционный курс «Ресурсосберегающие процессы в химической технологии» [Электронный ресурс] : учебное пособие / И.Н. Хлобжева, Т.В. Крекалева ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, ВПИ (филиал) ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 2,5 МБ). – Волжский, 2023. – Режим доступа: <http://lib.volpi.ru>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-9948-4747-3

Учебное пособие предназначено для оказания методической помощи студентам, при изучении ими общих вопросов в области ресурсосбережения опасных производственных объектов.

Учебное пособие способно оказать влияние на изучение дисциплин: «Ресурсосберегающие процессы в химической технологии», «Промышленная экология» и др., а также для выполнения выпускной квалификационной бакалаврской работы и магистерской диссертации.

Илл. 6, табл. 4, библиограф.: 21 назв.

ISBN 978-5-9948-4747-3

© Волгоградский государственный  
технический университет, 2023

© Волжский политехнический  
институт, 2023

|    | Содержание                                                                             | Стр. |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------|------|
|    | Введение                                                                               | 4    |
| 1  | Теоретические основы ресурсосбережения                                                 | 5    |
| 2. | Сырьё в химической промышленности. Комплексное<br>использование сырья                  | 10   |
| 3  | Принципы организации производственных процессов                                        | 28   |
| 4. | Порядок установления показателей ресурсосбережения<br>в документации                   | 32   |
| 5  | Расчёт расхода материальных и энергетических<br>ресурсов на осуществление производства | 39   |
| 6  | Малоотходные и ресурсосберегающие технологии                                           | 50   |
|    | Список литературы                                                                      | 61   |

## **Введение**

В настоящее время перед человечеством стоит ряд глобальных проблем, от успешного решения которых зависит безопасность общества и стабильность экономики. Наиболее эффективный путь решения обозначенных проблем – это применение безотходных и ресурсосберегающих технологий.

В современных условиях работы предприятий, направленных на ускорение обновления продукции и повышения ее качественных характеристик, приводит к тому, что возрастает потребность в ресурсах, и практически каждое предприятие сталкивается с проблемой дефицита тех или иных их видов, что обуславливает необходимость эффективного и рационального их использования.

Поэтому вопросы ресурсосбережения являются одной из главных задач для стратегического управления путем реализации в деятельности предприятия достижений научно-технического прогресса и применения современных методов управления.

## **Тема 1. Теоретические основы ресурсосбережения**

Формирование системы управления ресурсосбережением (УР) является первоочередной задачей, позволяющей обеспечить реализацию всех составляющих УР: повысить эффективность производства, решить социальные проблемы, сохранить окружающую природную среду.

Любой процесс, связанный с производством, предоставлением услуг, реализацией продукции и т.д., требует определенных ресурсов. Именно ресурсы определяют большую составляющую в затратах на производство, качество ресурсов тесным образом связано с качеством предоставления услуг, использование природных ресурсов и технологические процессы, связанные с производством товаров, негативно влияют на состояние природной сферы.

Ресурсосбережение является одним из приоритетных направлений развития народного хозяйства. Это обусловлено следующими объективными факторами:

- 1) существенное увеличение затрат на добычу и производство энергетических ресурсов, что, в частности, объясняется перемещением добычи органического топлива в восточные и отдаленные труднодоступные районы с суровыми природно-климатическими условиями, где слабо развита инфраструктура;
- 2) значительное увеличение мировых цен на нефть и газ;
- 3) обеспечение прироста промышленного и сельскохозяйственного производства, которое на 75-80 % должно удовлетворяться за счет экономии энергоресурсов;
- 4) наличие больших потенциальных возможностей снижения непроизводительных потерь топлива и энергии.

Первоочередные мероприятия по совершенствованию государственного регулирования ресурсосбережения предусматривают повышение эффективности рыночных механизмов регулирования экономики

в части снижения ресурсоемкости товарной продукции. Эти мероприятия включают:

- 1) создание системы стандартизации ресурсосбережения и использования вторичного сырья;
- 2) расширение масштабов применения в целях ресурсосбережения природоохранных механизмов;
- 3) введение ресурсосберегающих требований и важнейших нормативных документов, регламентирующих разработку научно-технических и инновационных мероприятий, что позволит формировать ресурсосберегающую политику еще на стадии разработки программ или проектной документации;
- 4) введение аналогичных требований в нормативную документацию, регламентирующую осуществление государственной экспертизы;
- 5) применение ограничений на потребление топлива, электроэнергии, другой продукции в целях экономии бюджетных расходов;
- 6) формирование отраслевых инструментов стимулирования ресурсосбережения;
- 7) совершенствование статистического и информационного обеспечения, включая создание и ведение баз данных по ресурсосберегающим технологиям, а также по технологиям переработки вторичного сырья.

Ресурсосбережение представляет собой процесс рационализации использования материально-технических, трудовых, финансовых, природных и других ресурсов преимущественно на базе интенсификации производства с целью получения продукции с наилучшими качественными показателями и минимумом затрат.

Ресурсосбережение включает блоки мероприятий технических, технологических, организационных и экономических. Технические и технологические направления ресурсосбережения отработаны значительно

лучше, чем экономические, и выражаются в многочисленных конкретных мероприятиях.

Под экономическим механизмом ресурсосбережения понимается система взаимосвязанных экономических элементов, направленных на анализ использования и стимулирование экономии материально-технических, в том числе и топливно-энергетических, трудовых и финансовых ресурсов, внедрение ресурсосберегающих мероприятий, а также обеспечение производства сельскохозяйственной продукции с минимальными затратами всех ресурсов в денежном и натуральном исчислении.

*Ресурсосбережение* как вид деятельности направлено на рациональное использование и экономию ресурсов, в результате реализуются интересы государства, регионов и компаний, местных администраций, общественных организаций, населения.

Несмотря на разнообразие понятия ресурсосбережения, их объединяет общая цель рационального использования ресурсов, их экономное использование. Поэтому предлагается рассмотрение сущностного содержания этого термина с позиции устойчивого развития хозяйствующего субъекта. Такая трактовка определения «ресурсосбережения», прежде всего, позволяет рассматривать в комплексе все процессы, связанные с потреблением и расходованием ресурсов с позиций их влияние на обеспечение устойчивого развития хозяйствующего субъекта.

Ресурсосбережение – это процесс управления ресурсами, направленный на реализацию концепции устойчивого развития компании за счет снижения потерь и затрат во всех основных и обеспечивающих процессах по созданию ценности продукта/услуг при бережливом отношении к природным ресурсам.

Таким образом, проблема ресурсосбережения превратилась в одну из важнейших общегосударственных проблем и становится одной из сфер целенаправленной деятельности государства. Основной задачей

ресурсосбережения как науки является экономия материальных ресурсов. Экономить материальные ресурсы можно по-разному: можно их меньше тратить (для этого устанавливают нормы), а можно внедрять новые технологии.

Усиление потребления материальных ресурсов вызывается усилением технического развития мира. Причинами увеличения расхода материальных ресурсов являются:

- 1) увеличение объема производства;
- 2) значительное истощение материальных ресурсов в освоенных районах;
- 3) перенос добычи материальных ресурсов в труднодоступные районы.

Ценовая политика, способствующая ресурсосбережению, должна обеспечить регулирование цен на материально-технические ресурсы, поставляемые агропромышленному комплексу, на услуги обслуживающих и перерабатывающих предприятий, а также на сдаваемую хозяйствами продукцию.

Управление ресурсосбережением, следовательно, будет направлено на повышение эффективности функционирования производственной системы путем рационального использования всех видов ресурсов, способствующие минимизации издержек, ликвидации потерь, повышения качества продукции.

Производственный процесс по созданию продукции связан с вовлечением различных экономических ресурсов, которые принято называть факторами производства.

К факторам производства можно отнести:

- предметы труда;
- средства производства (которые могут быть задействованы для создания благ);
- труд (человеческие ресурсы компании);
- капитал (финансовые ресурсы), используемый в производственном процессе;

- а также условия производства продукции, в т.ч. и нематериальные активы (НМА) – ценности, используемые предприятием, которые способны приносить доход компании.

*Предметы труда* – материалы, продукты, комплектующие и т.д., видоизменяемые человеческими ресурсами в производственном процессе в готовый продукт.

*Средства труда* – совокупность орудий труда и средств производства, которые используются в производстве для воздействия на предметы труда в соответствии с целями и потребностями производства.

*Труд* – деятельность человеческих ресурсов, направленная на преобразование предметов труда с помощью средств труда в готовый продукт (услугу).

Таким образом, вовлеченность всех факторов производства способствуют достижению стратегической цели компании – повышение отдачи на вложенные ресурсы и эффективное их использование.

Учитывая роль усиления конкуренции на отраслевых рынках современной экономики России, есть все причины утверждать, что развитие отраслей промышленности на основе ресурсосберегающих механизмов является наиболее эффективным и оптимальным, способствующим их экономическому росту и обеспечивающим высокую конкурентоспособность.

Предприятия, работающие в рыночных условиях, заинтересованы в снижении потребления различных видов ресурсов, приводящих не только к снижению издержек, но и повышению уровня конкурентоспособности продукции. Это особенно становится актуально в складывающихся конкурентных отношениях, где жесткая конкурентная борьба заставляет производителей искать новые стратегии по завоеванию и удержанию своего потребителя.

Ресурсосбережение выражается в том, что происходит уменьшение расходования все видов ресурсов, задействованных в производственном процессе (материальных, трудовых и специальных) при увеличении выпуска продукции

## Тема 2. Сырье в химической промышленности.

### Комплексное использование сырья

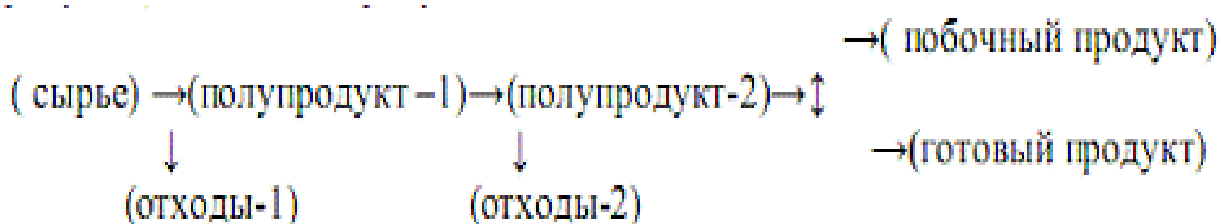
Сырье – это основной элемент производства, от которого в значительной степени зависят экономичность производства, выбор технологии и аппаратуры и качество производимой продукции. *Сырьем* называются природные материалы, используемые в производстве промышленных продуктов. С точки зрения использования сырья характерными особенностями химического производства являются:

1) многовариантность сырьевой базы, включающей сырьевые ресурсы, добываемые из недр (фосфатное сырье, калийные соли, сера, природный газ, нефть, уголь), сельскохозяйственную продукцию, воздух и воду, а также продукты переработки природного сырья в химических производствах (фторсодержащие газы, сульфаты, фосфогипс и др.) и в смежных отраслях (например, отходящие газы цветной металлургии, нефтепереработки, коксохимии);

2) широкие возможности комплексного использования одних и тех же видов сырья для получения различных химических продуктов;

3) многообразие методов химической переработки, позволяющих получать из одного и того же сырья широкую гамму химических продуктов.

В химическом производстве на различных стадиях переработки можно выделить следующие материальные объекты: исходные вещества или собственно сырье, промежуточные продукты (полупродукты), побочные продукты, конечный или готовый продукт и отходы.



*Полупродуктом* называется сырье, подвергшееся обработке на одной или нескольких стадиях производства, но не потребленное в качестве готового целевого продукта. Полупродукт, полученный на предыдущей стадии производства, может быть сырьем для последующей стадии, например:

*Каменный уголь→обратный коксовый газ→водород→аммиак*

*Побочным продуктом* называется вещество, образующееся в процессе переработки сырья наряду с целевым продуктом, но не являющееся целью данного производства. Побочные продукты, образующиеся при добыче или обогащении сырья, называются попутными продуктами.

