

Министерство образования
и науки Российской Федерации



**Уральский
федеральный
университет**
имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

Ф.М. Черномуров, В.П. Ануфриев, Л.М. Теслюк

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

Учебное электронное текстовое издание

Научный редактор: доц., канд. хим. наук И.В. Рукавишникова
Подготовлено кафедрой экономики природопользования

Учебное пособие предназначено для подготовки бакалавров и магистров по направлению 080200 «Менеджмент» при изучении таких дисциплин, как «Современные технологии в нефтегазохимическом комплексе», «Основы энерго- и ресурсосбережения», «Добыча и транспортировка нефти и газа», «Теория и практика энерго- и ресурсосбережения», «Управление энерго- и ресурсосбережением».

Пособием могут воспользоваться слушатели курсов профессиональной подготовки и переподготовки кадров, научные работники, аспиранты, преподаватели и специалисты, занимающиеся вопросами энерго- и ресурсосбережения на предприятиях промышленного комплекса.

Екатеринбург
2014

Этот труд подготовлен в память об одном из основателей отечественной школы энергосбережения, талантливом ученом, докторе химических наук, профессоре УГТУ–УПИ, действительном члене Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова Федоре Максимовиче Черномурове.



Ф.М. Черномуров родился 14 февраля 1943 года в городе Грозный. Окончил физико-механический факультет Ленинградского политехнического института им. М.И. Калинина, получив специальность «инженер-теплофизик». Десять лет проработал профессором и заведующим кафедрой «Машины и аппараты химических производств» ХТФ УГТУ–УПИ.

С 1988 по 2004 год Ф.М. Черномуров являлся директором муниципального учреждения «Энергосбережение» г. Екатеринбурга, с 1999 по 2007 год – председателем Совета Директоров ОАО «Уральский центр энергосбережения и экологии».

Федора Максимовича Черномурова отличали глубокая преданность науке, творческая энергия, завидная работоспособность. Он был крупным специалистом в области теплофизики и металлургической теплотехники. Особый вклад внес в решение проблем энерго- и ресурсосбережения, внедрения экологически чистых энерготехнологических комплексов, обеспечивающих предельную замкнутость материальных энергетических потоков в рамках единичного аппарата, цеха, предприятия. Он автор 150 научных трудов, в том числе 5 монографий. 49 авторских свидетельств и патентов на изобретение. Яркий энтузиаст энергоэффективности, он много сделал для появления в Екатеринбурге Энергетического центра Европейского союза, работавшего по программе ТАСИС с 1995 по 1999 год. Главная задача Энергетического центра ЕС – ознакомление как с новейшими энергосберегающими технологиями ЕС, США и Японии, так и наилучшими отечественными разработками, механизмами финансирования энергосбережения в увязке с вопросами экологии и

изменения климата. При ЭЦ ЕС действовал общественный Энергетический клуб, который бессменно возглавлял Федор Максимович, позволявший свободно высказывать свою точку зрения представителям и поставщика, и потребителя, проектантам и производственникам. Не только одаренный ученый, но и успешный шахматист, он выступал в сборной профессорско-преподавательского состава УПИ на второй доске. Писал стихи, играл на гитаре и даже переложил на музыку стихи В. Маяковского «Мне и рубля не накопили строчки...»

Представляемое учебное пособие – комплексный труд, в котором представлен широкий диапазон научно-методологических, теоретических и прикладных аспектов обеспечения энерго- и ресурсосбережения в технологиях химических и нефтехимических производств.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1. РОЛЬ ГОСУДАРСТВА В ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИИ	10
1.1. Нормативно-правовая база энерго- и ресурсосбережения	10
1.2. Особенности энерго- и ресурсосбережения в некоторых отраслях промышленности	16
1.2.1. Химическая промышленность	16
1.2.2. Нефтехимическая промышленность	19
1.2.3. Нефтяная промышленность	22
1.2.4. Газовая промышленность	25
2. УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОПОТРЕБЛЕНИЕМ	27
2.1. Системы энергоснабжения промышленных предприятий	27
2.2. Энергетический менеджмент	29
2.3. Элементы системного подхода к решению проблем энерго- и ресурсосбережения	32
2.4. Информационные системы	40
2.5. Системы сбора и обработки информации о расходе материальных и энергетических ресурсов	41
3. ЭНЕРГО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АУДИТ ПРЕДПРИЯТИЙ	49
3.1. Содержание энерго-экологического аудита промышленных предприятий	49
3.2. Энерго-экологический аудит – экономический инструмент управления энергосбережением	54
3.3. Общая модель энерго-экологического аудита	56
4. ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ	58
4.1. Структура энергопотребления	58
4.2. Вторичные энергетические ресурсы	61
4.3. Энерготехнологические системы в химической технологии	63
4.4. Материальный и энергетический балансы	65
5. ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС КАК СИСТЕМА	67

5.1. Оборудование химического производства	67
5.2. Перестраиваемые химико-технологические системы.....	72
5.3. Однородные химико-технологические системы	74
5.3.1. Системы химических реакторов.....	75
5.3.2. Системы разделения продуктов.....	75
5.3.3. Системы теплообменников	76
6. ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.....	77
6.1. Эффективность химико-технологической системы	77
6.2. Управление химическим производством	81
6.3. Пуск и остановка химического производства.....	88
6.4. Безопасность и диагностика химико-технологической системы....	90
7. ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА КАК СИСТЕМА	95
7.1. Энерго- и ресурсосбережение и промышленная экология.....	95
7.2. Взаимодействие производства и окружающей среды.....	103
7.3. Контроль состояния окружающей среды. Предельно допустимые концентрации примесей в атмосфере.....	107
7.4. Предельно допустимые выбросы в атмосферу	110
7.5. Мониторинг окружающей среды	111
7.6. Экономические последствия загрязнения окружающей среды	112
8. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ БЕЗОТХОДНЫХ ПРОИЗВОДСТВ	114
8.1. Классификация отходов	114
8.2. Концепция минимизации отходов.....	114
8.3. Вторичные материальные ресурсы	117
8.4. Открытые и замкнутые схемы химического производства	118
8.5. Безотходные производства.....	119
8.6. Экономическая эффективность безотходных производств.....	124
9. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ.....	128
9.1. Виды вредных воздействий химических производств	

на биосферу	128
9.2. Водные ресурсы и химическая технология	134
9.3. Промышленная водоподготовка.....	140
9.4. Водооборотные циклы химических производств	142
10. ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.	152
10.1. Переработка твердых отходов	154
10.2. Утилизация отходов пластмасс и эластомеров	158
10.3. Утилизация и обезвреживание сточных вод	160
10.4. Утилизация и обезвреживание газообразных отходов	166
10.5. Утилизация и обезвреживание шламов химических производств	171
10.6. Обезвреживание особо токсичных и радиоактивных отходов ...	173
11. ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ.....	178
11.1. Химическая переработка нефти.....	178
11.2. Каталитический риформинг углеводородов	181
11.3. Производство низших олефинов пиролизом углеводородов	185
11.4. Производство этилбензола и диэтилбензола.....	192
11.5. Производство стирола	196
11.6. Производство полиолефинов и полистирола	202
11.7. Переработка нефтяного попутного газа (НПГ).....	213
11.8. Производство метанола	225
12. ПРОБЛЕМЫ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ПОЛИТИКИ В РОССИИ	231
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	234
ПРИЛОЖЕНИЕ. УТИЛИЗАЦИЯ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА (ПНГ) В КОНДИНСКОМ РАЙОНЕ (ХМАО-ЮГРА, РОССИЯ)	236

ВВЕДЕНИЕ

Для развития экономики любого хозяйствующего субъекта требуются объективные данные о состоянии и перспективах развития материальной базы, степени эффективности использования энергетических ресурсов, вовлечения в хозяйственный оборот вторичного сырья и энергии.

Опыт последних лет убедительно показывает, что обеспечить устойчивое развитие предприятия можно, реализуя комплекс мероприятий, направленных на повышение эффективности использования сырья и энергии, снижение доли энергетической и сырьевой составляющей в себестоимости выпускаемой продукции.

Главным критерием оценки эффективности является замкнутость материальных и энергетических потоков в рамках единичного аппарата, цеха, группы цехов, предприятия.

Известно, что в качестве топлива может выступать любое вещество, при окислении которого выделяется достаточное количество теплоты для реализации того или иного технологического процесса. В химической технологии предпочтение отдается автотермическим процессам, протекающим за счет экзотермических эффектов, внутренней энергии полупродуктов, использования (утилизации) вторичных материальных и энергетических ресурсов.

Преимуществом России всегда было наличие огромных запасов сырьевых ресурсов, в том числе и выступающих в качестве топлива. Относительно малый объем геологоразведочных работ, все большая удаленность и глубина залегания месторождений, отсутствие транспортных коммуникаций затрудняют развитие горнодобывающего комплекса. Положение усугубляется тем, что традиционно экономика России ориентирована на развитие ресурсоемких и энергоемких отраслей промышленности, таких как металлургическая, химическая и энергетическая отрасли. Общий коэффициент полезного действия от добычи и переработки сырья до производства целевого продукта не превышает 3–5 %, что ведет к резкому возрастанию давления антропогенного фактора на биосферу.

Неэффективное использование сырья, топлива и энергии обусловлено несовершенством действующих правовых, финансово-экономических и ценовых механизмов, слабо стимулирующих производителей и потребителей энергоресурсов снижать затраты на топливо и энергию. Ограниченное производство и использование энергосберегающей техники, приборов учета и контроля потребляемых энергоресурсов, специальных материалов вызвано недостаточной платежеспособностью, неразвитостью инфраструктуры рынка энергосберегающей техники, недостатком оборотных средств у предприятий, сложностью получения на приемлемых условиях кредитов и инвестиций.

Особую актуальность приобретает вопрос уменьшения выбросов вредных веществ за счет совершенствования технологических процессов, осуществления дополнительных мер по очистке газообразных полупродуктов с последующей их глубокой переработкой, применения современного пылеулавливающего и утилизационного энергетического оборудования.

Энерго- и ресурсосбережение открывает перед человечеством новые возможности комплексного решения экономических, экологических, научно-технических и других проблем, позволяя при этом активно формировать благоприятную среду обитания.

В Энергетической стратегии до 2030 года в качестве основных направлений выделены следующие:

- 1) повышение эффективности воспроизводства, добычи и переработки топливно-энергетических ресурсов для удовлетворения внутреннего и внешнего спроса на них;
- 2) модернизация и создание новой энергетической инфраструктуры на основе масштабного технологического обновления энергетического сектора экономики страны;
- 3) формирование устойчиво благоприятной институциональной среды в энергетической сфере;

4) повышение энергетической и экологической эффективности российской экономики и энергетики, в том числе за счет структурных изменений и активизации технологического энергосбережения;

5) дальнейшая интеграция российской энергетики в мировую энергетическую систему.

Комплексный подход к решению экономических, технологических, экологических и энергетических задач в одном технологическом агрегате или одной технологической схеме открывает новые пути повышения эффективности многих технологических процессов в химической, микробиологической, нефтехимической и ряде других отраслей промышленности.

В данном пособии авторами предпринята попытка обобщить имеющиеся данные, касающиеся энерго- и ресурсосбережения на предприятиях химической и нефтехимической промышленности. Особое внимание уделено совместному анализу эколого-энергетических и экономических проблем энерго- и ресурсосбережения, энергетическому менеджменту, разработке и реализации энерго- и ресурсосберегающих проектов, формированию их инвестиционной привлекательности. В учебном пособии приведены примеры аппаратурного оформления отдельных химико-технологических процессов, направленных на эффективное использование сырья, топлива и энергии.