*Отходами производства* называются остатки сырья, материалов и полупродуктов, образующихся в производстве и полностью или частично утративших свои полезные качества.

Полупродукты химической переработки исходного сырья, в свою очередь, служат сырьем для получения других веществ. В практике, однако, полупродукт может быть готовым продуктом для предприятия, изготавливающего его, и сырьем для предприятия, потребляющего этот полупродукт. Так, серная кислота, полученная на предприятиях цветной металлургии, является готовой продукцией для этих заводов и сырьем для получения минеральных удобрений, в частности фосфорных.

Сырье химической промышленности классифицируют по различным признакам (рисунок 1): по происхождению – минеральное, растительное и животное; по запасам – невозобновляемое (руды, минералы, горючие ископаемые) и возобновляемое (вода, воздух, растительное и животное сырье); по химическому составу – неорганическое (руды, минералы) и органическое (нефть, природный газ, уголь), по агрегатному состоянию – твердое (руды, минералы, уголь, сланцы, торф), жидкое (вода, рассолы, нефть) и газообразное (воздух, природный газ).

Кроме того, сырье можно подразделить на первичное (минеральное, растительное и животное, горючие ископаемые, вода и воздух) и вторичное

(промышленные и потребительские отходы), а также на природное и искусственное (кокс, химические волокна, синтетический каучук, синтетические красители, смолы и т.п.).

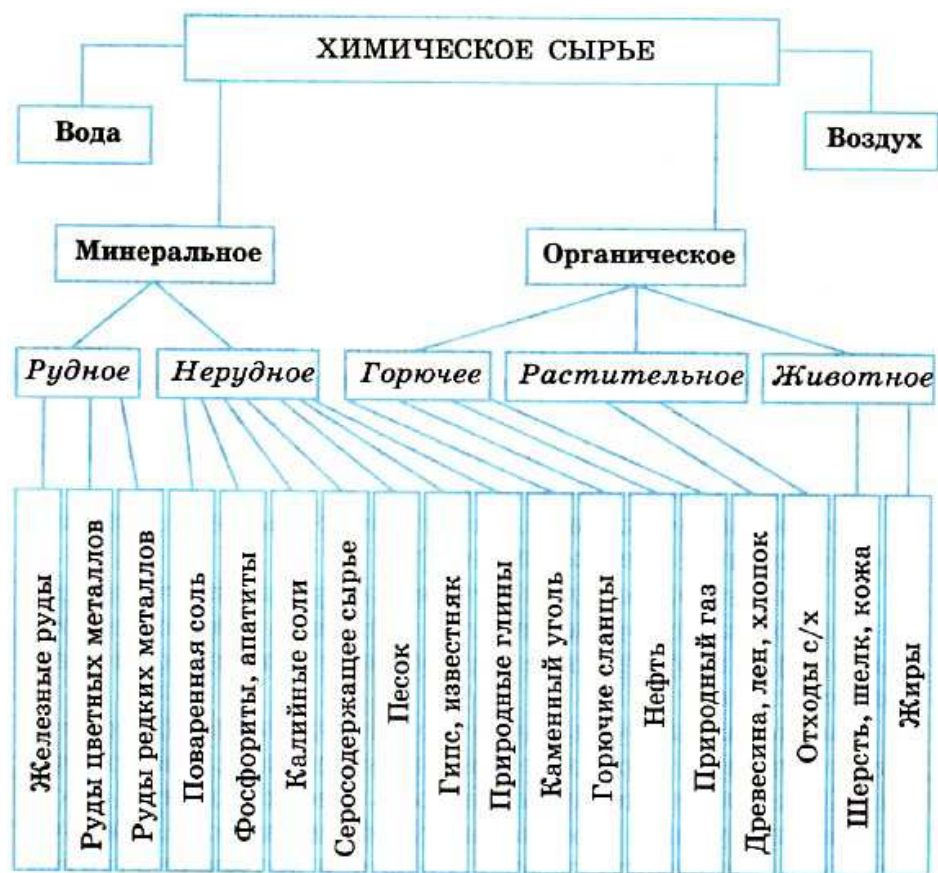


Рисунок 1 – Виды сырья в химическом производстве

Ресурсы естественные (природные) – важнейшие компоненты окружающей человека естественной среды, используемые для удовлетворения материальных, энергетических и культурных потребностей общества (ресурсы животного мира, земельные, лесные, водные, рекреационные, эстетические и др.).

Минеральное сырье включает рудное (металлическое), нерудное и горючее (органическое). Рудное сырье – это железные, медные, хромовые, титановые и другие руды, содержащие в основном оксиды и сульфиды металлов. Руды, в состав которых входят соединения разных металлов, называют полиметаллическими. Нерудное сырье – поваренная соль, фосфориты, апатиты, гипс, известняк, песок, глина, асбест, слюда, сера и др.

Горючие ископаемые – торф, бурые и каменные угли, сланцы и природный газ. Они состоят из органических соединений и используются в качестве сырья и энергоресурсов.

Деление по признаку использования условно, так как один и тот же ресурс (например, вода в озере) может быть использован как для промышленных, сельскохозяйственных и рыбоводческих нужд, так и для рекреационных целей.

Однако при этом часто действует правило интегрального ресурса, согласно которому использование его в одних целях затрудняет или полностью исключает использование в других. Так, если в водоем спускаются отходы промышленного производства, то это затрудняет использование его для питья или для разведения рыбы. Поэтому по каждому конкретному ресурсу необходимо принимать решение, какой из планируемых видов его использования принесет наибольшую пользу при минимизации вреда окружающей среде. Многие исследователи обращают внимание на то, что чем выше уровень использования извлеченных природных ресурсов, тем ниже уровень загрязнения окружающей природной среды (ОПС). Например, ртуть, свинец, радиоактивные элементы не приносят вреда, пока их месторождения не разрабатывают. Однако если их извлечь и использовать не полностью, то вся неутилизированная часть (отходы производства) превращается в загрязняющие окружающую среду вещества.

При осуществлении хозяйственной деятельности важно иметь достаточно четкую информацию о ресурсообеспеченности. Ресурсообеспеченность – это соотношение между величиной природных ресурсов и размерами их использования. Она выражается либо количеством лет, на которое должно хватить данного ресурса, либо его запасами из расчета на душу населения. Основной особенностью месторождений природных ресурсов является то, что объектами оценки могут выступать запасы минеральных ресурсов и отдельные материальные объекты в

пределах участков недр или месторождений полезных ископаемых в целом, а также комплекс прав пользования недрами.

Добыче природных минеральных и энергетических ресурсов, как правило, сопутствуют такие технологические операции, как обогащение руд, извлечение других компонентов и т.д. В результате формируются технологические системы добычи и переработки природных ресурсов, такие как *открытые, полужакрытые и закрытые*. *Открытая система* добычи и переработки представляет собой экстенсивный тип, отличающийся низким выходом готовой продукции на единицу минеральных ресурсов, высоким уровнем загрязнения воздуха, воды, накоплением значительных объемов твердых отходов. При ее использовании не обеспечивается эффективная очистка сбрасываемых газовых, жидких отходов, и выполнение санитарных норм качества окружающей среды достигается за счет разбавления сточных вод и воздушных выбросов в природных водоемах и в атмосфере с надеждой на их самоочищение. *Полуоткрытая система* построена на принципах малоотходного производства и предусматривает создание и эксплуатацию очистных сооружений, хвостохранилищ, организацию частичного водооборота в замкнутом производстве, а также выделение в попутную продукцию многих ценных компонентов, сопутствующих основному добываемому элементу. *Закрытая система* предусматривает использование технологий рациональной переработки минерального сырья, которые обеспечивают:

- рентабельное выделение минеральных веществ из газообразных и жидких отходов;
- утилизацию рудовмещающих пород в виде удобрений, коагулянтов, строительных материалов;
- извлечение ценных компонентов из техногенных твердых минеральных образований;
- переработку бедного минерального сырья и замену процессов обогащения на прямую переработку сырья.

Пример замкнутой системы – добыча и переработка бокситов с получением глинозема и утилизацией красных шламов по серно- и азотнокислотной схемам. Обеспечивается извлечение из сырья урана, скандия, алюминия, получение строительных материалов, коагулянтов и пигментов (сернокислотная схема) или нитратных удобрений и железного концентрата для агломерации (азотнокислотная схема). Выход готовой продукции составляет 100-200 % от массы переработанного минерального сырья, обеспечивается получение чистой воды питьевого качества, добыча минеральных веществ из воздушных выбросов.

Сырье для химического производства должно обеспечивать:

- малостадийность производственного процесса;
- агрегатное состояние системы, требующее минимальных затрат энергии для создания оптимальных условий протекания процесса;
- минимальное рассеяние подводимой энергии;
- минимальные потери энергии с продуктами;
- возможно более низкие параметры процесса (температура, давление) и расход энергии на изменение агрегатного состояния реагентов и осуществление химико-технологического процесса;
- максимальное содержание целевого продукта в реакционной смеси;
- рациональное использование сырья.

В себестоимости химической продукции доля сырья достигает 70%, поэтому проблема ресурсов и рационального использования сырья при его переработке и добыче весьма актуальна.

### **Вторичные материальные ресурсы**

Существенным источником химического сырья являются вторичные материальные ресурсы (ВМР). Вторичные материальные ресурсы полностью или частично заменяют первичные сырье и материалы в производстве продукции. Химическая промышленность, таким образом, выступает не только как потребитель природных ресурсов, но и как отрасль, сберегающая

природное сырье. Так, например, средний уровень использования отходов в России составляет около 26 %, в том числе промышленные отходы перерабатываются на 35 %, твердые бытовые отходы (ТБО) – на 3-4 %, остальные отходы практически не перерабатываются.

К ним относятся отходы производства, отходы потребления и побочные продукты.

*Отходами производства* называют остатки сырья, материалов и полупродуктов, образующиеся в процессе производства продукции, которые частично или полностью утратили свои качества и не соответствуют стандартам (техническим условиям).

В зависимости от свойств и состава выделяют три основные группы отходов предприятий химической и нефтеперерабатывающей промышленности:

- 1) близкие к исходному сырью;
- 2) близкие к целевым продуктам;
- 3) близкие к сырью других производств или отраслей.

*К первой группе* относятся отходы, из которых можно извлечь непрореагировавшее сырье или промежуточные продукты и вернуть их обратно в цикл. *Ко второй группе* принадлежат отходы, которые путем определенных операций могут быть доведены до товарных кондиций. *Третья группа* включает в себя отходы, пригодные для переработки в других отраслях.

*Особую группу* составляют безвредные или обезвреженные в результате тех или иных процессов отходы, направляемые непосредственно в окружающую среду, их можно выбрасывать в атмосферу, закапывать либо затоплять в морях и океанах.

*Отходами потребления* называют различные бывшие в употреблении изделия и вещества, восстановление которых экономически нецелесообразно, например, полностью изношенные, выбывшие из строя машины, изделия производственного назначения из стекла, резины и пластмасс, отработанные

реактивы, катализаторы и т.п. (отходы промышленного потребления) или пришедшие в негодность изделия домашнего обихода и личного потребления (отходы бытового потребления).

*Отходы химической промышленности* подразделяют, в свою очередь, по видам производств: отходы сернокислотного производства, гальванического производства и т.д.

Классификация отходов по составу и физико-химическим свойствам:

- органические и минеральные;
- металлические и неметаллические;
- химически инертные и химически активные;
- горючие и негорючие;
- растворимые в воде и нерастворимые и т.д.

В этом перечне приведены основные физико-химические свойства отходов, определяющие правила обращения с ними и варианты утилизации. В зависимости от специфики отходов список может быть расширен.

Классификация отходов по возможности применения:

- отходы, подлежащие использованию в качестве вторичных ресурсов;
- отходы, которые на данном этапе развития науки и технологий использовать нецелесообразно, данный вид отходов представляет собой безвозвратные потери.

В соответствии с ФЗ «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ в России разработан Федеральный классификационный каталог отходов (классификатор), в котором отходы систематизированы по происхождению, химическому составу и экологической опасности. Каждому виду отходов присвоен идентификационный код.

Принадлежность образующихся на предприятии отходов к той или иной группе классификационного каталога определяется расчетным путем, если известны ПДК веществ, содержащихся в отходах. Классификация определяет возможные виды деятельности по обращению с отходами:

подлежат вторичному использованию или нет, можно сжигать или нельзя и т.д. Если данных для расчета недостаточно, прибегают к экспериментальным методам исследования отходов.

Таким образом, некоторые виды отходов можно применять как вторичные и материальные ресурсы в следующих областях:

- в хозяйственных целях без переработки

(например, в качестве стройматериалов при отсыпке и ремонте дорог, планировке местности, в качестве наполнителей и т.д.);

- в качестве сырья

(лом может заменить руду, макулатура – древесину);

- в качестве энергоресурсов

(например, получение биогаза из органических отходов, изготовление топливных брикетов из древесных отходов).

Раздельный сбор отходов расширяет возможности их использования как вторичных ресурсов.

Побочные продукты образуются в процессе переработки сырья наряду с основными продуктами производства, но не являются целью производственного процесса. Однако побочные продукты, как правило, могут быть использованы в качестве готовой продукции. Они в большинстве случаев бывают товарными, на них имеются ГОСТы или ТУ. Побочные продукты, которые получают при добыче или обогащении основного сырья, принято называть попутными продуктами (например, попутный газ). Побочные и попутные продукты данного процесса, как правило, являются целевыми продуктами для другого производства.

Комплексная переработка сырья увеличивает степень его использования путем утилизации побочных продуктов и отходов и превращения их в полезные продукты, а также совмещением нескольких производств внутри одного предприятия. Так, при конверсии природного газа получают, наряду с водородом (для синтеза  $\text{NH}_3$ ), диоксид углерода,

который в процессе синтеза  $\text{NH}_3$  не применяется. Поэтому обычно совмещают производство аммиака с получением карбамида (мочевины):



Комплексное использование сырья широко применяется при переработке твердых топлив (угля, сланцев), нефти, руд цветных металлов, горно-химического и растительного сырья. Например, в коксохимической промышленности, наряду с коксом, получают и другие продукты (коксовый газ, смолу), химическая переработка которых позволяет производить многие органические соединения, а также сырье для азотной промышленности.

### **Принципы обогащения сырья**

Методы обогащения твердых материалов весьма разнообразны, они основаны на различии физических и химических свойств веществ, входящих в состав сырья, например, прочности, плотности, твердости, растворимости, температур плавления и возгонки, магнитной проницаемости и др.

Количественными показателями процесса обогащения являются:

– выход концентрата представляет собой отношение массы полученного концентрата  $m_k$  к массе обогащаемого сырья  $m_c$ :

$$\eta_k = m_k / m_c ;$$

– степень извлечения полезного компонента, представляющая отношение массы полезного компонента в концентрате  $m_{kk}$  к его массе в обогащаемом сырье  $m_{kc}$ :

$$X_n = m_{kk} / m_{kc} ;$$

– степень обогащения сырья представляет собой отношение массовой доли полезного компонента в концентрате  $\mu_{kk}$  к массовой доле его в обогащаемом сырье  $\mu_{kc}$  :

$$X_o = \mu_{kk} / \mu_{kc} .$$

Выбор метода обогащения зависит от агрегатного состояния и различия свойств компонентов сырья. К механическим методам обогащения относятся:

- *гравитационный*, основанный на разной скорости оседания частиц различной плотности и размеров в потоке газа или жидкости или в поле центробежной силы. Гравитационную концентрацию проводят в отсадочных машинах, на концентрационных столах и в концентрационных шлюзах. Концентрационный стол представляет собой прямоугольную деку с рифленой поверхностью, покрытой линолеумом, которая испытывает возвратно-поступательное движение вдоль длинной стороны. Водная суспензия попадает в бороздки на поверхность деки и там расслаивается: более тяжелый материал оседает на дно, а более легкий передвигается по деке за счет возвратно-поступательного движения. Поскольку высота гребней к выгрузочному концу стола уменьшается, легкий слой смывается потоком воды, идущим поперек стола и уносится вниз к боковой стороне, а более тяжелый материал переносится к выгрузочному концу;

- *электромагнитный*, основанный на различной магнитной проницаемости компонентов сырья. Этот способ применяется для обогащения руд, содержащих минералы с относительно высокой магнитной восприимчивостью (минералы железа, магнетит, франколит, пирротин и др.). Обычный магнитный сепаратор представляет собой устройство, в котором слой руды толщиной в несколько зерен перемещается непрерывно в магнитном поле. Магнитные частицы вытягиваются из потока в виде ленты, а немагнитные остаются в потоке;

- *электростатический*, основанный на различной электрической проводимости компонентов сырья. Под поляризующим воздействием электрического поля частицы различного состава заряжаются в разной степени и по-разному реагируют на одновременно действующие на них электрические и гравитационные силы.

*Гравитационное разделение* основано на различии скоростей осаждения (падения) частиц в жидкости или газе в зависимости от плотности или крупности этих частиц. Если осаждение производят в жидкости (чаще всего в воде), его называют мокрым гравитационным обогащением; если

осаждение ведут в газе (чаще всего в воздухе), его называют сухим гравитационным обогащением. Мокрое гравитационное обогащение осуществляется в аппаратах, называемых классификаторами; схема одного из таких классификаторов показана на рисунке 2.

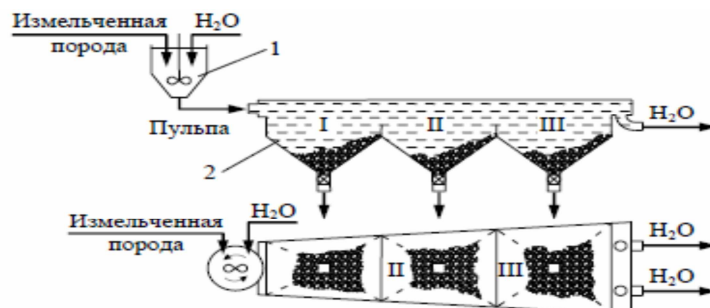


Рисунок 2 – Принципиальная схема мокрого гравитационного обогащения  
1 – бак с мешалкой; 2 – осадительные камеры (I – III)

Магнитная сепарация применяется для отделения магнитно-восприимчивых материалов от немагнитных, а также для удаления стальных предметов, случайно попавших в руду; так отделяют магнитный железняк от пустой породы.

Разделение руды осуществляют в электромагнитных сепараторах (рисунок 3).

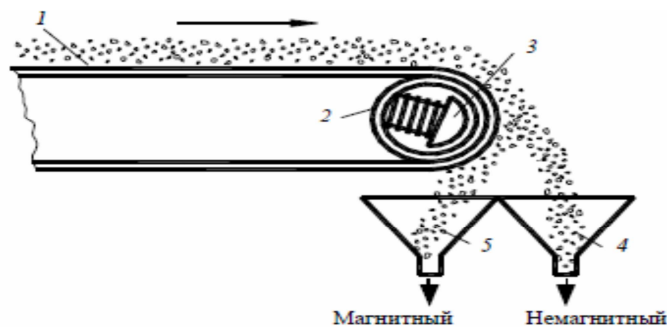


Рисунок 3 – Электромагнитный сепаратор  
1 – лента транспортера; 2 – барабан транспортера; 3 – электромагнит;  
4, 5 – бункеры

К химическим методам обогащения относятся методы непосредственного воздействия на сырье выщелачивающих растворов (кучное выщелачивание, выщелачивание при просачивании и выщелачивание при перемешивании), растворение, например, при извлечении золота ртутным или цианидным методами.

Операция обжига применяется в основном в ходе подготовки к выщелачиванию либо для изменения химического состава ценных компонентов минерального сырья, что делает их пригодными для выщелачивания, либо для удаления некоторых примесей, присутствие которых существенно затрудняет и удорожает процесс выщелачивания ценных компонентов.

Кучное выщелачивание применяется для переработки руд, содержащих легко растворимые полезные компоненты. Такие руды должны быть относительно пористыми и недорогими (обычно они добываются в открытых разработках). Иногда кучное выщелачивание используют для переработки техногенного сырья – отвалов, возникших в результате процессов предшествующей добычи руды.

Выщелачивание путем просачивания используется в основном для переработки руд, которые плохо измельчаются при дроблении и не содержат природных глинистых минералов. Выщелачивание с перемешиванием применяют при переработке высокосортных руд или флотоконцентратов.

*К физико-химическим методам обогащения* относится наиболее распространенный метод флотации. Флотацией (от flotation – всплывание) называется метод обогащения твердого сырья, основанный на различии в смачиваемости его компонентов. Смачиваемость частиц вещества характеризуется работой адгезии на границе раздела фаз системы «твердое тело – жидкость»  $W_{ж-т}$ :

$$W_{ж-т} = \sigma_{ж-г} + \sigma_{т-г} - \sigma_{ж-т},$$

где  $\sigma_{ж-г}$  ;  $\sigma_{т-г}$  ;  $\sigma_{ж-т}$  – удельная свободная поверхностная энергия на границе раздела соответствующих фаз.

Удельная поверхностная энергия пропорциональна поверхности раздела фаз, поэтому чем мельче частицы флотируемого материала, тем больше отношение их поверхности к объему или массе и тем сильнее проявляется явление смачиваемости. Поэтому флотируемое сырье измельчают до размеров 0,05 – 0,30 мм.

Показателем смачиваемости материала служит краевой угол смачивания –  $\theta$  на границе раздела фаз «твердое тело – жидкость – воздух» между перпендикуляром к поверхности жидкости и касательной к мениску ее у частицы. Схема флотационной машины с воздушным перемешиванием представлена на рисунке 4.

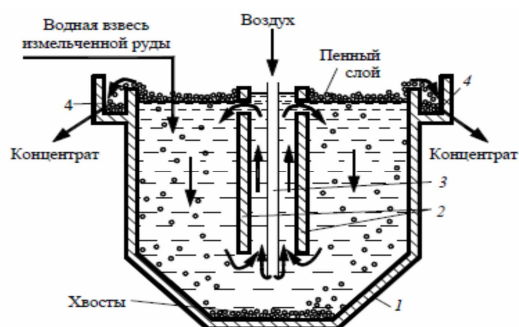


Рисунок 4 – Флотационная машина с воздушным перемешиванием:  
1 – резервуар; 2 – перегородки; 3 – воздушная трубка; 4 – желоб для приема концентрата

*Рассеивание (грохочение)* основано на том, что минералы, входящие в состав сырья, имеют различную прочность, поэтому при дроблении менее прочные (хрупкие) минералы дробятся на более мелкие зерна, чем прочные (вязкие) материалы. Если после измельчения такое сырье просеять через сита с отверстиями различного размера, то можно получить фракции, обогащенные тем или иным минералом.

### **Выбор и обоснование сырьевой базы**

При выборе сырья для производства химического продукта следует учитывать:

- ожидаемый объем производства, который определяет объем потребляемого сырья. Следует убедиться в наличии достаточных запасов сырья;
- стоимость и доступность сырья; возможность и целесообразность его транспортировки;

- ресурсоемкость сырья. Переработка различного сырья требует использования разных технологических схем, а следовательно, разного количества материальных, энергетических и трудовых ресурсов;
- содержание полезного компонента в сырье. Наличие примесей создает ряд проблем и требует дополнительных затрат на концентрирование и очистку сырья или разделение реакционной смеси и очистку целевого продукта. Также нежелательны колебания в составе сырья; они приводят к нарушению технологического режима, снижению производительности установки и качества целевого продукта;
- число химических стадий. Выбранное сырье должно перерабатываться по технологии с минимальным числом стадий;
- количество побочных продуктов. Количество побочных продуктов должно быть минимальным или побочные продукты должны находить применение в качестве вторичного сырья;
- возможность утилизации тепла и других видов энергии при переработке выбранного вида сырья;
- количество стоков и выбросов. Большое количество стоков и выбросов приводит к загрязнению окружающей среды; очистка и нейтрализация их повышает затраты на производство продукта;
- переработка сырья должна проводиться с высокой скоростью, конверсией и селективностью.