Учебное пособие предназначено для подготовки бакалавров и магистров по направлению 080200 «Менеджмент» при изучении таких дисциплин, как «Современные технологии в нефтегазохимическом комплексе», «Основы энерго- и ресурсосбережения», «Добыча и транспортировка нефти и газа», «Теория и практика энерго- и ресурсосбережения», «Управление энерго- и ресурсосбережением».

Пособием могут воспользоваться слушатели курсов профессиональной подготовки и переподготовки кадров, научные работники, аспиранты, преподаватели и специалисты, занимающиеся вопросами энерго- и ресурсосбережения на предприятиях промышленного комплекса.

1. РОЛЬ ГОСУДАРСТВА В ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИИ

1.1. Нормативно-правовая база энерго- и ресурсосбережения

Нормативно-правовая база является основой проведения долгосрочной политики энерго- и ресурсосбережения.

Нормативно-правовые акты Российской Федерации в сфере энергосбережения:

1. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

2. Распоряжение Правительства РФ от 08.01.09 г. №1-р «Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года».

3. Постановление Правительства РФ от 31.12.2009 № 1225 «О требованиях к региональным и муниципальным программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности».

4. Постановление Правительства РФ от 01.06.2010 № 391 «О порядке создания государственной информационной системы в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности и условий для ее функционирования».

5. Постановление Правительства РФ от 25.01.2011 № 20 «Об утверждении правил предоставления федеральными органами исполнительной власти субъектов РФ и органами местного самоуправления информации для включения в ГИС в области энергосбережения».

6. Постановление Правительства РФ от 05.09.2011 № 746 «Об утверждении правил предоставления субсидий из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации на реализацию региональных программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности».

7. Распоряжение Правительства РФ от 27.09.2012 № 1794-р «План мероприятий по совершенствованию государственного регулирования в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности в Российской Федерации».

Пакет нормативно-правовых документов по энергосбережению открывает Федеральный закон Российской Федерации «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Принятие закона существенным образом упростило порядок разработки региональных нормативных документов, посвященных проблеме энергосбережения.

До недавнего времени среди энергетиков не существовало однозначного мнения о целесообразности и правомерности использования термина «энергосбережение». Более привычными оставались такие понятия, как энерговооруженность труда, удельный расход энергии на единицу валового внутреннего продукта, энергоэффективность оборудования, энергоемкость продукции и т. п.

В Законе энергосбережению дано достаточно полное определение: «энергосбережение – реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования (в том числе объема произведенной продукции, выполненных работ, оказанных услуг)».

Государственное регулирование в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности осуществляется путем установления:

- 1) требований к обороту отдельных товаров, функциональное назначение которых предполагает использование энергетических ресурсов;
- 2) запретов или ограничений производства и оборота в Российской Федерации товаров, имеющих низкую энергетическую эффективность, при условии наличия в обороте или введения в оборот аналогичных по цели использования товаров, имеющих высокую энергетическую эффективность, в количестве, удовлетворяющем спрос потребителей;

- 3) обязанности по учету используемых энергетических ресурсов;
- 4) требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений;
- 5) обязанности проведения обязательного энергетического обследования;
- 6) требований к энергетическому паспорту;
- 7) обязанности проведения мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в отношении общего имущества собственников помещений в многоквартирном доме;
- 8) требований энергетической эффективности товаров, работ, услуг, размещение заказов на которые осуществляется для государственных или муниципальных нужд;
- 9) требований к региональным, муниципальным программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- 10) требований к программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности организаций с участием государства или муниципального образования и организаций, осуществляющих регулируемые виды деятельности;
- 11) основ функционирования государственной информационной системы в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- 12) обязанности распространения информации в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- 13) обязанности реализации информационных программ и образовательных программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- 14) порядка исполнения обязанностей, предусмотренных настоящим Федеральным законом;
- 15) иных мер государственного регулирования в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности в соответствии с настоящим Федеральным законом.

Важным для формирования правового поля является разработка оптимальной применительно к условиям региона схемы управления политикой энергосбережения. Особая роль отводится Федеральной и региональным энергетическим комиссиям.

Схема управления энергосбережением, как правило, предусматривает образование специальных организаций – центров энергосбережения, энергетических банков, целевых межотраслевых внебюджетных фондов энергосбережения. Центры энергосбережения совместно с энергосберегающими и энергосервисными компаниями осуществляют экспертизу проектов, проводят при необходимости отбор наиболее перспективных энергосберегающих проектов, определяют вероятных исполнителей (как правило, на конкурсной основе).

Нормативно-правовая база должна постоянно совершенствоваться с учетом накопленного опыта работы и пополняться в определенном порядке в процессе законотворческой деятельности. Конечная цель – создать прозрачную систему расчета за потребляемую энергию, выгодную всем участникам, включая производителя, поставщика (перепродавца) энергии и потребителя.

По аналогии с энергосбережением определение термина «ресурсосбережения» можно сформулировать следующим образом: ресурсосбережение – это совокупность политических, экономических, нормативно-правовых, информационно-образовательных, экологических мер, направленных на снижение расхода материальных ресурсов, вовлечение в хозяйственный оборот вторичного сырья и расширение на этой основе сырьевой базы экономики страны.

Непосредственно деятельность в области производственного экологического управления предприятием регулируется ГОСТ Р ИСО 14031-2001 «Управление окружающей средой. Оценивание экологической эффективности. Общие требования».

Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» является основным документом, определяющим и регулирующим природоохранительную деятельность в Российской Федерации.

Настоящий Федеральный закон определяет правовые основы государственной политики в области охраны окружающей среды, обеспечивающие сбалансированное решение социально-экономических задач, сохранение благоприятной окружающей среды, биологического разнообразия и природных ресурсов в целях удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений, укрепления правопорядка в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности.

Экологический контроль ставит своими задачами наблюдение за состоянием природной среды и ее изменением под влиянием хозяйственной или иной деятельности; проверку выполнения планов и мероприятий по охране природы, рациональному использованию природных ресурсов, оздоровлению окружающей природной среды, соблюдению требований природоохранительного законодательства и нормативов качества окружающей природной среды. Система экологического контроля включает государственный, производственный и общественный контроль.

В соответствии со статьей 67, «производственный контроль в области охраны окружающей среды (производственный экологический контроль) осуществляется в целях обеспечения выполнения в процессе хозяйственной и иной деятельности мероприятий по охране окружающей среды, рациональному использованию и восстановлению природных ресурсов, а также в целях соблюдения требований в области охраны окружающей среды, установленных законодательством в области охраны окружающей среды».

Следует подчеркнуть, что в соответствии с Законом устанавливается обязательное осуществление производственного экологического контроля, в Положение о котором предприятие может включить любые требования, не противоречащие действующему природоохранительному законодательству. Практически речь здесь идет о самоконтроле предприятия над своей деятельностью в области охраны окружающей среды.

К другим основным действующим нормативным актам, регулирующим различные аспекты экологической деятельности предприятий, относятся:

1. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ.
2. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ.
3. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ.
4. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ.
5. Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления».
6. Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха».
7. Федеральный закон от 24.07.2007 № 209-ФЗ «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации».

В приведенных документах в законодательном порядке закрепляется необходимость проведения системной работы на предприятии в области энерго- и ресурсосбережения.

Важнейшим направлением ресурсосбережения является использование вторичных материальных ресурсов. Имеется шесть категорий вторичных материальных ресурсов.

1. *Смешанные отходы*, представляющие собой вторичные материалы, которые содержатся в смешанных твердых отходах, включая бытовые, отходы торговых и промышленных предприятий и отходы, собираемые ЖЭУ, частными подрядчиками. Очень небольшое количество этих вторичных материалов утилизируется в настоящее время для повторного использования, но потенциал для этих целей весьма значительный.

2. *Оборотные отходы предприятий*. Эти отходы образуются в производственных процессах и вновь направляются для использования в них, а не поступают на рынок лома и других металлических отходов производства.

3. *Лом металлообработки*, который образуется в результате переработки металлических материалов в продукцию, используемую потребителем. Этот материал, однако, отличается высоким качеством и может повторно использоваться в производстве через обычные каналы применения.

4. *Амортизационный лом* – это вышедшие из употребления крупные предметы потребления: списанные суда, рельсы, паровозы, вагоны, химические и металлические упаковки, автомобили и т. д.

5. *Другие отходы*: лом кирпича, стеклобой, отходы древесины, бумага, картон, солома и т. д.

6. *Переработка промышленных свалок*, которые являются отходами производства, черных металлов, алюминия, меди, огнеупоров, рудных пород и т. д.

Например, повторное использование черных металлов, алюминия и меди дает дополнительно в год около 6,3 млн тонн черных металлов, 363 тысяч тонн алюминия, 91 тысячу тонн меди и т. д. Утилизация и повторное использование этих материалов могли бы позволить сберечь значительное количество материальных и энергетических ресурсов в нашей промышленности.

1.2. Особенности энерго- и ресурсосбережения в некоторых отраслях промышленности

1.2.1. Химическая промышленность

Продукция химической промышленности практически вытеснила из употребления естественные продукты. Топливо и пластмассы, резина, технические газы, лекарства, одежда и продукты питания, красители – это неполный перечень классов химической продукции. Исторически замкнутая экономика и низкие потребительские требования к этой продукции, продиктованные тотальным государственным строем, не заставляли доводить технологические процессы до необходимого уровня, а дешевое сырье и топливные ресурсы усугубили положение расточительным потреблением, ядовитыми выбросами, сбросами.

В настоящее время научно-техническое развитие не оказывает существенного влияния на изменение технологического уклада химической индустрии. Так, доля производства прогрессивных материалов в 2–3 раза ниже, чем в развитых капиталистических странах. Доля продукции, выпускаемой по устаревшим технологиям первого поколения, составляет около 60 %, что приводит к дополнительным издержкам производства и ухудшению экологической

безопасности. Такое состояние технического уровня привело к снижению эффективности и конкурентоспособности химической продукции.

Средняя энерго- и материалоемкость по основным химическим продуктам в 1,5–2 раза выше, чем в ведущих странах, на 20–25 % выше потребление технологической и оборонной воды. Смена поколений многих технологических процессов осуществляется через 20–25 лет при 7–10-летних сроках смены в ведущих странах. Износ основных фондов превышает 60 %,

Тщательность отработки химико-технологических процессов, качественное оборудование, автоматизация процессов позволяют не только уменьшить энергопотребление, но и, улучшив качество продукции, конкурировать на мировом рынке. В настоящее время отсутствие собственных финансовых средств и неэффективное управление производством практически на всех предприятиях затрудняет внедрение перечисленных мер.

В 2008 г. Министерство промышленности и энергетики Российской Федерации разработало «Стратегию развития химической и нефтехимической промышленности на период до 2015 года», главной целью которой является формирование конкурентоспособного химического комплекса.

Стратегией предусматривается разработка и реализация ряда целевых программ, отдельных проектов и обеспечивающих (непрограммных) мероприятий, нацеленных на эффективное решение системных социально-экономических проблем, экономической, оборонной и экологической безопасности страны, способствующих созданию долговременных условий для устойчивого развития предприятий химического комплекса и повышение их конкурентоспособности с учетом развития глобальных рынков в условиях открытости экономики.