### **Воздействие производства на окружающую среду**

Промышленность Российской Федерации играет значительную роль в загрязнении природы, включая в себя более 200 000 производственных предприятий с довольно развитыми и разнообразными технологиями производства. Преобладающее воздействие на загрязнение природной среды оказывают предприятия металлургического комплекса, электроэнергетики, топливной и химической промышленности. Все более определяющую роль в состоянии воздушного бассейна крупных городов играет дорожно-

транспортный комплекс, в котором выброс от передвижных и стационарных источников составляет более 60% от общего объема всех выбросов по РФ.

Оборудование и технологии, используемые для улавливания и обезвреживания выбросов вредных веществ в атмосферу, совершенствуются крайне медленно, в связи с чем продолжает оставаться низким уровень утилизации уловленных вредных веществ (лишь половина из них используется в производстве повторно). Основная доля улова приходится на менее опасные для здоровья населения твердые вещества, в то время как газообразные и жидкие улавливаются лишь на 25 %.

На предприятиях промышленности строительных материалов из потока удается уловить 91,6 % вредных веществ, химической и нефтехимической – 91,1 %, электроэнергетики – 84 %, цветной металлургии – 82,9 %, нефтедобывающей – 3,1 % и газовой – 1,2 %.

Серьезной проблемой остается очистка сточных вод, сбрасываемых в водные объекты. Доля нормативно-очищенных сточных вод к объему вод, требующих очистки, в России составляет лишь 9,5 %, в промышленности – 14,9 %, в жилищно-коммунальном хозяйстве – 7,8 %, а в сельском хозяйстве – 0,6 %.

Промышленность РФ имеет высокий уровень использования оборотных систем водоснабжения, за счет которых экономия свежей воды составляет 78 %. Особенно это проявляется в газовой (97 %) и нефтеперерабатывающей (94 %) промышленности, на предприятиях черной (93 %) и цветной (91 %) металлургии, а также в нефтехимии (91 %).

Степень загрязнения природных сред химической промышленностью различна и составляет в среднем 1-3 % для атмосферы и 17-20 % для гидросферы. Загрязнение воздуха по сравнению с такими отраслями, как металлургия, энергетика и транспорт, относительно невелико. Большинство химических процессов являются водозатратными, это приводит к образованию значительных объемов сточных вод сложного состава. В почву в результате деятельности химических предприятий попадают в основном

нефтепродукты и пестициды. Возможно загрязнение почвы через воздух при оседании вредных веществ либо при их взаимодействии с влагой воздуха и выпадении вместе с осадками.

Поэтому темпы использования материалов и энергии из планетарных источников и темпы приема отходов планетарными стоками должны согласовываться и не причинять ущерба природным процессам поглощения, регенерации и регулирования, так как любой вид ресурсов (пища, вода, лес, железо, нефть и т.д.) ограничен своими источниками и стоками. Источники и стоки могут воздействовать друг с другом. Один и тот же элемент природной системы может быть одновременно источником и стоком (участок земли, где выращиваются сельскохозяйственные культуры и выпадают кислотные осадки).

Данные об объемах и динамике потребления природных ресурсов, загрязнения окружающей среды показывают, что человечество чрезмерно эксплуатирует источники и стоки планеты.

Эффекты воздействия объектов производства на окружающую среду определяются величинами входных и выходных потоков на всех стадиях жизненного цикла, ибо используемые в процессе человеческой деятельности материалы и энергия не исчезают.

*Входные потоки разделяются на:*

1) материальные, связанные с добычей сырья, производством, транспортировкой, использованием, техническим обслуживанием, повторным использованием и утилизацией продукции, могут оказывать различное воздействие на среду (приводить к ускоренному истощению природных ресурсов, отчуждению территорий, снижению плодородия почв, воздействию опасных материалов на здоровье человека, выделению вредных выбросов);

2) потоки энергии, источниками которых являются жидкое топливо, ядерные и гидроэлектростанции, геотермальные источники, ветер, биомасса.

*Выходные потоки формируются* из продукции, твердых отходов и выбросов в воздух, воду, почву, энергетических выделений.

Материальные и энергетические преобразования сырья и полуфабрикатов, происходящие в производствах, обеспечивают получение материальных благ и сопровождаются загрязнением – любое нежелательное для экосистем антропогенное изменение.

Виды загрязнений окружающей среды: ингредиентное, параметрическое, биоценотическое, ландшафтное.

1) Ингредиентное вызвано воздействием совокупности химических веществ, количественно и качественно чуждых естественным биогеоценозам.

2) Параметрическое связано с изменением качественных параметров ОС (шум, вибрации, теплота, электромагнитное излучение).

3) Биоценотическое заключается в воздействии на состав и структуру популяций живых организмов.

4) Ландшафтное представляет собой разрушение местообитания организмов и нарушение регенерационных свойств природных ландшафтов.

Существуют устойчивые связи между загрязнением окружающей среды и круговоротом веществ. Основным препятствием нарушения экологического равновесия в окружающей среде является наличие определенного потенциала ее самовосстановления и очищения от загрязнителей.

### **Тема 3. Принципы организации производственных процессов**

Все промышленные процессы протекают в технологических системах, каждая из которых представляет собой совокупность процессов и аппаратов, объединенных в единый производственный комплекс для выпуска продукции различного назначения. Основным методом исследования технологических систем – математическое моделирование. Наряду с моделями отдельных аппаратов используют модели всей системы, так как процессы, протекающие в отдельных аппаратах, влияют друг на друга. Поэтому предполагается, что все аппараты обеспечивающие получение готовой продукции, являются элементами (подсистемами) одной большой установки (системы).

Анализ структуры такой системы связан с декомпозицией ее элементов и подсистем, выявлением их устойчивых взаимоотношений и обычно проходит в две стадии. Первая (макроисследование) включает математическое моделирование отдельных подсистем, вторая (микроисследование) изучает процессы, протекающие в машинах или агрегатах, и осуществляет усовершенствование используемого оборудования.

Математическое моделирование используется при составлении моделей как на уровне отдельных процессов, так и на уровне их взаимодействий. Полученные модели должны учитывать принципы эффективного использования сырья, улучшения качества конечного продукта, рационального применения энергии, транспорта, информации, экологической защиты. Превращение исходного сырья в промежуточный продукт или промежуточного продукта в конечное изделие происходит в результате осуществления нескольких операций, совокупность которых образует конкретную подсистему.

## **Уровни иерархии производственных процессов**

Уровни иерархии производственных процессов могут иметь следующий вид:

1. Отрасль – совокупность заводов, объединенных сырьем, полуфабрикатами конечной продукцией;

2. Завод – совокупность цехов, объединенных общим сырьем или полуфабрикатами, или повторно используемыми отходами, включая вспомогательные службы;

3. Цех – совокупность отделений, работающих на выпуск заданной продукции: предварительной обработке сырья, выпуска товарной продукции, переработки отходов, обеспыливания и обезвреживания промышленных отходов. В свою очередь, цехи основного производства подразделяются следующим образом:

- на заготовительные цехи, которые осуществляют предварительное формообразование деталей изделия;
- обрабатывающие цеха, в которых производится обработка деталей (механическая, термическая, химико-термическая, гальваническая, сварка, лакокрасочные операции и т.д.).
- сборочные цеха, в которых производят сборку сборочных единиц и изделий, их регулировку, наладку, испытания;

4. Технологическая линия – процесс (измельчения, смешивания и т.п.) или совокупность процессов (компактирование – классификация – транспортировка и т.п.), связанных общей производственной линией;

5. Типовой процесс (элемент системы) – дробилка, измельчитель, валковый пресс, термический реактор и т.п.

Подобная иерархическая структура является важным звеном при создании на предприятии высокоэффективных технологий, позволяющих реализовывать в каждом конкретном случае наиболее рациональную систему подготовки и переработки сырья и полуфабрикатов. Элементы верхнего уровня иерархии, отрасли или завода, связаны между собой и окружающей

средой многочисленными подсистемами для транспортировки сырья, энергии, полуфабрикатов и т.п.. На среднем и нижнем уровнях иерархии обобщающей стороны технологии является процесс активации сырья с целью повышения показателей эффективности основного производственного процесса (например, снижение безвозвратных потерь компонентов, или уменьшение загрязнения окружающей природной среды.

Основные свойства систем:

– **эмерджентность**, которая определяется степенью несводимости свойств системы к свойствам отдельных элементов, из которых она состоит. Например, по отдельным деталям машины перед сборкой нельзя судить о ее действии;

– **принцип необходимого разнообразия элементов**. Никакая система не может быть организована из элементов, лишенных индивидуальности. Нижний предел разнообразия – не менее двух элементов (болт и гайка, поршень и цилиндр), верхний – бесконечность. Разнообразие микроскопических свойств частей системы, наличие в ней разных фазовых состояний вещества определяет гетерогенность системы;

– **устойчивость**. Преобладание внутренних взаимодействий в динамической системе над внешними определяет ее устойчивость и способность к самосохранению. Устойчивость (стационарное состояние) динамической системы поддерживается непрерывно выполняемой ею внешней циклической работой («принцип велосипеда»). Для этого необходимы поток и преобразование энергии в системе;

– **по виду обмена веществом и/или энергией с окружающей средой различают:**

- а) изолированные системы, в которых никакой обмен не возможен;
- б) замкнутые системы, в которых невозможен обмен веществом, но обмен энергией возможен в любой форме;
- в) открытые системы, в которых возможен обмен и веществом, и энергией. Системы, элементы которых взаимосвязаны потоками вещества,

энергии и информации, называются динамическими. Динамические системы являются открытыми;

– **принцип эволюции.** Все динамические системы эволюционируют в сторону усложнения организации и возникновения системной иерархии – образования подсистем в структуре системы.

## **Тема 4 Порядок установления показателей.**

### **Ресурсосбережения в документации**

Требования ресурсосбережения устанавливаются и контролируются по видам продукции:

- 1) в рамках функционирования системы обеспечения качества изделий и продукции;
- 2) при проведении работ по сертификации продукции, услуг и систем качества (включая процедуры аттестации производств и аккредитации испытательных подразделений);
- 3) при проведении технико-экономических обоснований предпроектных и проектных исследований;
- 4) при проведении эколого-экономических экспертиз.

Вся деятельность на предприятии фиксируется в разных видах документов.

Виды документов в производственной деятельности предприятия:

- правовые документы – законы, постановления, регламенты;
- нормативно-технические документы – стандарты, правила, нормы и рекомендации, технологические регламенты, технические условия, конструкторские документы, паспорта, инструкции по эксплуатации и обслуживанию, справочники, программы; приказы, распоряжения;
- организационно-методические документы: положения, инструкции.

Требования ресурсосбережения подразделяют на три группы.

К первой группе относят требования ресурсосодержания, определяющие качество продукции, работ и услуг, например, по составу и количеству использованных материалов, по массе, габаритам, объему изделия и т.д.

Ресурсосодержание продукции, работ и услуг:

- совокупность системно-структурных свойств, характеризующих состав и содержание ресурсов, сосредоточенных в продукции, работах и услугах определенного вида, при данном уровне развития общества.

*Ко второй группе* относят требования ресурсоемкости (по технологичности), определяющие возможность достижения оптимальных затрат ресурсов при изготовлении, ремонте и утилизации продукции, а также выполнении различных работ и оказании услуг с учетом требований экологической безопасности.

Ресурсоемкость продукции, работ и услуг – совокупность структурно-технических свойств, определяющих возможность изготовления продукции, ремонта и утилизации, а также выполнения работ и оказания услуг с установленными затратами и потерями ресурсов в технологических циклах.

*К третьей группе* относят требования ресурсоэкономичности изделия, определяющие возможность достижения оптимальных затрат ресурсов при эксплуатации, ремонте и утилизации продукции, а также при выполнении работ и оказании услуг.