Предприятия химической промышленности потребляют около 16 % энергоресурсов всех предприятий промышленности, причем 70 % из них идет непосредственно на технологические процессы. Наибольший расход энергоресурсов приходится на производство аммиака, желтого фосфора, метанола, карбамида, пластмассы, каустической соды, хлора, азотной кислоты.

Крупные потребители энергоресурсов – азотнотуковые заводы. На азотнотуковом заводе (АТЗ) первоначально синтезируют простейшее химическое соединение азота с водородом – аммиак, затем перерабатывают его в более сложные химические соединения азота. Технологические схемы АТЗ различаются способами получения водорода и приготовления азотноводородной смеси. Конечной продукцией АТЗ являются аммиачная селитра, карбамид и слабая азотная кислота. Исходным сырьем служат природный газ и воздух. Основные энергоносители – электроэнергия, пар, вода. Электроприемники завода: поршневые и центробежные компрессоры, насосы, вентиляторы. В табл. 1. приведены характеристики потребления энергоресурсов при производстве соединений связанного азота на АТЗ.

Таблица 1

Потребление энергоресурсов в производстве химических продуктов на АТЗ

Производство	Годовая производительность, тыс. т	Часовое потребление энергоресурсов			
		Электроэнергия, тыс. кВт-ч	Пар, т	Газ, тыс. м ³	Вода, тыс. м ³
Аммиак	170	33,0	10,0	20,0	11,0
Карбамид	70	2,5	15,0	–	1,8
Слабая азотная кислота	190	8,5	6,0	–	4,1
Аммиачная селитра	300	0,5	14,0	–	2,0

Крупными потребителями электроэнергии являются заводы по выпуску фосфора из природных фосфатов путем восстановления углеродистыми материалами в рудно-термических трехфазных печах мощностью до 100 МВА. Энергозатраты в производстве фосфора составляют 13 800–15 100 кВт·ч/т.

В химической промышленности основными направлениями энерго- и ресурсосбережения являются:

1) повышение КПД печей путем внедрения теплоутилизационного оборудования, замена устаревших горелочных устройств, усиление теплоизоляции,

оптимизация режима горения на основе оснащения печей средствами автоматического контроля и управления режимом горения;

2) комбинирование технологических процессов, применение новых высокоэффективных катализаторов и экстрагентов;

3) модернизация действующих технологических установок;

4) комбинированное производство электроэнергии и тепла с использованием газотурбинных ТЭЦ;

5) плановая замена действующих агрегатов крупнотоннажных производств аммиака на агрегаты нового поколения АМ-80, АМ-85 и АМ-90;

6) совершенствование технологических процессов производства калийных удобрений, апатитового концентрата, желтого фосфора, капролактама, карбамида, серной кислоты и других продуктов;

7) ввод высокопроизводительных агрегатов АК-72, АК-72М по производству слабой азотной кислоты.

1.2.2. Нефтехимическая промышленность

Одной из самых важных отраслей химической промышленности является нефтехимическая промышленность. Данная отрасль занимается производством синтетических материалов и различных изделий, используя для этого продукты переработки нефти. На предприятиях нефтехимической промышленности производятся такие виды материалов, как каучук синтетический, сажа, полиэтилен, пропилен, этилен, бытовая химия и моющие средства, удобрения. То есть все, чем человек уже давно привык пользоваться в повседневной жизни.

В нефтехимической промышленности основным направлением энерго- и ресурсосбережения является техническое перевооружение производств бутиловых спиртов, синтетического каучука, этилена, пропилена со снижением удельных расходов природного газа.

План развития газо- и нефтехимии России на период до 2030 года, утвержденный приказом Минэнерго России от 1 марта 2012 г., определяет основные стратегические цели, а также направления, механизмы и инструменты их достижения на базе реализации крупных инвестиционных проектов по переработке

легкого углеводородного сырья в крупнотоннажную продукцию нефтегазохимии.

В ходе разработки Плана развития газо- и нефтехимии России на период до 2030 года была выявлена основная проблема отрасли – избыток нефтегазохимического сырья (сжиженные углеводородные газы, нефтяной этан) и высокий потенциал роста спроса на нефтегазохимическую продукцию при явном дефиците мощностей для производства базовых мономеров этилена и пропилена – пиролизом. В соответствии с Планом в период с 2010 по 2030 годы планируется активное строительство и расширение пиролизных мощностей в 4,8 раза по этилену (табл. 2).

Таблица 2

Количество крупных пиролизных мощностей и мощностей по дегидрированию, намечаемых к вводу в России (более 500 тыс. т/год по этилену или пропилену)*

Предприятие / название комплекса	Количество мощностей	Год ввода	Мощности по этилену, тыс. т.
ООО «Тобольск-Полимер»	1	2013 г.	500
ОАО «Салаватнефтеоргсинтез»	1	2016 г.	700
Саянский ГХК	1	2016 г.	610
Каспийский ГХК	1	2016 г.	600
ООО «Тобольск-Нефтехим»	1	2017 г.	1200.
Балтийский НХК, Ленинградская область	2	2018–2019 гг.	3050
ОАО «Нижнекамскнефтехим»	1	2020 г.	1000
Всего	8	2010–2020 гг.	7660

*При условии реализации всех заявленных в Плане проектов.

В настоящее время (2010 г.) в России действует одна установка мощностью 600 тыс. т/год на ОАО «Нижнекамскнефтехим».

Развитие мощностей отечественной нефтегазохимии в Плане до 2030 года предполагается осуществлять в рамках шести кластеров: Волжского, Западно-

Сибирского, Каспийского, Восточно-Сибирского, Дальневосточного и Северо-Западного. Кластеры размещены вблизи источников сырья и/или рынков сбыта. Создание кластеров позволит добиться сокращения затрат на логистику сырья и сбыт готовой продукции, экономии капитальных и операционных затрат, а также сбалансированного развития мощностей по производству и переработке нефтегазохимической продукции, прежде всего – этилена.

Полным ходом идут крупные стройки по трем проектам: производства полипропилена в Тобольске, АБС-пластика в Нижнекамске, поливинилхлорида в Кстово. Еще пять крупных инвестиционных проектов находятся на стадии детального проектирования и/или закупки оборудования: ШФЛУ-провод от Пуровска до ООО «Тобольск-Нефтехим», строительство Каспийского газохимического комплекса ОАО «НК «ЛУКОЙЛ», строительство Восточной нефтехимической компании ОАО «НК «Роснефть» в Приморском крае, расширение мощности пиролиза на площадке «Ангарского завода полимеров», строительство нового производства полистирола на ОАО «Нижнекамскнефтехим».

Проекты Западно-Сибирского кластера (Ленинградская область) пока находятся на этапе проработки. Их можно отнести ко «второй волне» инвестиционных проектов с планируемым окончанием реализации к 2020 году.

В случае реализации всех проектов, заявленных в Плане, российская нефтегазохимическая отрасль к 2030 году сделает качественный скачок вперед (табл. 3)

**Динамика потребления основных видов нефтегазохимической продукции
на душу населения в России, кг/чел.**

Наименование продукции	2009 г.	2010 г.	2015 г.	2020 г.	2025 г.	2030 г.	Целевое значение Плана на 2030 г.
Синтетические смолы и пластмассы*	19,5	22,9	34,5	53,2	62,0	68,9	> 60
Синтетические каучуки	1,5	1,8	2,3	2,8	3,4	4,1	> 3,5

*Включает полиэтилен, полипропилен, полистирол и сополимеры стирола, поливинилхлорид и сополимеры винилхлорида, АБС-пластики и поликарбонат.

1.2.3. Нефтяная промышленность

Нефтяная промышленность – отрасль экономики, занимающаяся добычей, переработкой, транспортировкой, складированием и продажей природного полезного ископаемого – нефти – и сопутствующих нефтепродуктов.

Предприятия нефтеперерабатывающей промышленности производят топливо для двигателей и самолетов, дизельное топливо, мазут, сжиженный нефтяной газ, смазочные масла и сырье для химических заводов. Сырая нефть очищается до нафты, которая служит сырьем для производства ацетилена, метанола, аммиака и многих других химических продуктов.

Современные нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) состоят из отдельных комплектных технологических установок, количество которых определяет годовую производительность НПЗ. Производительность крупных НПЗ достигает 20 млн т/год. В зависимости от выбранной структуры потребления нефтепродуктов может меняться технологическая схема НПЗ. Так, применяя различные технологические схемы НПЗ, можно изменять глубину переработки нефти, т. е. получать, например, выход мазутов 15–45 % (по весу от количества пере-

рабатываемой нефти). Имеются электроприемники общезаводского характера, из которых наиболее мощными являются блоки оборотной воды с насосными станциями мощностью несколько тысяч киловатт и товарно-сырьевая база с многочисленными насосами.

Около 50 % себестоимости продукции НПЗ составляют затраты на энергоресурсы. Основными потребителями энергии являются дистилляционные, отпарные и разделительные колонны, где сырая нефть разделяется на ряд конечных продуктов. 50 % потребляемой энергии идет на колонны первичной фракционной дистилляции (она расходуется для нагрева сырой нефти и получения пара, используемого в колонне). Еще 35 % энергии потребляется в установке для конверсии, а остальные 15 % – для конечной обработки продукции. Показатели, отражающие потребление энергии в процессах нефтепереработки, приведены в табл. 4.

Показатели технологических установок в процессах нефтепереработки

Наименование	Производительность, тыс. т/год	Установленная мощность, кВт
Вторичная перегонка бензина	1000	1646
Каталитический крекинг	2000	2717
Термический крекинг	750	910
Каталитический риформинг однопоточный	750	8674
Каталитический риформинг двухпоточный	450	893
Азеотропная перегонка	300	6159
Сернокислотная очистка вторичной перегонки	300	7359
Гидроочистка дизельного топлива	150	500
Непрерывное коксование в необогреваемых камерах	50	254
Контактное коксование	700	5340
Газофракционирование	300	5338
Сероочистка газа	500	2013
Сероочистка сухого газа	400	1164
Сернокислотное алкилирование	35	159
Полимеризация пропан-пропиленовой фракции	160	196
Депарафинизация	125	3897
Депарафинизация сдвоенная	250	9615
Обезмасливание газа	160	4316
Контактная очистка масел	330	554
Производство строительных и дорожных битумов	–	554
Производство катализатора для каталитического крекинга	–	5658
Производство катализатора для гидроочистки	–	1701
Производство присадок	6,64	180

В нефтяной промышленности в качестве приоритетных направлений в области энерго- и ресурсосбережения выделены следующие:

1) утилизация попутного нефтяного газа, в настоящее время сжигаемого в факелах 912 млрд. м³ в год;

2) создание и широкое применение блочно-комплектных автоматизированных газотурбинных теплоэлектроцентралей, работающих на сырой нефти и попутном нефтяном газе, в сочетании с котлами-утилизаторами, блоками по закачке в пласт дымовых газов с целью повышения их нефтеотдачи;

3) создание и внедрение парогенераторов и водогрейных котлов, специально приспособленных для работы на сырой нефти или попутном нефтяном газе для выработки тепла с целью его закачки в продуктивные пласты для повышения их нефтеотдачи.

1.2.4. Газовая промышленность

Основная задача газовой промышленности – добыча и разведка природного газа, газоснабжение по газопроводам, производство искусственного газа из угля и сланцев, переработка газа, использование его в различных отраслях промышленности и коммунально-бытовом хозяйстве.

В газовой промышленности энерго- и ресурсосбережение планируется осуществлять за счет:

- технического перевооружения газотранспортных систем с заменой низкоэкономичных газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом на высокоэкономичные с КПД 36–43 % (в комплекте с теплоиспользующим оборудованием);
- внедрения низконапорных технологий транспорта газа;
- широкого применения эффективных систем управления и антипомпажного регулирования;
- совершенствования системы измерения расхода газа;
- внедрения высокоэффективного утилизационного оборудования, в том числе регенераторов, подогревателей газа и теплообменников;
- использования парогазовых установок для приводов нагнетателей газа

и электрогенераторов;

- углубления комплексной переработки газа с извлечением ценных компонентов: серы, этана, пропан-бутана, гелия, водорода, и др.;
- увеличения на 15–20 % доли электропривода в системе транспорта газа, внедрение регулируемого привода;
- применения газорасширительных турбин на газораспределительных станциях и пунктах магистральных газопроводов для производства дополнительной электроэнергии без дополнительных затрат топлива;
- снижения удельного расхода газа на собственные нужды на 20–25 %
- использования вторичных энергоресурсов газокompрессорных станций на цели теплоснабжения.

2. УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОПОТРЕБЛЕНИЕМ

2.1. Системы энергоснабжения промышленных предприятий

Половина потребляемого промышленностью топлива и более трети электроэнергии преобразуется на специальных станциях и установках в энергетический потенциал разнообразных энергоносителей (теплоту пара и горячей воды, энергию сжатого воздуха, кислорода, технического холода и т. д.), применяемых в технологических комплексах предприятия. Остальная часть топлива и электроэнергии используется в технологических комплексах непосредственно.

Система энергоснабжения промышленного предприятия – это единый, взаимосвязанный технологический и экономический комплекс, включающий:

- сооружения и установки, обеспечивающие прием, трансформацию и аккумуляцию энергоресурсов и энергоносителей от районных или объединенных энергоснабжающих предприятий;
- энергетические станции и установки предприятий для централизованной выработки необходимых потребителям предприятия энергоресурсов и энергоносителей, их трансформации и аккумуляции (ТЭЦ, котельные, насосные, компрессорные, воздуходелительные станции и т. д.);
- утилизационные установки и станции, производящие энергоносители за счет использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) технологического комплекса предприятия;
- трубопроводные и иные подсистемы, обеспечивающие транспортировку к потребителям предприятия и распределение между ними энергоносителя и энергоресурсов, произведенных его энергетическими станциями и утилизационными установками, а также полученных со стороны энергоснабжающих организаций.

На большинстве промышленных предприятий в состав системы энергоснабжения в качестве подсистем входят системы паро- и теплоснабжения, снабжения твердым и жидким топливом, газоснабжения, электроснабжения, водоснабжения. Во многих отраслях промышленности к ним добавляются сис-

темы воздухообеспечения, обеспечения продуктами разделения воздуха (кислородом, азотом и др.), кондиционирования воздуха, хладоснабжения и др.

Энергетические станции и установки промышленных предприятий производят несколько видов энергоносителей или производят одни, а потребляют другие энергоносители, связывая подсистемы друг с другом и тем самым оказывая влияние на режимы и показатели работы каждой из них. Связи между подсистемами возникают и через те технологические аппараты и установки, которые потребляют энергоносители из одних подсистем, а произведенные за счет ВЭР в утилизационных установках иные энергоносители направляют к их потребителям через другие подсистемы.

Энергетические процессы могут быть разделены на силовые, тепловые, электрохимические, электрофизические и освещение.

К *силовым процессам* относятся процессы, на которые расходуется механическая энергия, необходимая для привода различных механизмов и машин (насосов, вентиляторов, компрессоров, дымососов, металлорежущих станков, подъемно-транспортного оборудования и т. д.).

Тепловые процессы – процессы, расходующие тепло различных потенциалов. В зависимости от температуры протекания выделяют высокотемпературные, среднетемпературные, низкотемпературные и криогенные процессы.

Высокотемпературные процессы осуществляются при температуре выше 500 °С. Различают термические процессы (термообработка, нагрев под прокатку, ковку, штамповку, плавление металлов) и термохимические процессы (производство стали, ферросплавов, выплавка чугуна, никеля, производство стекла, цемента и т. п.).

Среднетемпературные процессы осуществляются при температуре 150–500 °С (сушка, варка, выпаривание, нагрев, мойка).

Низкотемпературные процессы осуществляются при температуре ниже 150 °С (отопление, горячее водоснабжение, кондиционирование воздуха и др.).

Криогенные процессы происходят при температуре ниже –150 °С (разделение воздуха на составляющие, ожижение и замораживание газов и др.).

Электрохимические и электрофизические процессы осуществляются при использовании электрической энергии. К ним относятся электролиз металлов и расплавов, электрофорез, электронно-лучевая и светолучевая обработка металлов, плазменная и ультрафиолетовая обработка металлов и др.

В связи с постоянно растущими ценами на энергоресурсы в последнее время существенно возросла роль энергетики в экономике предприятия. Приобретение современных навыков управления энергетикой единичного агрегата, цеха, группы цехов, промышленного предприятия жизненно необходимо.

2.2. Энергетический менеджмент

Умелое управление энергопотреблением становится одним из главных качеств, по которым определяется уровень квалификации специалиста и его роль в экономическом процветании отдельно взятого промышленного предприятия. Создание усовершенствованной системы энергоснабжения и энергопотребления промышленного предприятия строится на следующих взаимосвязанных процессах:

- формирование тарифов на тепловую и электрическую энергию;
- санкции за перерасход энергии, несвоевременную оплату счетов;
- инвестиции – основной источник внедрения энергосберегающих технологий и оборудования;
- обучение методам контроля энергопотребления.

Проведение совместного энерго- и экологических аудитов, хотя и оправдано с технической, финансовой и организационной точки зрения, в действительности является скорее исключением, чем правилом. Происходит это чаще всего из-за отсутствия понимания важности данного мероприятия и его роли в процессе формирования инвестиционной привлекательности, недостаточной готовности специалистов к восприятию новых средств и методов формирования имиджа предприятия как надежного партнера и т. д.

Предлагается детально ознакомиться и по возможности осуществить попытку реализации следующих действий:

- получить навыки энергетического и экологического аудита;
- на базе данных энергетического и экологического обследования разработать план (программу) действий;
- оценить значимость, выполнить ранжирование и выбрать наиболее результативные мероприятия с точки зрения достигаемого эффекта;
- разработать бизнес-план;
- организовать с привлечением специализированных организаций работу по поиску инвесторов;
- разработать и подписать инвестиционное соглашение;
- осуществить контроль выполнения достигнутых соглашений.

Без современной профессиональной подготовки в области бизнеса и энергетического менеджмента мероприятия по повышению эффективности и предоставлению инвестиций не могут быть реализованы. Подготовленные специалисты должны иметь навыки по управлению энергоресурсами, внедрению энергосберегающих технологий. Они должны уметь создавать необходимые условия, подчеркивающие инвестиционную привлекательность своего предприятия, доказательно оттенять наиболее выгодные стороны бизнес-проектов, находить инвестора и работать с ним на долговременной основе. Такие профессиональные навыки и умения должны быть привиты не только специалистам – энергетикам и технологам, но также и тем, кто принимает решения в отношении энергоснабжения и энергопотребления, проектировщикам зданий и технологических процессов, инженерам промышленных предприятий, работникам заводских управлений.

Анализируя существующие тенденции, можно с большой уверенностью прогнозировать устойчивый рост тарифов на тепловую и электрическую энергию. Руководитель любого ранга обязан, учитывая эту тенденцию, взять под личный контроль динамику изменения одного из важнейших параметров, характеризующих эффективность работы предприятия, – удельного расхода энергии на единицу выпускаемой продукции. В этих условиях для предприятия возможны три сценария развития (рис. 1).

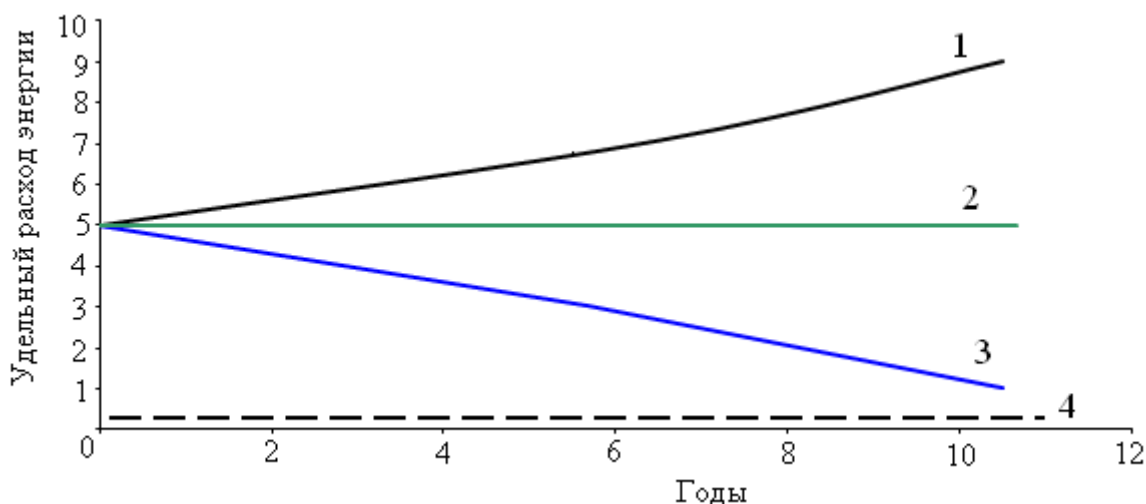


Рис. 1. Изменение затрат энергии на единицу выпускаемой продукции: 1, 2, 3 – возможные варианты энергопотребления обследуемого предприятия; 4 – эталонное предприятие

Кривая 1. Удельный расход энергии с течением времени растет.

В этом случае с учетом роста тарифов существенно увеличивается доля энергетической составляющей в цене продукта, снижается его конкурентоспособность. Банкротство предприятия с течением времени наступит неизбежно. Причем банкротство наступит тем быстрее, чем круче кривая роста удельных затрат энергии с течением времени.

Кривая 2. Удельный расход энергии со временем не изменяется.

Ситуация в этом случае аналогичная. Наступление банкротства происходит несколько позже. Реальные сроки зависят от темпов роста цен на энергоносители и складывающейся ситуации в том секторе рынка, где реализуется продукция предприятия.

Кривая 3. За счет проведения комплекса мероприятий по энергосбережению, внедрению энергоэффективных технологий, материалов и оборудования удельный расход энергии из года в год устойчиво снижается. Это означает, что предприятие развивается динамично. За ним будущее. Такое предприятие устойчиво занимает свой сектор рынка товаров или услуг.

Чтобы реализовать третий, наиболее благоприятный сценарий, руководитель предприятия обязан выполнить следующие организационные мероприятия, не требующие финансовых вложений:

1. Утвердить состав рабочей группы по повышению энергетической эффективности предприятия.

2. Назначить руководителя рабочей группы и его заместителей. Рекомендуется в состав рабочей группы, кроме энергетиков и специалистов-технологов, включить экономистов, сотрудников, имеющих навыки организационной работы по пропаганде передового опыта, обучения обслуживающего персонала, подведения итогов, анализа промежуточных и конечных результатов работы по направлениям деятельности.