Ресурсоэкономичность продукции, работ и услуг – совокупность эксплуатационных свойств, характеризующих техническое совершенство продукции, а также работ и услуг по степени расходования и использования различных ресурсов с достижением определенного полезного эффекта в заданных условиях функционирования. Определяет показатели ресурсоиспользования и ресурсосбережения.

Указанные группы требования взаимосвязаны, они используются при:

- разработке продукции, планировании работ и услуг (устанавливают проектные требования ресурсосодержания и ресурсоэкономичности, рекомендации по ресурсоемкости);
- изготовлении продукции, выполнении работ и оказании услуг (устанавливают уточненные (контрольные) требования ресурсоемкости (по технологичности);

- эксплуатации продукции, выполнении работ и оказании услуг (устанавливают уточненные (контрольные) требования ресурсоэкономичности и ресурсоемкости);
- утилизации продукции (устанавливают требования ресурсоемкости и ресурсоэкономичности).

Соответствие требованиям ресурсосбережения может быть подтверждено в ходе квалификационных, сертификационных испытаний, типовых испытаний при изменении конструкции и технологии изготовления изделий, разовых проверок, экспертных исследований, специальных исследований кредитно-финансового, социально-демографического, природоохранного и других секторов экономики.

Основным назначением работ по стандартизации требований ресурсосбережения является установление в технической документации на всех стадиях жизненного цикла продукции и при оказании услуг обоснованного порядка рационального использования и экономного расходования материальных ресурсов.

Показатели, определяющие рациональное использование и экономное расходование материальных и энергетических ресурсов, определяются соответствующей номенклатурой.

В частности, показатели рационального использования и экономного расходования материальных и энергетических ресурсов являются выраженными в количественной форме требованиями ресурсосодержания, ресурсоемкости и ресурсоэкономичности. Ресурсосодержание продукции характеризуют главным образом объемно-весовые показатели.

*Ресурсоемкость* продукции характеризуют показатели материалоемкости и энергоемкости при изготовлении, ремонте и утилизации продукции.

*Ресурсоэкономичность* продукции характеризуют главным образом показатели расходования материальных и энергетических ресурсов на поддержание функционирования продукции, ее ремонт и утилизацию.

*Показатели ресурсосбережения* – выраженные в количественной форме требования, устанавливаемые в нормативной документации, которые можно классифицировать по следующим признакам:

- по видам свойств (технические и экономические);
- по стадии выявления свойств (прогнозируемые – на этапе научно-исследовательской работы (НИР), проектные – на этапе опытно-конструкторских работ (ОКР); производственные, эксплуатационные, утилизационные, на соответствующих этапах жизненного цикла);
- по системе оценки (базовые – установленные, фактические – достигнутые, планируемые – в государственных стандартах, а также предельно возможные – для конкретного вида изделия);
- по значимости показателей (основные и дополнительные);
- по способу выражения показателей (выражаемые в единицах физических величин и вне системы единиц физических величин);
- по числу характеризующих свойств: единичные частные; комплексные – групповые; интегральные – общие);
- по форме представления свойств (абсолютные, удельные, относительные, сравнительные, разностные, структурные).

Рекомендуемая номенклатура показателей, устанавливаемых в нормативно-технической документации на продукцию, приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Номенклатурные показатели ресурсосбережения

| Общее наименование группы показателей                                                  | Показатель                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Показатели ресурсосодержания вещества, материала, продукции, изделия                   | 1. Масса вещества, материала, продукции, изделия<br>2. Масса сухого изделия<br>3. Масса драгоценных материалов в изделии<br>4. Масса металла в изделии<br>5. Масса цветных металлов в изделии<br>6. Удельная масса вещества, материала, продукции, изделия (удельная масса сухого изделия)<br>7. Удельная масса драгоценных материалов (металлов) в изделии<br>8. Удельная масса металла в изделии<br>9. Габаритные размеры изделия<br>10. Объем вещества, материала; объем продукции, изделия (без упаковки) по габаритным размерам                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Показатели ресурсоемкости (по технологичности) вещества, материала, продукции, изделия | 11. Расход сырья, материалов при изготовлении продукции, изделия<br>12. Материалоемкость вещества, материала, продукции, изделия<br>13. Удельная производственная материалоемкость вещества, материала, продукции, изделия<br>14. Расход энергоресурсов при изготовлении вещества; материала, продукции, изделия<br>15. Энергоемкость вещества, материала, продукции, изделия<br>16. Удельная производственная энергоемкость вещества, материала, продукции, изделия<br>17. Доля технологических отходов сырья, материала<br>18. Доля технологических потерь сырья, материалов<br>19. Коэффициент применяемости драгоценных материалов (металлов)<br>20. Коэффициент использования драгоценных материалов (металлов)<br>21. Коэффициент использования основных материалов<br>22. Технологический выход годных изделий (для серийно выпускаемых)<br>23. Полнота (степень) утилизируемости вещества, материала, продукции, изделия<br>24. Ресурсоемкость утилизации вещества, материала, продукции, изделия<br>25. Техническая возможность утилизации |

|                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                         | вещества, материала, продукции, изделия (да, нет)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Показатели ресурсоэкономичности вещества, материала, продукции, изделия | 26. Расход энергоресурсов при эксплуатации продукции, изделия<br>27. Удельный расход энергоресурсов при использовании вещества, материала, продукции, при эксплуатации изделия (удельная эксплуатационная энергоэкономичность)<br>28. Номинальная потребляемая мощность изделия<br>29. Коэффициент полезного действия (КПД) (изделия)<br>30. Частота<br>31. Номинальное напряжение<br>32. Номинальный коэффициент мощности<br>33. Номинальный ток<br>34. Давление перегретого пара<br>35. Коэффициент избытка воздуха сжигаемой газовой смеси<br>36. Давление газа перед горелками<br>37. Холодильный коэффициент<br>38. Расход материала на эксплуатацию изделия (на запчасти)<br>39. Средний срок сохраняемости (показатель, время, коэффициент) вещества, материала, продукции, изделия<br>40. Интенсивность утилизации вещества, материала продукции, изделия (в естественных или искусственных условиях)<br>41. Ресурсоэкономичность утилизации вещества, материала, продукции, изделия<br>42. Экономическая возможность утилизации вещества, материала, продукции, изделия |

Номенклатура устанавливаемых показателей использования ресурсов должна обеспечивать возможность эффективной оценки требований ресурсосбережения на всех стадиях жизненного цикла продукции.

Минимально необходимую номенклатуру определенных показателей выявляет классификационный признак «основные показатели». Эти показатели могут быть *абсолютными, относительными, удельными*.

*Абсолютный показатель ресурсосбережения:*

- показатель, выраженный в единицах измерения физических величин и определенный конкретным параметром изделия. Характеризует процесс и результат использования ресурсов, воплощенные в изделии. В

результате оптимизации эти же показатели (в сравнении с аналогами или с исходными уровнями) характеризуют суммарное ресурсосбережение.

*Удельный показатель ресурсосбережения:*

- показатель, определяемый отношением конкретного параметра или совокупности нескольких параметров к другому параметру или комплексу параметров. Удельные показатели наиболее полно и эффективно характеризуют ресурсоиспользование и ресурсосбережение на всех стадиях жизненного цикла продукции.

*Относительный показатель ресурсосбережения:*

- показатель, выраженный в безразмерной форме и определяемый отношением двух параметров с одинаковыми единицами физических величин (например, коэффициент полезного действия). К основным показателям ресурсосодержания вещества, материала, продукции, изделия относят: массу, удельную массу, габаритные размеры, объем.

К основным показателям ресурсоемкости (по технологичности) вещества, материала, продукции, изделия относят технологический выход годных изделий (для серийно выпускаемых), коэффициенты применяемости материала, использования материала, удельные производственные материалоемкость, энергоемкость. Минимальную номенклатуру устанавливаемых в нормативной документации показателей выбирают исходя из особенностей изготовления конкретной продукции

Значения показателей определяют методом расчета. Специальные испытания по определению значений показателей проводят, если это предусмотрено в контрактах или договорах на поставку. Формулы для расчета удельных показателей ресурсосбережения устанавливают разработчики изделий с привлечением соответствующих технических комитетов.

## Тема 5. Расчёт расхода материальных и энергетических ресурсов на осуществление производства

Производство любого продукта химической промышленности осуществляется по определённой технологии. Технология представляет совокупность технологических процессов, осуществляемых в определённой последовательности, оборудования для их проведения и средств управления процессами, позволяющими осуществить превращение исходных веществ в продукты. Технологический процесс – целенаправленное воздействие на перерабатываемые вещества, приводящее к изменению их качественных показателей. Химическое предприятие в качестве ресурсов потребляет различные виды сырья (рис. 5).



Рисунок 5 – Типичная технологическая схема химического производства

Минимально необходимое для достижения цели количество ресурсов определяется на основании материальных и тепловых балансов для каждой технологической стадии. К сожалению, как технологические процессы, так и оборудование для их осуществления несовершенны. Поэтому использование ресурсов в технологии сопряжено с необратимыми их потерями.

### Определение потребного количества сырья

Производительность технологической линии определяется количеством продукта, полученного на выходе из нее. Вся технологическая цепочка может быть представлена в виде отдельных укрупнённых блоков:

- 1) подготовка сырья к химическому превращению;
- 2) химическое превращение сырья в продукты химической реакции;
- 3) выделение целевого продукта из смеси продуктов синтеза и доведение его до товарной кондиции;
- 4) рекуперация непрореагировавшего сырья из отходов производства, образующихся на стадиях подготовки и выделения.

Оборудование химико-технологических производств эксплуатируется в условиях, исключающих выход перерабатываемых веществ из рабочего объёма. Условия эти определяются необходимостью соблюдения требований пожаро- и взрывобезопасности и токсической безопасности.

Поэтому потери перерабатываемых веществ возможны только при осуществлении процессов разделения (целевое вещество распределяется между двумя потоками), несовершенства процессов и оборудования для их осуществления и за счёт неполноты завершения процесса. Самые значительные потери возникают при проведении процессов разделения. Ниже приводится расчёт коэффициента эффективности разделения:

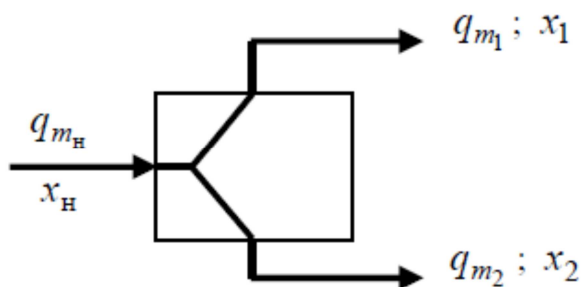


Рисунок 6 – Расчётная схема процесса разделения

В технологической линии встречаются различные потоки. Наиболее распространёнными из которых являются следующие: *последовательные, смешения, разделения, параллельные, возвратные, байпасные*. В процессах разделения (рис. 6) всегда выполняется соотношение  $x_1 > x_H > x_2$ .

Будем считать, что поток номер 1 поступает на дальнейшую переработку, а поток 2 – на переработку отходов и рекуперацию сырья.

Эффективность аппарата разделения может быть оценена с помощью коэффициента разделения и будет равна:

$$\eta = \frac{q_{m1} x_1}{q_{m1} x_H}.$$

Коэффициент разделения всегда меньше единицы. Он может характеризоваться как некоторый коэффициент полезного действия процесса и оборудования, характеризующий степень использования сырья. Коэффициент эффективности использования материальных ресурсов для оборудования, через которые материальные потоки проходят транзитом (теплообменники и другие), можно принять равным единице. Это оборудование, в котором поток перерабатываемых веществ поступает через один патрубок и выводится только через один патрубок.

В таблице 2 приводятся средние статистические значения коэффициентов полезного действия для различных процессов разделения химической технологии.