3. Провести энергетическое и экологическое обследование предприятия, разработать программу действий, в том числе и обеспечивающих привлечение инвестиций на реализацию энергосберегающих проектов.

4. Разработать систему стимулирования за экономию и наложения штрафных санкций за перерасход энергии. Организовать систему учета и регулирования расходов всех видов энергоносителей, уделив особое внимание учету вторичных энергетических ресурсов и их степени утилизации.

5. Необходимо закрепить ответственных по направлениям, из которых можно выделить: технологическое и электроэнергетическое (силовое) оборудование; компрессорные и насосные установки; котельно-печное оборудование; здания и сооружения; тепловые и электрические сети; складское хозяйство; теплоснабжение; освещение; водоснабжение; водоотведение и т. д.

2.3. Элементы системного подхода к решению проблем энерго- и ресурсосбережения

Работы в области энергосбережения необходимо планировать на целевой основе с выделением в качестве приоритетного главного целевого вектора обеспечение надежности энергоснабжения с наименьшими затратами финансовых средств. В химической технологии, как и в других отраслях экономики, энерго- и ресурсосбережение невозможно осуществлять без учета основных тенденций развития информационных технологий в совокупности с элементами системного анализа.

В основу системного анализа положен принцип иерархического распределения энерго- и ресурсосберегающих мероприятий и проектов по срокам их реализации, капиталоемкости и ожидаемому эффекту.

За счет целенаправленного изменения параметров, влияющих на состояние и тенденции развития отдельных подсистем, предполагается осуществить переход интегрированной системы производства, передачи и потребления энергоресурсов к новому качеству, удовлетворяющему основным требованиям рыночной экономики, научно-технического прогресса. В этом заключается суть долгосрочного планирования энергосбережения в энергетике и химической технологии.

Для источника, вырабатывающего тепловую энергию, в качестве главных подсистем выделяют газоснабжение, воздухоснабжение, водоснабжение и водоподготовку, а также контроль и регулирование оптимального соотношения газ – воздух, утилизацию тепла продуктов сгорания, газогорелочные устройства, потребление топлива, выработку тепловой энергии и т. д.

Для тепловых сетей в качестве таких подсистем выделяют тепловую изоляцию, антикоррозионную защиту, качество сетевой воды, запорно-регулирующую арматуру, материал труб и др.

Параметрами, влияющими на состояние производственных подразделений как подсистем, потребляющих энергоресурсы (тепловую энергию, холодную и горячую воду, электроэнергию), являются площадь, вид ограждающих конструкций (входные двери, ворота, площадь остекления, высота здания), наличие узла учета и систем автоматического регулирования потребления энергоресурсов и т. д.

Чтобы получить представление о состоянии промышленного предприятия как системы, необходимо собрать и обработать огромный объем информации.

Наличие коммерческого учета и средств регулирования расхода энергоносителей – это первый этап внедрения информационных технологий в такие важные отрасли экономики страны, как энергетика и химическая технология.

Вторым этапом внедрения информационных технологий является создание необходимых баз данных, непрерывная работа с базами данных, их актуализация, выдача результатов обработки данных в форме рекомендаций, обеспечивающих наиболее эффективные способы решения возникающих проблем.

Внедрение информационных технологий, а также базирующейся на этой основе системы целевого планирования открывают возможность снижения расхода энергетических ресурсов на 10–20 % без каких-либо дополнительных затрат, кроме как на создание самой системы мониторинга и системы целевого планирования. Наличие данной системы повышает надежность информации и принимаемых на ее основе управленческих решений, дает возможность оценивать эффективность вложений финансовых средств.

Основой мониторинга являются энергобалансы, составляемые на регулярной основе, после проведения энергетического аудита. Энергетический аудит проводят по данным бухгалтерской отчетности (документальный) или за счет тотального коммерческого учета расхода всех видов энергоресурсов и определения их параметров (инструментальный).

При мониторинге предполагается использование двух видов сбора и обработки данных: ручной и автоматический.

При ручном сборе данные вводятся в компьютер и обрабатываются с использованием соответствующего программного обеспечения.

Автоматический сбор данных осуществляют подключенными к компьютеру счетчиками. Их данные непрерывно обрабатываются и выводятся в удобном для пользователя формате. Понятно, что монтаж коммуникационных линий увеличивает затраты на создание таких систем, но при этом резко сокращаются текущие затраты на обслуживание, повышается точность.

Третьим этапом развития информационных технологий является не только обработка массивов данных, но и анализ возможных последствий от преднамеренного или случайного изменения отдельных факторов, характеризующих состояние отдельных подсистем.

Например, при управлении процессами производства, транспортировки и потребления энергии в пределах промышленного предприятия у руководителя соответствующего ранга всегда существует несколько вариантов. Необходимую помощь при анализе и выборе оптимального варианта оказывают математические модели экономических и технологических процессов, построенные на их основе вычислительные алгоритмы и компьютерные программы, а также системы управления базами данных (СУБД). Информационно-аналитическое обеспечение составляет суть третьего этапа внедрения информационных технологий в решение проблем экономии энергоресурсов.

Конечным продуктом на данном этапе является создание автоматизированной системы управления топливно-энергетическим комплексом, ориентированной на решение основной экономической проблемы – повышение эффективности и надежности систем энергоснабжения и энергопотребления.

Базой для принятия оптимальных стратегических решений в области энергетического обеспечения являются:

- мониторинг и определение на его основе нормативов себестоимости с учетом внешних и внутренних условий формирования топливного рынка и реструктуризации топливно-энергетического комплекса предприятия;
- автоматизированный расчет присоединенной полезной нагрузки, топливных режимов источников теплоснабжения;
- отдельный учет затрат на выработку и транспортировку тепловой энергии;
- формирование основных видов топливных и материальных балансов.

Для любого объекта энергетики и промышленного предприятия должны фиксироваться отклонения фактических и нормативных затрат.

Данные мониторинга составляют информационную базу автоматизированной системы управления топливно-энергетическим и жилищным комплексом, на основе которой можно получить ответ практически на любой вопрос, связанный с энергообеспечением.

На рис. 2. представлена интегрированная система производства, передачи и потребления энергоресурсов.

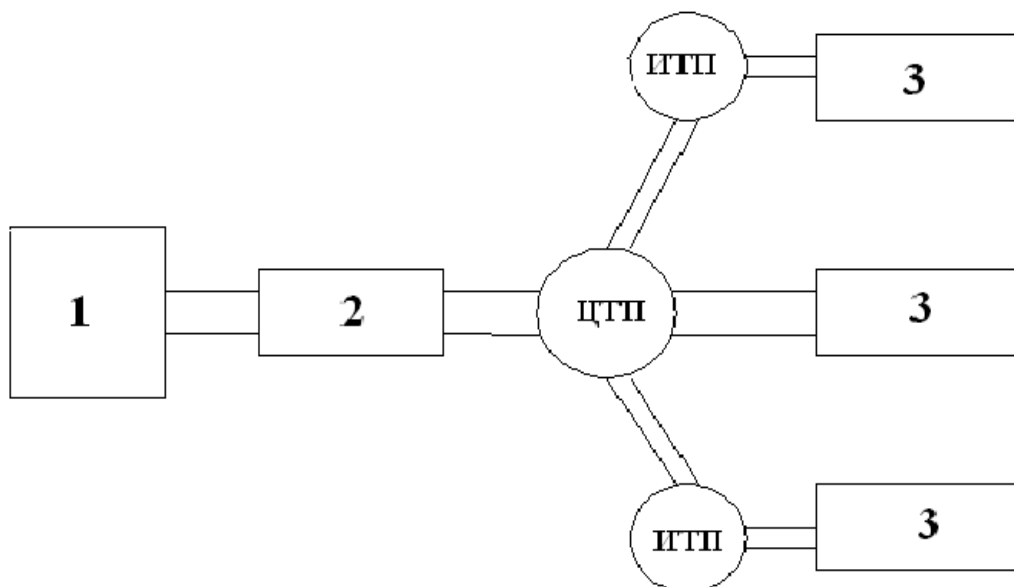


Рис. 2. Структура интегрированной системы производства, передачи и потребления энергоресурсов: 1 – источники энергоресурсов; 2 – сети тепло и водоснабжения; 3 – потребители энергоресурсов

В качестве подсистем интегрированной системы выступают источники энергоресурсов, сети тепло- и водоснабжения, потребители энергоресурсов – производственные цеха, административные здания и др. Каждую из перечисленных подсистем, как уже отмечалось, характеризует набор определяющих параметров.

1. Для источника параметрами, определяющими эффективность его работы, являются:

- удельные затраты топлива на Гкал (кВт·час);
- КПД источника;
- объем потребления топлива;
- объем выработки тепловой (электрической) энергии;
- наличие систем учета газа, воды, воздуха;
- структура топливного и энергетического балансов;
- наличие систем автоматического поддержания оптимального соотношения топливо-воздух;

- состояние систем контроля и регулирования параметров теплоносителя;
- наличие газоанализаторов, определяющих состав продуктов сгорания, в том числе и остаточное содержание в продуктах сгорания кислорода, трехатомных (парниковых) газов, вредных выбросов;
- наличие технического паспорта котельной;
- состояние системы мониторинга – сбора и обработки фактических данных бухгалтерской и иной отчетности, а также показаний существующих приборов (за достаточно значимый, сопоставимый по условиям работы, период производства и потребления энергоресурсов);

На рис. 3 в качестве характерного примера показаны режимы работы котельной с избытком и недостатком воздуха на горение топлива.

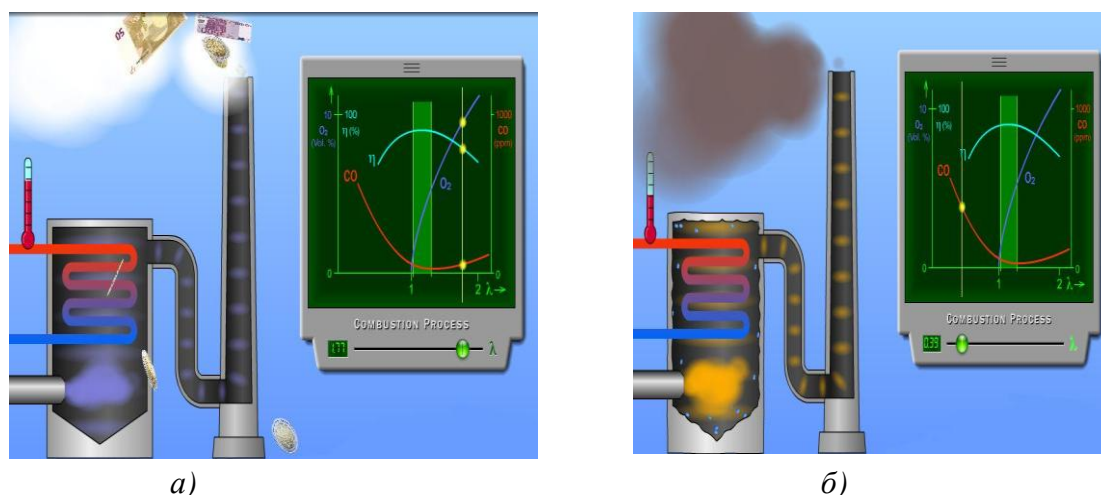


Рис. 3. Варианты работы котельной предприятия:

а) с избытком воздуха; б) недостатком воздуха

Максимальное значение коэффициента полезного действия достигается при оптимальном соотношении воздуха и топлива. При недостатке воздуха (рис. 2, б) имеет место недожог топлива (черный дым), при избытке воздуха (рис. 2, а) возникают дополнительные затраты на утилизацию тепла дымовых газов, объем которых увеличивается. Кроме того, меняются режимы горения в топке (цвет пламени) и теплообмена.

2. Для тепловых сетей (магистральных, квартальных, внутридомовых) определяющими параметрами состояния являются:

- расход сетевой воды, температура воды на входе и выходе;
- нормативные и фактические потери теплоносителя за счет утечек;
- антикоррозийные мероприятия;
- состояние тепловой изоляции и защитных покрытий;
- условия эксплуатации сетей (наличие влаги, электрических полей, состояние грунта);
- гидравлические особенности работы сетей (наличие короткозамкнутых контуров, тупиковых участков, линий рециркуляции);
- наличие отложений на внутренних поверхностях тепловых сетей, наличие гидравлической или гидрохимической очистки труб;
- материал труб тепловых сетей (сталь, медь, чугун, полиэтилен, полипропилен, стекло и др.);
- количество аварий на один километр сетей в год.

3. Для потребителей определяющими параметрами состояния являются:

- размер отапливаемой площади;
- наличие учета расхода энергоносителей;
- наличие систем регулирования (ручного, автоматического по погодным условиям);
- теплоаккумулирующую способность зданий;
- теплозащитные свойства ограждающих конструкций;
- состояние входных групп;
- удельные и фактические нормы потребления тепловой энергии, холодной и горячей воды;
- наличие и состояние мест общего пользования и оборудования (лифтов, подкачивающих насосов и др.);
- тип здания, этажность, время постройки.

Автоматизированная система управления топливно-энергетическим комплексом предприятия содержит не только базы данных мониторинга потребления энергоресурсов отдельными подразделениями, но и базы данных, характе-

ризирующих работу котельных, тарифов на выработку и транспортировку тепловой энергии, расчетом присоединенных нагрузок и режимов работы источников. Для успешного внедрения программ мониторинга и целевого планирования требуется достаточно высокий уровень квалификации и сертификации персонала.

В автоматизированной системе управления топливно-энергетическим комплексом предприятия должен быть предусмотрен специальный режим пересчета нормативов при изменении цен на топливо, тарифов на электроэнергию, воду, при изменении минимальной заработной платы, а также при переоценке основных фондов. Это позволит прогнозировать ситуацию, проводя имитационное моделирование (проигрывания) возможных вариантов развития ситуации (ситуационный анализ).

Таким образом, система мониторинга включает несколько обязательных взаимосвязанных и взаимозависимых мероприятий:

- сбор и обработку фактических данных бухгалтерской и иной отчетности, а также показаний существующих приборов (за достаточно значимый, сопоставимый по условиям работы период потребления энергоресурсов);
- создание реестра подразделений, в которых потребление энергетических ресурсов зависит от объемов выпускаемой продукции и (или) предоставляемых услуг;
- подбор типов прибора учета и регулирования;
- программное обеспечение, выходные данные (с учетом особенностей производственных процессов, а также требований пользователя информацией);
- установку стандартных значений удельных показателей расхода энергетических ресурсов на единицу выпускаемой продукции;
- контроль над предоставлением достоверной информации руководителям, ответственным за эффективность использования энергоресурсов, для принятия ими необходимых корректирующих мер.

Целевое планирование предполагает введение плановых, как правило, уменьшенных с учетом реальных условий стандартов расхода энергетических ресурсов на единицу выпускаемой продукции (услуги). Чтобы достичь плановых стандартов, разрабатываются целевые программы их уменьшения за счет проведения технических, организационных, экономических и других мер.

2.4. Информационные системы

Информационная система управления энергосбережением предполагает построение более общей информационной системы, способной формировать результаты энергопотребления в производственных процессах и соотносить эти данные с целевыми показателями, которые, в свою очередь, связаны с объемом производства, качеством продукции, материальным балансом и другими важными производственными показателями, от которых зависит уровень энергозатрат. Такая система содержит функции, которые необходимы для преобразования полученных данных к виду, удобному для принятия решения на полученную в результате энергоучета информацию. Разработанные нами решения включают элементы энергоаудита и инструменты для формирования программы мероприятий по энергосбережению.

Работа по созданию системы управления энергосбережением на предприятии проводится в следующем порядке:

1. Реорганизация структуры управления энергосбережением на предприятии.
2. Формирование нормативов потребления энергоресурсов на все производственные процессы.
3. Персонафикация ответственности персонала на более низком уровне управления.
4. Создание системы целевого энергоучета.
5. Систематизированный анализ энергопотребления.
6. Выработка и реализация управляющих воздействий.

Центр управления энергосбережением для достижения бизнес-целей руководства должен иметь в своем распоряжении необходимые рычаги управле-

ния на различные сферы деятельности и через подразделения предприятия непосредственно использовать их в своей работе. В числе таких средств управления – организационные и технические мероприятия, поддержанные информационной системой целевого учета энергоресурсов.

Персонификацию ответственности необходимо определить на как можно более низком уровне управления, чтобы гарантировать проявление инициативы к энергосбережению персонала с низа. Для этого производственные подразделения разбиваются на участки с законченным производственным циклом (МВЗ – место возникновения затрат). Эта организационно-производственная единица должна с цехового уровня опуститься до уровня участка, агрегата.

Для каждого МВЗ необходимо:

- назначить руководителя, ответственного за затраты при выполнении производственного задания;
- планировать объемы производства и калькулировать затраты;
- обеспечить измерение и регистрацию расхода энергоресурсов;
- наладить учет выполненных объемов производства и фактических затрат;
- организовать систематический контроль и анализ результатов работы;
- вырабатывать управляющие воздействия и условия мотивации персонала.

Для каждого МВЗ определяются уровни нормативов путем установления взаимосвязи между использованием энергии и производственным показателем, например, объемом и качеством выпущенной продукции на производственной линии, материальным балансом или градусо-сутками отопления.

2.5. Системы сбора и обработки информации о расходе материальных и энергетических ресурсов

После того как в результате реорганизации структуры управления энергосбережением на предприятии появится заинтересованный пользователь и будет

подготовлена нормативная база для организации учета и управления, можно сформулировать требования к системе целевого энергоучета.

На предприятиях энергоучет разделяют на два направления: коммерческий и технический.

Требования к построению информационных систем коммерческого учета сформулированы в ряде официальных документов и не будут затрагиваться в этой работе.

Технический учет отражает энергетические потоки, связанные с выработкой и потреблением энергоресурсов на производство продукции внутри предприятия, и должен отвечать на вопросы об их рациональном использовании.

Традиционно информационная система учета энергоресурсов, закупаемая на рынке, а также производимая и потребляемая на самом предприятии, реализуется в виде системы сбора информации с имеющихся приборов учета. Это необходимая, но совершенно не достаточная часть для управления энергосбережением на предприятии, т. к. такие системы зачастую не увязаны с движением материальных потоков (куда расходуется основная доля энергии на предприятии), а также с системами планирования закупок, учета затрат и формирования графиков производства продукции. Таким образом, задача построения информационной системы, обеспечивающей весь комплекс управления энергосбережением на предприятии, сводится к созданию системы сбора и обработки информации, показанной на рис. 4.

Для создания информационной системы целевого учета расхода энергетических сырьевых ресурсов необходимо построить модели материального и энергетического баланса предприятия. В основу моделирования положена модель материального баланса, приведенная к виду, представленному на рис. 5.

Модели материально-энергетических потоков должны отражать технологический маршрут производства продукции на определенных участках – (МВЗ). Каждый производственный процесс может быть разбит на несколько МВЗ в соответствии с основными этапами процесса (рис. 6).

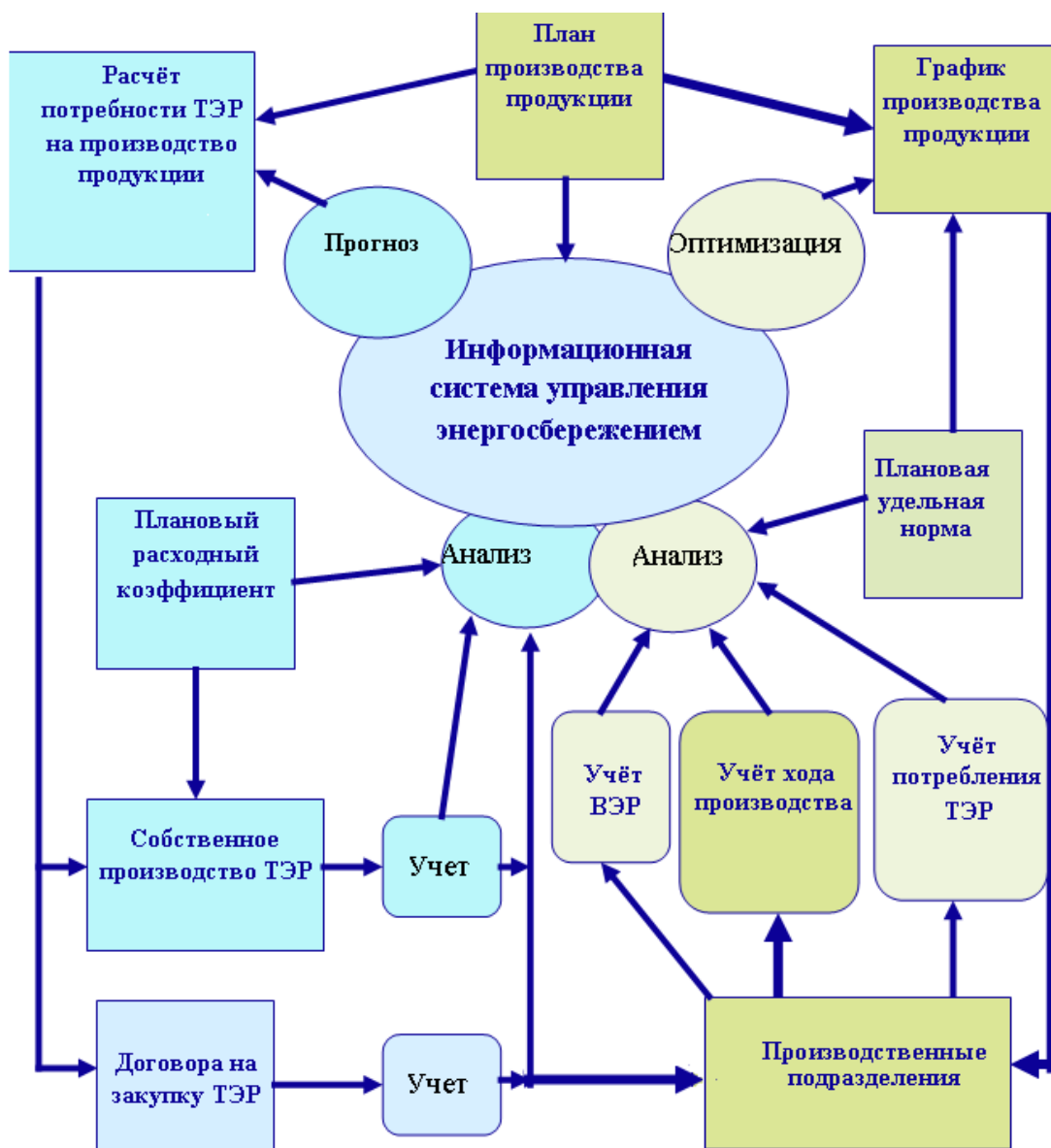


Рис. 4. Информационная система управления энергосбережением

Так как целевой учет определяет соотношение между энергопотреблением и готовой продукцией, то очень важно измерять параметры, которые представляют готовую продукцию, а также другие составляющие материального баланса. На многих предприятиях часто измеряются только объемы производства и без измерения остаются ключевые критерии производственного процесса, такие как отходы, брак, температура, влажность и т. п. Частота снятия показаний в точках учета зависит от типа процесса.