Таблица 2 – Значения коэффициентов эффективности использования сырья для ряда процессов разделения химической технологии

| № п/п | Процесс                         | Значение коэффициента | Примечание                             |
|-------|---------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|
| 1     | Отстаивание (гравитационное)    | 0,95...0,98           |                                        |
| 2     | Отстаивание (центробежное)      | 0,98                  | Обеспечивает высокую скорость процесса |
| 3     | Фильтрация (центробежное)       | 0,9...0,98            |                                        |
| 4     | Сушка                           | 0,9...0,99            |                                        |
| 5     | Ректификация, перегонка         | 0,85...0,95           | В зависимости от условий разделения    |
| 6     | Абсорбция                       | 0,99                  |                                        |
| 7     | Размол, дробление классификация | 0,995                 |                                        |
| 8     | Упаковка, фасовка               | 0,95...0,98           |                                        |

Производительность по продукту, сырьё (ассортимент) и параметры (давление, концентрация и др.) – основные величины технологического процесса – обычно полагаются известными. В технологической схеме

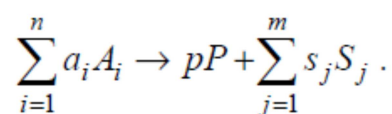
преобладает последовательная передача перерабатываемых веществ с одной стадии на другую. Поэтому при оценке затрат материальных ресурсов ограничимся рассмотрением последовательной неразветвленной цепи.

Это несколько упрощает расчёт, не изменяя методологии процедуры. Определение количества необходимого сырья можно вести, начиная с хвоста технологической цепочки. Каждый процесс и оборудование, используемое для осуществления процесса, характеризуется определённым коэффициентом использования перерабатываемых веществ  $\eta$ . Производительность всей технологической цепочки по целевому продукту  $q_{m_0}$ .

На стадиях подготовки и выделения используются физические процессы, и поэтому расчёт можно вести в массовых единицах. Предположим, что на участке подготовки сырья и на участке выделения продукта число единиц оборудования равно  $i$  и  $j$  соответственно. В этом случае на входе на стадию выделения целевого продукта из реактора должно поступать следующее его количество:

$$q_{m_2} = \frac{1}{\prod_{j=1}^m \eta_j} q_{m_0}.$$

Определим количество реагента, которое надо подавать в химический реактор. В химическом процессе происходит образование новых веществ. Молекулярная масса их разная, и поэтому расчёт ведётся в мольных количествах. Для определения количества реагента, подаваемого в реактор, используется стехиометрическое уравнение химической реакции. В реакторе осуществляется химическая реакция, в ходе которой  $i$  исходных компонентов, взаимодействуя между собой, образуют целевой продукт  $P$  и несколько побочных  $S_j$ :



Из уравнения химической реакции следует, что для получения моля  $a$

продукта необходимо затратить  $a_i / p$  молей реагента  $A_i$ . Ни одна химическая реакция не идёт до конца. Химическая реакция характеризуется интегральными показателями степенью превращения, селективностью, выходом продукта. Выход образовавшегося продукта (его выход) связан со степенью превращения и селективностью процесса соотношением:

$$\Psi_{A_i} = x_{A_i} \sigma_{A_i}.$$

В этом случае количество сырья, подаваемого на вход реактора, будет равно:

$$q_{m_1} = \frac{a M_A}{\Psi p M_P} q_{m_2} = \frac{a M_A}{p M_P} \frac{1}{\Psi_{A_i} \prod_{j=1}^n \eta_j} q_{m_0}.$$

На входе в технологическую цепочку должно поступать следующее количество реагента:

$$q_{m_{\text{исх}}} = \frac{1}{\prod_{j=1}^m \eta_j} q_{m_1} = \frac{a_i M_A}{p M_P} \frac{1}{\Psi_{A_i} \prod_{i=1}^n \eta_i \prod_{j=1}^m \eta_j} q_{m_0}.$$

Предположим, что в схемах переработки функционируют схемы по извлечению сырья из отходов стадии подготовки с общим коэффициентом извлечения  $\eta_n$  и схема по извлечению не прореагировавшего сырья из отходов стадии выделения продукта с общим коэффициентом извлечения  $\eta_k$ . На вход технологической цепочки возвращается следующее количество регенерированного из отходов стадии выделения, не прореагировавшего реагента:

$$q_{m_{\text{возвр}}} = q_{m_1} (1 - x_{A_i}) \eta_k = \frac{a_i M_A}{p M_P} \frac{(1 - x_{A_i})}{\Psi_{A_i} \prod_{i=1}^n \eta_i \prod_{j=1}^m \eta_j} q_{m_0} \eta_k.$$

На участке подготовки сырья в отходы может попасть следующее количество сырья:

$$q_{m_{\text{исх}}} - q_{m_1} = q_{m_0} \frac{aM_A}{pM_p} \frac{1}{\psi_{Ai} \prod_{i=1}^n \eta_i \prod_{j=1}^m \eta_j} \left[ 1 - \prod_{i=1}^n \eta_i \right].$$

Тогда из отходов стадии подготовки возвращается на использование следующее количество реагента (сырья):

$$q_{m_{\text{возвр}}} = q_{m_0} \frac{a_i M_A}{pM_p} \frac{1}{\psi_{Ai} \prod_{i=1}^n \eta_i \prod_{j=1}^m \eta_j} \left[ 1 - \prod_{i=1}^n \eta_i \right] \eta_{\text{н}}.$$

Количество свежего реагента, поступающего на вход технологической цепочки:

$$q_{m_{\text{исх}}} = q_{m_0} \frac{a_i M_A}{pM_p} \frac{1}{\psi_{Ai} \prod_{i=1}^n \eta_i \prod_{j=1}^m \eta_j} \left[ 1 - \left( 1 - \prod_{i=1}^n \eta_i \right) \eta_{\text{н}} - (1 - x_{Ai}) \eta_{\text{к}} \right]$$

Удельный расход реагента на единицу массы произведённого продукта:

$$\varepsilon = \frac{q_{m_{\text{исх}}}}{q_{m_0}} = \frac{a_i M_A}{pM_p} \frac{1}{\psi_{Ai} \prod_{i=1}^n \eta_i \prod_{j=1}^m \eta_j} \left[ 1 - \left( 1 - \prod_{i=1}^n \eta_i \right) \eta_{\text{н}} - (1 - x_{Ai}) \eta_{\text{к}} \right].$$

Аналогично можно рассчитать расход других реагентов, подаваемых в технологическую линию.

Кроме реагентов, принимающих участие в химическом превращении, в технологическую линию подаются различные вещества, не принимающие участие в химическом превращении, но обязательные для нормального ведения технологических процессов. Например, растворители, разбавители и т.д. Расход инертных веществ может быть рассчитан аналогичным образом с учётом того, что эти вещества не принимают участия в химическом превращении и могут поступать в технологическую линию не с первой стадии, и выводиться из технологической линии не с последней стадии.

Предложенная процедура определения затрат материальных ресурсов не отражает все возможные варианты исполнения технологической схемы, но позволяет продемонстрировать методику расчёта потребного количества

материальных ресурсов и сформулировать основные требования к оформлению технологической схемы.

Необходимо использовать технологическую схему с малым количеством процессов разделения и по возможности, короткую. Химическая реакция должна обладать высокой селективностью и проходить до глубоких степеней превращения; используемые процессы и оборудование для их реализации должны обладать высоким коэффициентом использования сырья.

### **Расчёт потребного количества энергоресурсов**

Любое химическое производство состоит из основной технологической цепи (основного производства), в которой осуществляется получение продукта, и вспомогательных служб, деятельность которых обеспечивает функционирование основного производства. Остановимся на определении энергетических затрат на основное производство.

Основные виды энергии, которые потребляет современное химическое предприятие:

- 1) электрическая;
- 2) механическая (чаще всего получается за счёт преобразования электрической энергии);
- 3) тепловая (в том числе и получение холода, используемого для охлаждения технологического оборудования и создания искусственного климата в производственных помещениях).

Поэтому в качестве основных видов энергии можно рассматривать электрическую и тепловую. Эти виды энергии предприятие получает либо от расположенной поблизости тепловой электрической станции (ТЭЦ), либо от ТЭЦ, имеющейся в структуре самого химического предприятия.

Источником тепловой энергии, при нагреве перерабатываемых веществ до высоких температур, может служить топливо.

Все виды энергии, которые используются человеком, можно разделить на две группы:

- 1) упорядоченную (электрическую и механическую);
- 2) хаотичную, неупорядоченную (тепловую).

Упорядоченная энергия может трансформироваться в другие виды энергии и передаваться при любых внешних условиях. Потенциал этой энергии всегда остаётся высоким. Хаотичная энергия может передаваться от тела к телу при определённых внешних условиях. Для произвольной передачи тепла обязано соблюдаться условие неравенства температур тела, отдающего тепло и тела тепло воспринимающего.

Основой расчёта являются уравнения теплового баланса по каждой стадии технологической схемы. Наиболее часто реализуемыми тепловыми операциями являются операции нагревания (охлаждения), плавления (кристаллизации), испарения (конденсации). Поэтому необходимо напомнить процедуру определения количества тепла, необходимого для осуществления таких операций. Расчётные уравнения приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчётные уравнения для определения затрат тепловой энергии

| №<br>п/<br>п | Наименование<br>операции     | Непрерывный процесс                            | Непрерывный процесс                            |
|--------------|------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|
|              |                              | Тепловой поток, Вт                             | Тепловой поток, Вт                             |
| 1            | Нагревание<br>(охлаждение)   | $q_t = q_m [c_p(t_k)t_k - c_p(t_n)t_n]$        | $Q_t = q_m [c_p(t_k)t_k - c_p(t_n)t_n] \tau_t$ |
| 2            | Плавление<br>(затвердевание) | $q_t = q_m (I_n - c_p t_k) = q_m \lambda_{пл}$ | $Q_t = q_m \lambda_{пл} \tau_{ц}$              |
| 3            | Испарение<br>(конденсация)   | $q_t = q_m (I_n - c_p t_k) = q_m r$            | $Q_t = q_m r \tau_{ц}$                         |

Уравнения записаны без учёта потерь энергии через внешнюю поверхность оборудования. В таблице приведены уравнения, по которым

определяется количество энергии (для периодического процесса) и величина теплового потока (для непрерывного процесса) перерабатываемых веществ.

Приведённые уравнения позволяют определить минимально необходимое количество тепловой энергии, требуемого для реализации технологии. По этим уравнениям рассчитывают количество энергии, которое необходимо передать перерабатываемым веществам или отвести от них, при выполнении соответствующей тепловой операции.

Тепловые потери, которые сопровождают любой процесс передачи тепла, обычно регламентируются в пределах 3...5 % от полезного количества тепла, необходимого для реализации процесса.

Электрическая энергия используется для технологических целей (нагрев до высоких температур); для привода различных машин, используемых для перемещения сред по магистралям и через оборудование, создание вакуума, перемешивание и для привода различных технологических машин (центрифуги, валковые и червячные машины др.), освещение производственных помещений.

Затраты электрической энергии на перемещение сред по технологической линии (трубопроводный транспорт и движение через технологическое оборудование) равны:

$$q_{эл} = \sum_{i=1}^n (q_V \Delta p_{сети})_i .$$

Сопротивление сети, по которой перемещается перерабатываемая среда, определяется по законам гидравлики для конкретной геометрии системы. Затраты электрической энергии на перемешивание сред:

$$q_{эл} = \sum_{i=1}^n (K_N \rho n^3 d_m^5)_i .$$

Затраты на привод различного оборудования определяются по уравнениям, приведённым в литературе, по расчёту технологического оборудования химических производств или в каталогах фирм

производителей соответствующего оборудования, где указывается мощность электродвигателей машин и оборудования.

Суммарные затраты энергии по отдельным её видам определяются как сумма составляющих. Причины потерь материальных и энергетических ресурсов. Правила эксплуатации оборудования (по пожаро- и взрывоопасности и токсичности) не допускают возможностей утечки материальных потоков в окружающее пространство в условиях штатного функционирования.

С этой точки зрения оборудование можно считать системами закрытыми.

*С термодинамической точки зрения технологическое оборудование не является закрытой системой. В любом оборудовании осуществляется обмен тепловыми потоками с окружающей средой. Этот обмен приводит к значительному рассеянию тепловой энергии в окружающую среду.*

Передача тепловой энергии возможна при наличии разности температур между телом, тепло отдающим, и телом, воспринимающим тепло.