Рис. 5. Модель материальных и энергетических потоков

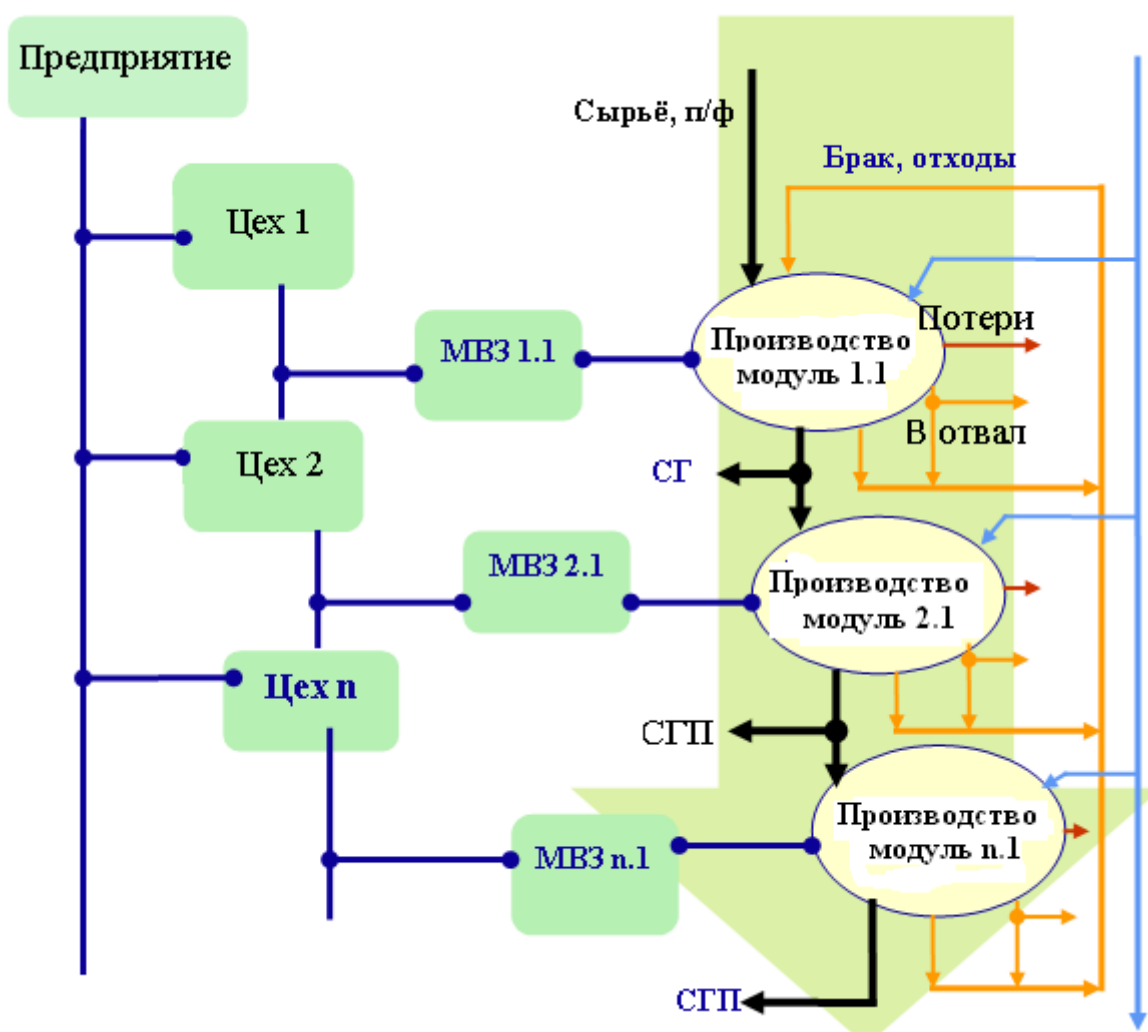


Рис. 6. Информационная система сбора и обработки информации предприятия

Построение моделей материальных и энергетических потоков проводится при выполнении системного проекта по разработке концепции создания информационной системы управления энергосбережением на предприятии и под-

готовке технического задания для построения информационной системы сбора и обработки информации. Для комплексных энергоинтенсивных процессов система снятия показаний должна проводить измерение ключевых параметров с более высокой скоростью.

Информация должна поступать в реальном времени, в темпе с производственным процессом. Затем эти данные пересчитываются за смену, сутки. Отчетный период за одну смену и сутки необходим, т. к. ежемесячные отчеты не дают необходимой информации.

Систематизированный анализ энергопотребления

Для выработки управленческих решений по энергосбережению необходимо организовать систематизированный анализ энергопотребления. Для этого все информационные системы, поддерживающие различные уровни управления, должны быть интегрированы в Пирамиду управления предприятием (рис. 7). В этой пирамиде для снижения доли влияния «человеческого фактора» на объективность информации и обеспечения «прозрачности» данных автоматизированные системы сбора информации о реальных процессах должны встраиваться в общее информационное пространство.

Успех любой системы управления зависит в большой степени от качества данных, на которых она основывается. Это особенно важно для системы целевого энергоучета. Данные должны быть точными и своевременными. Идеальным вариантом является тот, при котором базы данных обновляются (актуализируются) практически непрерывно, в режиме реального времени.

Чтобы получить наибольшую экономическую эффективность, необходимо включить эту систему в контур управления предприятия путем интеграции ее с системами управления коммерческой и финансовой деятельностью и системами управления производством и качеством продукции.



Рис. 7. Пирамида управления предприятием

Тем самым реализуется интегрированная система управления энерго- и ресурсосбережением, охватывающая планирование бюджета и производства, учет фактических затрат на производство продукции, минимизацию издержек за счет оптимального оперативного управления ресурсами предприятия.

Построив модели технологических маршрутов производства продукции с привязкой к ним точек учета материально-энергетического баланса и точек технического контроля качества продукции, мы получаем модель производственного процесса предприятия, которая позволяет нам оптимизировать процессы управления производственными заказами и энергозатратами.

На основании имеющихся мощностей для производства энергоресурсов и технологических схем, позволяющих использовать вторичное тепло и технологические газы, можно формировать потребность в не достающихся энергоресурсах для закупки на рынке и бюджет предприятия, управлять ценами при закупке и продаже энергоресурсов.

Имея в информационной системе управления данные реального времени о количестве энергии, закупаемой на рынке, вырабатываемой на предприятии и полученной в виде вторичных ресурсов, можно для обеспечения предприятия энергоресурсами под производственную программу производить расчет энергетического баланса и прогнозировать потребление энергоресурсов в зависимости от объемов и номенклатуры продукции, а также календарного периода, с учетом графиков технического обслуживания основного оборудования (рис. 8).



Рис. 8. Схема системы управления энергосбережением на предприятии

С помощью информационной системы управления в часы максимума потребления энергоресурсов обеспечивается необходимый баланс энергоресурсов для выполнения запланированных объемов производства продукции и энергии за счет оперативного управления выработкой энергоресурсов на собственных установках в зависимости от производственной ситуации при максимальном использовании для преобразования энергии вторичных ресурсов из производственных процессов.

Использование результатов измерения данных о потреблении энергоресурсов, взаимосвязанных и сбалансированных с материальными потоками и

увязанных с режимами обработки материалов в технологическом процессе, позволяет формировать мероприятия по энергосбережению.

Для выработки мероприятий по снижению энергопотребления необходимо производить:

- совместный анализ материального и энергетического баланса по видам продукции;
- анализ расхода энергоресурсов на производство готовой продукции, брака и отходов производства, вспомогательных процессов;
- совместный анализ производственных циклов обработки заказов по видам продукции и потребления энергоресурсов;
- анализ расхода энергоресурсов на производство объемов продукции, технологических пауз, условно-постоянных расходов;
- совместный анализ нормативных и фактических режимов обработки производственных заказов и качества полученной продукции;
- анализ расхода энергоресурсов на получение угара, окалины и режимов обработки, не улучшающих качество продукции.

Таким образом, модель управления, построенная на основе производственных модулей, позволяет типизировать решение задач учета, анализа и оперативного управления прямыми затратами (материальными и энергетическими).

Построение информационной системы на основе моделей производственных модулей и моделей внутрипроизводственных связей между ними позволяет производить расчет балансов материально-энергетических потоков для всего предприятия или для выбранного участка.

Предлагаемая система позволяет выдавать оперативную и достоверную информацию в реальном масштабе времени о балансе энергоресурсов и материалов при переработке их в технологическом потоке.

3. ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АУДИТ ПРЕДПРИЯТИЙ

3.1. Содержание энергоэкологического аудита промышленных предприятий

Главной целью энергетического и экологического аудита является определение величины непроизводительных потерь энергетических и материальных ресурсов. Любые неорганизованные потери сырья и энергии – это ухудшение не только экономических показателей работы технологического оборудования, но и экологической ситуации непосредственно в районе расположения предприятия и в глобальном масштабе, т. е. в рамках составных частей биосферы.

Очень важно для руководства компаний выявление экологически узких мест во всех сферах деятельности объекта, оказывающих в той или иной степени негативное влияние на окружающую среду, и содействие в его уменьшении. Наличие таких мест с определенной гарантией позволяет обнаружить и количественно оценить потери и энергетических, и материальных ресурсов.

Проведение объективного исследования невозможно без тесного сотрудничества с администрацией и производственным персоналом предприятия, мнение и аргументация которого учитывается на всех этапах проведения обследования предприятия.

Энергетическое обследование – сбор и обработка информации об использовании энергетических ресурсов в целях получения достоверной информации об объеме используемых энергетических ресурсов, о показателях энергетической эффективности, выявления возможностей энергосбережения и повышения энергетической эффективности с отражением полученных результатов в энергетическом паспорте.

Порядок сдачи энергетического паспорта определен «Правилами направления копии энергетического паспорта, составленного по результатам обязательного энергетического обследования, в Министерство энергетики Российской Федерации», утвержденными Приказом № 182 от 19.04.2010 года Министерства энергетики Российской Федерации.

Деятельность по проведению энергетического обследования вправе осуществлять только лица, являющиеся членами саморегулируемых организаций в области энергетического обследования.

Проведение энергетического обследования является обязательным для следующих лиц:

1) органы государственной власти, органы местного самоуправления, наделенные правами юридических лиц;

2) организации с участием государства / муниципального образования;

3) организации, осуществляющие регулируемые виды деятельности;

4) организации, осуществляющие производство и/или транспортировку воды, природного газа, тепловой энергии, электрической энергии, добычу природного газа, нефти, угля, производство нефтепродуктов, переработку природного газа, нефти, транспортировку нефти, нефтепродуктов;

5) организации, совокупные затраты которых на потребление природного газа, дизельного и иного топлива, мазута, тепловой энергии, угля, электрической энергии превышают десять миллионов рублей за календарный год;

б) организации, проводящие мероприятия в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, финансируемые полностью или частично за счет средств федерального бюджета, бюджетов субъектов Российской Федерации, местных бюджетов.