Это означает, что тело, воспринимающее тепло, не может быть нагрето до начальной температуры тела, отдающего тепло. Передача тепла всегда сопровождается снижением температуры теплоносителя. В технологическом оборудовании происходит образование вторичных тепловых потоков с температурным потенциалом ниже, чем у первичных.

В оборудовании разделения происходит образование двух материальных и тепловых потоков. Один из этих тепловых потоков содержит целевой компонент и поступает на переработку в следующее по технологической схеме оборудование. Второй поток, содержащий незначительное количество целевого компонента и тепловой энергии, в большинстве случаев попадает в отходы. В редких случаях осуществляется процедура извлечения остатков целевого вещества из этого потока, и

практически никогда не используется тепловая энергия, содержащаяся в этом потоке.

В процессах разделения неизбежно попадание части целевого вещества в поток, который далее попадает в отходы и, в редких случаях, в схему рекуперации. Схемы рекуперации, как правило, содержат в своем составе целый ряд процессов разделения. Поэтому любая схема регенерации не позволяет извлечь целевое вещество полностью. Таким образом, по этой причине неизбежны потери перерабатываемых веществ.

Потери материальных и энергетических ресурсов связаны, в значительной степени, с несовершенством используемых в промышленной практике процессов и оборудования. Скорость процессов зависит от величины движущей силы (разности температур или концентрации вещества, концентрации вещества и т.д.). По мере завершения процесса движущая сила его уменьшается, и скорость процесса снижается. В этих условиях эффективность использования оборудования падает. Целесообразность осуществления процессов с экономической точки зрения становится нежелательной. Поэтому ни один из промышленных процессов не проводят до падения движущей силы до нуля. Как следствие, это приводит к неполному использованию сырья. В таблице 4 приведены основные причины, приводящие к потерям тепловых и материальных ресурсов.

Таблица 4 – Причины потерь в технологическом оборудовании

|   | Причины потерь               | Потоки       |          |
|---|------------------------------|--------------|----------|
|   |                              | материальные | тепловые |
| 1 | Снижение движущей силы       | +            | +        |
| 2 | Обмен с окружающей средой    | –            | +        |
| 3 | С потоками разделения        | +            | +        |
| 4 | Снижение потенциала          | +            | +        |
| 5 | Несовершенство оборудования  | +            | +        |
| 6 | С вторичными энергоресурсами | +            | +        |

Как видно из таблицы 4, причины потерь материальных и энергетических ресурсов в значительной степени совпадают.

## Тема 6. Малоотходные и ресурсосберегающие технологии

Наиболее эффективным инженерным решением проблемы снижения уровня и интенсивности антропогенного загрязнения ОС является использование максимально замкнутых безотходных и малоотходных технологий переработки сырья, комплексное использование всех его составляющих, сведение к минимуму количества газообразных, жидких, твердых и энергетических отходов непосредственно в технологических процессах.

*Безотходная технология* – это метод производства продукции при наиболее рациональном использовании сырья и энергии, который позволяет одновременно снизить объем выбрасываемых в окружающую среду загрязняющих веществ и количество отходов, получаемых при производстве и эксплуатации изготовленного продукта.

Развитие представлений об окружающей среде и рациональном природопользовании, а также практические задачи создания и внедрения безотходных производств привели к необходимости формулировки нового, официально признанного определения: *«Безотходная технология – это такой способ производства продукции (процесс, предприятие, территориально производственный комплекс), при котором наиболее рационально и комплексно используются сырье и энергия в цикле сырьевые ресурсы – производство – потребление – вторичные сырьевые ресурсы таким образом, что любые воздействия на окружающую среду не нарушили ее нормального функционирования»*. Выделяются три основных положения. Прежде всего, подчеркивается необходимость использования сырьевых ресурсов в цикле, включающем также и сферу потребления, а это означает, что замкнутым такой цикл может быть только на уровне территориально-производственного комплекса. Вторым основным положением является обязательное включение в производство и потребление всех компонентов сырья. При этом должно быть обеспечено максимально возможное

использование потенциала энергетических ресурсов. Третьей составной частью концепции безотходного производства является сохранение (с учетом и возможного теплового загрязнения) сложившегося экологического равновесия.

Понятие безотходной технологии затрагивает не только производственный процесс, но и конечную продукцию, которая должна характеризоваться:

- 1) долгим сроком службы изделий;
- 2) возможностью многократного использования;
- 3) простотой ремонта;
- 4) легкостью возвращения в производственный цикл или перевода в экологически безвредную форму после выхода из строя.

Схема безотходного производства имеет вид: *«спрос – сырье – готовый продукт – сырье»*. Каждый этап этой схемы требует затрат энергии, а ее производство связано с потреблением природных ресурсов вне замкнутой системы. Другим препятствием для организации безотходного производства является износ материалов, их рассеивание в окружающей среде.

Понятие безотходной технологии носит условный характер. Под ней понимается теоретический предел, совершенная модель производства, которая в большинстве случаев может быть реализована лишь частично. Отсюда и появилось понятие малоотходной технологии. Но по мере развития научно-технического прогресса технология будет совершенствоваться, приближаясь к идеальной модели.

Имеется немало критиков самой концепции безотходного производства. Некоторые из них утверждают, ссылаясь на второй закон термодинамики, что как энергию нельзя полностью преобразовать в работу, так и сырье невозможно полностью переработать в продукты производства и потребления. С этим нельзя согласиться, поскольку речь идет прежде всего о материи и об открытой системе. А материю (продукцию) всегда можно преобразовать (в соответствии с законом сохранения вещества) снова в

соответствующую продукцию. Наглядными примерами служат безотходно функционирующие природные экосистемы. Имеется и другая крайность, когда все работы, связанные с охраной окружающей среды от промышленных загрязнений, относят к безотходному и малоотходному производству.

Оценка степени безотходности производства является очень сложной задачей. Возможны следующие подходы для оценки степени безотходности производства:

- а) степень использования природных ресурсов;
- б) отношение выхода конечной продукции к массе поступившего сырья и полуфабрикатов;
- в) количество отходов, образующихся на единицу продукции.

Точный расчет степени безотходности производства требует ввода поправки на токсичность отходов. Невозможно, например, сопоставлять отходы содового производства ( $\text{CaCl}_2$ ) и отходы гальванических цехов, исходя только из массы отходов. Однако на стадии проектирования для предварительного сопоставления различных технологических схем, выпускающих продукцию одного и того же вида, этот критерий вполне может быть использован. Для учета энергетических затрат следует объединить коэффициент энергоемкости продукции с ее коэффициентом безотходности, а также с коэффициентом безотходности производства электроэнергии. Только в этом случае можно получить объективный показатель безотходности производства. Это связано с тем, что масштабы загрязнения окружающей среды при производстве электроэнергии на ТЭЦ могут свести к минимуму те экологические преимущества, которых можно достичь при совершенствовании основного производства.

Стратегия создания ресурсосберегающих производств и её реализация основана на следующих принципах.

1. Создание высокоселективных химических процессов, основанных на использовании новых, высокоизбирательных каталитических систем и выборе оптимальных условий проведения самих химических процессов.

Достижение высокой селективности является важной превентивной мерой по экономии сырьевых ресурсов, поскольку уже на стадии химического взаимодействия позволяет максимально использовать реагенты для получения целевых продуктов.

В большинстве случаев катализаторы позволяют обеспечить высокую селективность процессов в сравнительно мягких условиях. Это открывает возможность существенно снизить расход материалов, сырья и энергии, износ оборудования, что в конечном счёте обуславливает ресурсосберегающий характер каталитических процессов. Показательным в этом отношении являются процессы получения азотных удобрений на основе синтеза аммиака:



Обычные катализаторы этого процесса активны при температуре 400...500 °С. В этих условиях температура является мощным фактором смещения равновесия в сторону реагентов. Чтобы увеличить степень превращения приходится повышать давление до высоких значений 10-100 МПа. Поддержание указанных температур и давлений требует больших энергетических затрат, а совместное их действие приводит к быстрому износу оборудования. В перспективе создание экологически безопасного и ресурсосберегающего способа синтеза аммиака связан с разработкой каталитических систем, которые бы моделировали действие природных катализаторов – ферментов, содержащиеся в азотфиксирующих бактериях.

2. Принцип направленного совмещения процессов (сочетание химических реакций с другими процессами, а иногда и другими химическими реакциями) для увеличения селективности процессов, степени превращения реагентов, а также поддержание условий процессов

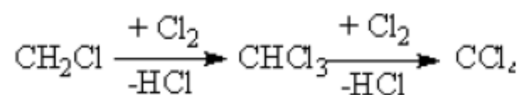
(температуры, соотношения реагентов и др.) на оптимальном уровне. Проиллюстрируем примерами.

*Пример 1.* Синтез сложных эфиров описывается стехиометрическим уравнением:



В обычном жидкофазном процессе характеризуется низкими степенями превращения реагентов из-за обратимости реакции. Это означает, что после завершения процесса непрореагировавшие спирт и карбоновую кислоту необходимо выделить и снова направить на этерификацию. Такая операция называется рециклом. Организация рецикла требующая дополнительных энергетических и материальных затрат невыгодна с точки зрения ресурсосбережения. Если же этерификацию осуществлять совместно с отгонкой одного из легкокипящих продуктов (воды или эфира) из реакционной массы, то их концентрация в зоне реакции резко снизится и равновесие этерификации практически нацело сместится в правую сторону. В этих условиях затраты на рецикл можно свести к минимуму или вовсе отказаться от него.

*Пример 2.* Реакции газофазного хлорирования сопровождаются вторичными побочными реакциями более глубокого хлорирования. Например, при хлорировании дихлорметана для получения хлороформа:

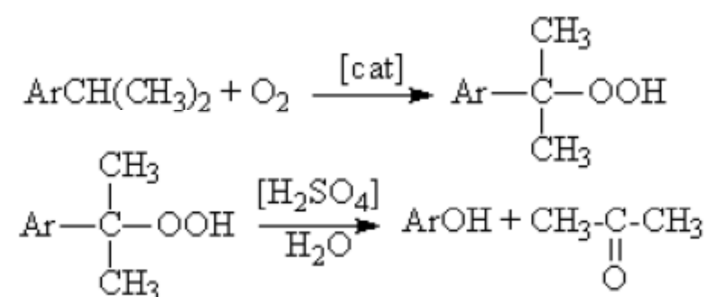


Побочной реакцией является хлорирование самого хлороформа, что приводит к перерасходу хлора и дихлорметана. При этом образуется  $\text{CCl}_4$ , являющийся одним из наиболее сильных разрушителей озонового слоя Земли. Если же процесс газофазного хлорирования  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  проводить в режиме конденсации хлороформа, то последний быстро удаляется из реакционной зоны. В результате концентрация  $\text{CHCl}_3$  в газовой фазе будет существенно понижена, что приводит к подавлению побочной реакции с его

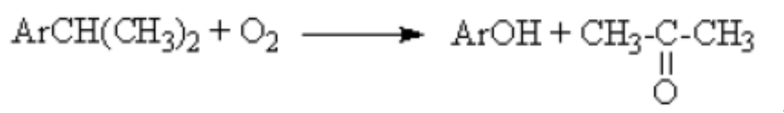
участием. Это позволяет достичь высокой селективности по хлороформу при обеспечении глубоких конверсий по хлорметану.

3. Реализация принципа «сопряжённых» процессов, основанных на стехиометрических особенностях химических реакций, лежащих в основе этих процессов и позволяющих получать из исходного сырья одновременно несколько ценных товарных продуктов.

*Пример 1.* Кумольный способ получения фенола и ацетона, основанный на последовательности реализации стадий окисления изопропил бензола и разложения образующегося гидропероксида:



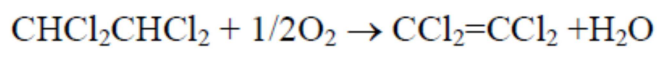
Суммирование правых и левых частей приведенных выше уравнений приводит к уравнению брутто-реакции:



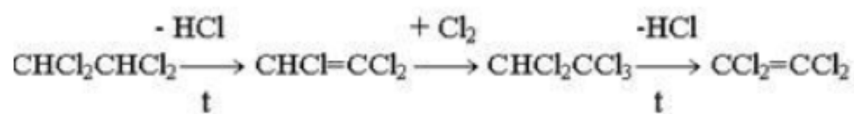
показывающей, что всё используемое сырьё при условии 100% селективности на каждой стадии превращается в ценные товарные продукты.

4. Разработка альтернативных процессов, основанных на меньшем числе химических стадий, выгодных стехиометрических соотношениях, более дешёвых и доступных видах сырья. В общем случае увеличение числа стадий означает увеличение количества единиц оборудования, дополнительных затрат сырья и материалов, а также энергии.

Характерным примером в этом плане является одностадийный синтез перхлорэтилена окислительным дегидрированием симметричного тетрахлорэтилена:



являющегося альтернативой способу, представляющему собой последовательность стадий дегидрохлорирования, хлорирования и снова дегидрохлорирования



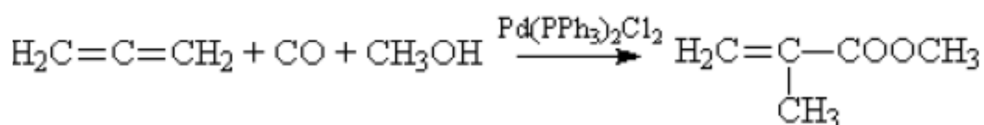
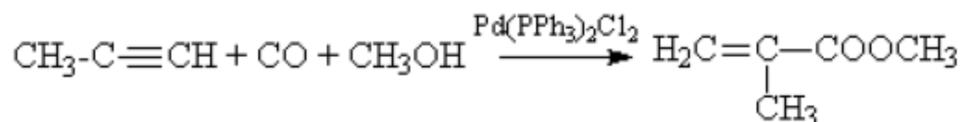
Суммарно уравнение этого процесса описывается уравнением:



Реализация трёх стадий последовательного процесса требует больших затрат на оборудование, характеризуется повышенной энергоёмкостью, быстрым износом реакционной аппаратуры под действием агрессивных сред ( $\text{Cl}_2$  и  $\text{HCl}$ ). В то же время этот способ характеризуется дополнительным расходом дорогостоящего хлора и образованием балластного продукта, хлороводорода. Теоретическое количество побочных продуктов в одностадийном процессе составляет 0,1 кг, а в трёхстадийном – 0,43 кг на 1 кг перхлорэтилена.

Важным направлением создания ресурсосберегающих технологий является выявление новых реакций, характеризующихся более выгодным стехиометрическими соотношениями по сравнению с известными способами получения товарных продуктов.

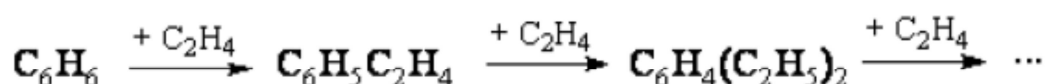
Примером таких новых реакций являются реакции гидрокарбалкокислирования метилацетилена и аллена.



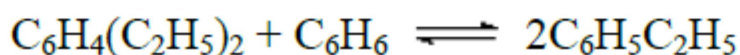
Можно видеть, что в правой части стехиометрических уравнений фигурирует только целевой продукт реакции. Поэтому теоретический выход побочных продуктов на 1 кг эфира  $\approx 0$ .

5. Разработка производства химических продуктов, основанных на использовании вторичных материальных и энергетических ресурсов, переработка побочных продуктов процессов. Вовлечение вторичных сырьевых ресурсов в новые технологические процессы позволит существенно сократить объемы добычи первичных видов сырья и снизить уровень антропогенного воздействия на окружающую среду. парокислородная конверсия с получением синтез-газа.

На многих химических предприятиях образуются химические отходы, которые можно рассматривать как вторичное сырьё данного предприятия. Вовлекая эти отходы в новые циклы превращений, можно повысить уровень ресурсосбережения процессов, обезвредить отходы и максимально изолировать производство от окружающей среды. Пример подобного рода связан с образованием полиэтилбензоатов в процессе получения этилбензола:



Выход полиэтилбензолов в этом процессе достаточно велик, поскольку введенная в бензольное кольцо алкильная группа активирует последующее алкилирование. Чтобы подавить эту реакцию необходимо ограничивать конверсию и увеличивать избыток бензола по отношению к этилену. Это приводит к возрастанию количества непрореагировавшего бензола и удорожанию его рецикла в процессе. Однако если полученную реакционную смесь подвергнуть воздействию более высокой температуре, то её компоненты вступают в реакцию переалкилирования, благодаря которой алкильные группы из побочных полиалкилбензолов переходят к бензолу:



В результате этого побочные полиэтилбензолы и соответствующее количество бензола превращаются в целевой продукт. Это позволяет снизить избыток исходного бензола, достичь его более высоких конверсий и, как следствие, сделать рецикл более экономичным.

6. Принцип рекуперации энергии материальных потоков для энергетического обеспечения функционирования установок по производству химических продуктов. Общая стратегия энергосбережения на химических производствах нацелена на увеличение степени полезного использования энергии на каждой стадии и сокращение этих стадий.

При этом руководящим принципом рекуперации энергии материальных потоков является принцип соответствия качества энергии поставленным задачам. Так, высокотемпературное тепло лучше использовать для генерирования водяного пара, с помощью которого вращают лопасти турбин, приводящих в движение насосы и компрессоры установок. Такое решение предполагает трансформацию части высокотемпературного тепла в высокоорганизованную энергию поступательного движения.

Использование высокотемпературного тепла для целей подогрева нецелесообразно, поскольку в этом случае заложенный в нем ресурс высокоорганизованной формы энергии рассеивается в виде низкотемпературного тепла. Аналогично, энергию сжатых потоков можно с помощью газовой турбины трансформировать в поступательную или электрическую энергию или использовать ее для разделения реакционных смесей на отдельные компоненты путем сочетания процесса адиабатического расширения с фракционированием.

Если температуры материальных потоков умерены, то разумным способом утилизации их тепла является подогрев реагентов. Если температуры ещё ниже, то тепло материальных потоков целесообразнее использовать для обогрева бытовых помещений.

Другими важными факторами экономии тепла материальных потоков являются интенсификация гидродинамического режима в процессах

теплообмена и эффективная изоляция аппаратуры и трубопроводов, работающих при высоких температурах с целью минимизации тепловых потерь в окружающую среду.

Завершая рассмотрение технологических принципов ресурсосберегающих технологий, следует подчеркнуть, что их успешная реализация может быть достигнута при оптимальном сочетании рассмотренных методов.

Поэтому для внедрения ресурсосберегающих и энергосберегающих процессов процессы в химическую отрасль, нужно выполнить следующие задачи:

1. Ввести новейшие технологий и процессы, их применение и автоматизация;
2. Использовать определённое сырьё и материалы, которые будут сберегать энергию и ресурсы на химических предприятиях;
3. Принять специальные меры, которые позволят более эффективно управлять процессами на химических предприятиях;
4. Организовать мероприятия с целью снизить пагубное влияние на экологию и окружающую среду;
5. Разработать и ввести новейшие стандарты работы химических предприятий, которые направлены на преимущественное использование ресурсо- и энергосберегающих технологий.

Стоит учесть, что производство нефтепродуктов и топлива, а также машиностроения и ядерных материалов особенно нуждается во введении новейших технологий и различных процессов, которые позволяют сократить потребление ресурсов и энергии.

Рассмотрим перечень мер, которые позволят реализовать проекты по введению ресурсо- и энергосберегающих процессов в химической отрасли следующие:

1. Производства переведены на более экономичные и безопасные для окружающей среды источники энергии;

2. Введены новейшие технологии, которые снижают потребление энергии на производствах, а также установлено новое оборудование и изменены производственные процессы;

3. Отходы производства используют для вторичной переработки или для получения из них энергии;

4. Производства используют новые материалы и вещества;

5. Заменены энергоёмкие и ресурсозатратные процессы на более экономичные;

6. Производства стали более автоматизированными;

7. Расходования реагентов перешли на более экономичную модель.

Все вышеперечисленные меры помогут достичь решения многих глобальных задач. Например, повышение работоспособности химических производств, при это снижая энерго- и ресурсопотребление, а также понижение выбросов отходов в окружающую среду.

## Список литературы

1. Теоретические основы энерго- и ресурсосбережения в химической технологии : учебное пособие / О.А. Тишин, В.Н. Харитонов, Н.Ц. Гатапова, А.Н. Колиух. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 92 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-8265-1152-7.

2. Демьянова В.С., Чумакова О.А., Гусев А.Д. Ресурсосбережение как средство защиты окружающей среды // Региональная архитектура и строительство. 2009. № 2. С. 52–55.

3. Калекин, В.С. Теоретические основы энерго- и ресурсосбережения в химической технологии : учеб. пособие / В.С. Калекин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2006. – 92 с.

4. Методы термодинамического анализа энерго-химикотехнологических систем : учеб. пособие / Г.Н. Злотин, Е.А. Федянов, А.А. Буров, М.С. Приходько. – Волгоград : ВолгГТУ, 1995. – 75 с.

5. Лазарева Л.П., Казачкова Е.А. Ресурсосберегающие технологии. Теория и прикладные задачи: учебное пособие / Инженерная школа ДВФУ. – Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2017. – 76 с. ISBN 978-5-7444-4035-

6. Лобанов Н.Ф. Т 291 « Теоретические основы энергоресурсосбережения». Учебное пособие изд. 2-е, переработанное и дополненное / ГОУ ВПО «РХТУ им. Д.И.Менделеева», Новомосковский институт (филиал); Новомосковск, 2011. – 64 с.

7. Тишин, О.А. Теоретические основы энерго- и ресурсосбережения : учеб. пособие / О.А. Тишин, В.Н. Харитонов. – Волгоград : РПК «Политехник», 2009. – 95 с.

8. ГОСТ Р 52104-2003. Ресурсосбережение. Термины и определения.

9. ГОСТ Р 52106-2003. Ресурсосбережение. Общие положения.

10. ГОСТ Р 52107-2003. Ресурсосбережение. Классификация и определение показателей.

12. ГОСТ 30772-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения.
13. ГОСТ 27322-87. Энергобаланс промышленного предприятия. Общие положения.
14. ГОСТ Р 51379-99. Энергосбережение. Энергетический паспорт промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов. Основные положения. Типовые формы.
15. ГОСТ Р 51380-99. Энергосбережение. Методы подтверждения соответствия показателей энергетической эффективности энергопотребляющей продукции их нормативным значениям. Общие требования.
16. ГОСТ Р 51387-99. Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения.
17. ГОСТ Р 51541-99. Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения.
18. ГОСТ Р 54098-2010. Ресурсосбережение. Вторичные материальные ресурсы. Термины и определения.
19. ГОСТ Р 54195-2010. Ресурсосбережение. Промышленное производство. Руководство по определению показателей (индикаторов) энергоэффективности.
20. Р 50.1.025-2000. Энергосбережение. Методы оценки точности и воспроизводимости результатов испытаний по оценке показателей энергетической эффективности.
21. Р 50.1.026-2000. Энергосбережение. Методы подтверждения показателей энергетической эффективности. Общие требования.

Электронное учебное издание

Инна Николаевна **Хлобжева**  
Тамара Викторовна **Крекалева**

**ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС**  
**«РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ**  
**В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ»**

*Учебное пособие*

*Электронное издание сетевого распространения*

Редактор *Н.И. Матвеева*

Темплан 2023 г. Поз. № 10.  
Подписано к использованию 21.07.2023. Формат 60х84 1/16.  
Гарнитура Times. Усл. печ. л. 3,9.

Волгоградский государственный технический университет.  
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.

ВПИ (филиал) ВолгГТУ.  
404121, г. Волжский, ул. Энгельса, 42а.