Вышеперечисленные лица обязаны организовать и провести первое энергетическое обследование в период со дня вступления в силу 261 Федерального закона до 31 декабря 2012 года, последующие энергетические обследования – не реже чем один раз каждые пять лет.

Задачей энергетических обследований является выявление непроизводительных и нерациональных расходов ТЭР, определение фактических показателей энергоэффективности энергообъектов, сравнение их с нормативными значениями (определенными в соответствии с действующими государственными нормами, нормативами, стандартами и другими нормативными документами), выявление и анализ причин их несоответствия и определение обоснованных

путей их устранения для снижения затрат ТЭР и энергоносителей, в том числе ниже действующих норм (нормативов, стандартов).

Результаты энергетических обследований (нормируемые и фактические значения показателей энергоэффективности) допускается использовать при обосновании расходов ТЭР на производство, транспорт и распределение электрической и тепловой энергии – по согласованию с Федеральной и региональными энергетическими комиссиями.

Рекомендации по энергосбережению и рациональному использованию ТЭР должны обеспечивать экологические характеристики оборудования и технологических процессов, уровень безопасности и комфортности работы персонала, надежность и безопасность технологических процессов, показателей качества энергии и теплоносителей не ниже требований, установленных соответствующими нормативными документами и договорами на пользование электрической и тепловой энергией (энергоснабжения) с потребителями энергии.

По данным Всемирного банка, возможное повышение стоимости проектов, связанное с проведением оценки воздействия на среду и последующим учетом экологических ограничений, окупается в среднем за 5–7 лет. Включение экологических факторов в процедуру принятия решений еще на стадии проектирования обходится в 3–4 раза дешевле последующей установки дополнительного очистного оборудования, а затраты на ликвидацию последствий от использования неэкологической технологии и оборудования оказываются в 30–35 раз выше расходов, которые потребовались бы для разработки экологически чистой технологии и применения экологически совершенного оборудования.

Объективное исследование комплексного влияния предприятия на состояние окружающей среды с учетом мнений всех заинтересованных сторон поможет определиться в методах учета экологического фактора при разработке стратегии и тактики хозяйственной деятельности, в том числе и связанной с реализацией политики энерго- и ресурсосбережения. Это в конечном итоге позволит повысить экономическую безопасность предприятия, а следовательно, его инвестиционную привлекательность.

Экологический аудит – независимый объективный анализ и оценка деятельности предприятия и его воздействия на окружающую среду с точки зрения соответствия законодательству в области охраны окружающей среды и экологической политике самого предприятия.

Проведение экологического аудита дает возможность оптимизировать финансовые затраты предприятия с учетом экологических факторов; предупредить случаи возникновения ущерба, связанного с загрязнением окружающей среды и нерациональным природопользованием; улучшить взаимоотношения с природоохранными органами; добиться определенных финансовых льгот, субсидий из экологических фондов, корректировки платежей за природопользование и др.; сформировать благоприятный экологический имидж предприятия; перейти на международно-признанные процедуры экологического управления – стандарты ISO серии 14 000.

Экологический аудит – это удобный гибкий инструмент получения достоверной информации, необходимой для подготовки и принятия экологически обоснованных решений как для хозяйствующего субъекта, так и для государственных природоохранных органов. Помимо основного, экологический аудит может и должен решать ряд функциональных задач. На основе анализа полученных данных выбирается экологическая стратегия развития предприятия (его политика), которая способствовала бы наиболее эффективному решению стоящих перед ним задач в текущем и долгосрочном периодах.

Экологический аудит может быть внутренним (если его инициатором является само предприятие) и внешним (проводящимся по желанию другого лица). Также он может быть инициативным (добровольным) или обязательным (проводящимся в случаях, предусмотренных законом).

В зависимости от целей проводимый аудит может быть:

- 1) аудитом переработки отходов, энергосбережения, выбросов, качества продукции, влияния производственных процессов на здоровье человека, аудитом жизненного цикла продукции, недвижимости и т. п.

- 2) системным (аудитом управленческой деятельности предприятия);
- 3) контрольным (проверяется соблюдение нормативов и предписаний);

Экологический аудит может осуществляться специализированными организациями и самой организацией.

Результаты проведения экологического аудита содержат выводы о соответствии осуществляемой субъектами хозяйственной и иной деятельности в области охраны окружающей среды, использования природных ресурсов и обеспечения экологической безопасности требованиям законодательства РФ, а также рекомендации по совершенствованию управления в области охраны окружающей среды, использования природных ресурсов и обеспечения экологической безопасности субъектами хозяйственной и иной деятельности.

Экономико-экологическая система как организация включает в себя подсистемы: основного фундаментального процесса (производство, предоставление услуг и т.д.), процесса использования и защиты природных ресурсов (использование природных ресурсов в материальном производстве, природоохранная деятельность, размещение отходов в окружающей среде и т. п.) и подсистему управления этими процессами. Подсистему управления можно, в свою очередь, подразделить на две системы низшего порядка: систему основного функционального процесса, т. е. собственно управления как процесса принятия решений, и систему обслуживания управленческого процесса.

Компонентом этой подсистемы является управленческий учет, в том числе по экологическим объектам – экологический учет, который является необходимой базой для осуществления экологического аудита.

Программа экологического аудита системы экологического менеджмента должна быть основана на настоящей экологической деятельности предприятия и результатах предыдущих аудитов.

Проведение экологического аудирования должно быть выгодным руководству предприятия, т. к. результаты информируют его, работает ли система экологического управления и менеджмента так, как она должна работать в соответствии с заявленной экологической политикой и целями.

3.2. Энергоэкологический аудит – экономический инструмент управления энергосбережением

Экономический механизм энергоэкологического регулирования – сложная многоуровневая система отношений субъектов хозяйствования между собой и с вышестоящими органами. Связующим рычагом этих отношений должен стать энергоэкологический аудит (ЭЭА) – инструмент, включающий организационно-экономические факторы защиты окружающей среды. Он позволяет выбрать оптимальный вариант рационального природопользования, строительства природоохранных сооружений, организации информационно-аналитического контроля над состоянием и степенью эксплуатации природоохранной техники, дать экономическую оценку намечаемых технических и технологических усовершенствований, направленных на экономию материальных и энергетических ресурсов.

ЭЭА – это независимое исследование всех аспектов хозяйственной деятельности промышленного предприятия любой формы собственности для установления размера прямого или косвенного воздействия на состояние окружающей среды. Его цель – приведение природоохранной и хозяйственной деятельности в соответствие с требованиями законодательства и нормативных актов, оптимизация использования природных ресурсов, снижение и упорядочение энергопотребления, уменьшение отходов, предотвращение аварийных сбросов, выбросов и техногенных катастроф. Поскольку речь идет об исследовании всех аспектов хозяйственной деятельности предприятия, ЭЭА должен объединить и расширить программы и методики уже существующих видов аудита – производственного, финансовой деятельности, энергоаудита, аудита на соответствие.

ЭЭА позволяет обеспечить получение следующей информации:

- выводы о соответствии природоохранной и производственной деятельности законодательству и нормативным актам;
- заключение о состоянии финансово-экономической отчетности, учета, своевременности и величине текущих экологических платежей, целена-

правленности использования капитальных средств, выделенных на охрану окружающей среды;

- оценку воздействия аудируемого предприятия на состояние среды, здоровье производственного персонала, экологию в регионе, данные о наличии и величине выбросов (сбросов) загрязняющих веществ, производство которых ограничено или запрещено международными обязательствами государства;

- результаты анализа темпов роста производства продукции и количества выбросов и сбросов загрязняющих веществ, потребления энергетических и материальных ресурсов;

- результаты сравнительного анализа основных показателей природоохранной и производственной деятельности аудируемого предприятия;

- оценку потенциальной опасности аудируемого предприятия при возникновении аварийной ситуации, эффективность разработанного плана работ по ликвидации очагов аварии, наличие необходимых материально-технических средств;

- заключение о профессиональной компетентности работников природоохранных служб предприятия, их обеспеченности современными техническими средствами контроля над соблюдением допустимых величин загрязнения;

- информированность руководящего и производственного персонала о величине и характере загрязнения окружающей среды их предприятием, наличие материального и морального стимулирования за снижение уровня загрязнения и энерго- и материалоемкости выпускаемой продукции.

Один из важных факторов, способствующих развитию ЭЭА, представляет процедура реализации программ. В процессе проведения аудирования установление и наказание виновных – далеко не главная цель. Гораздо важнее для руководства компаний выявление узких мест во всех сферах деятельности объекта, оказывающих в той или иной степени негативное влияние на окружающую среду, и содействие в его уменьшении.

ЭЭА предупреждает ситуацию, когда экологические проблемы волнуют лишь руководство компании, вынужденное на свой страх и риск скрывать негативные последствия производственной деятельности до предела, за которым их сокрытие станет невозможным, а устранение повлечет судебные разбирательства и санкции. С этой целью целесообразно привлечение к решению экологических проблем конкретного предприятия научного потенциала региона, сотрудников природоохранных служб, финансовых учреждений.

На основании заключения аудитора можно решить конкретную проблему (например, уменьшить количество или концентрацию определенного загрязняющего ингредиента) различными, часто альтернативными методами. В зависимости от радикальности принятого решения и остроты проблемы необходимые природоохранные мероприятия могут находиться в диапазоне от организационных мер и повышения контроля над ведением технологического процесса и работой средозащитного оборудования до закрытия предприятия с его последующим репрофилированием.

3.3. Общая модель энергоэкологического аудита

Предмет – экономические, экологические, информационные, организационные и другие системы.

Функции – проверка экономико-экологической отчетности; оценка природоохранной деятельности предприятия; оказание аудиторских услуг, в том числе выдача рекомендаций по повышению эффективности природоохранной деятельности.

Стадии – постановка проблемы, сбор данных, анкетирование, оценка информационных материалов, услуги.

Документы – информационные, организационно-функциональные, корреспонденция аудитора, предприятия-клиента, государственных служб по охране окружающей среды, управления статистики и др.

Методы – системный анализ и системный подход, экономико-экологический анализ; логический анализ, метод экспертных оценок и пр.

Приемы – определение состояния объектов и его экологических подразделений; сопоставление; оценка.

Виды – внутренний (зависимый) и внешний (независимый).

Риск – собственный; риск контроля; риск выявления.

Нормативы – национальные (внутренние и внешние); международные (внутренние и внешние).

Элементы – цель, задачи, субъекты, объекты, организация, методика, контрольная информация.

Энергоэкологический аудит, как и всякий вид деятельности, следует рассматривать с точки зрения системного подхода и системного процесса, в центре которого имеется независимая эоаудиторская фирма или служба. Для того чтобы созданная организация могла эффективно функционировать, она должна опираться на законы и правила современного энергоэкологического менеджмента. На основании системного подхода к процессу управления экологической аудиторской деятельностью разработан алгоритм, согласно которому все этапы управления в зависимости от выполняемых функций разделены на основные блоки: планирование, организация, операционная функция, контроль и мотивация.

4. ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

4.1. Структура энергопотребления

В химических производствах протекают разнообразные процессы, связанные или с выделением энергии, или с ее поглощением, или со взаимными превращениями и переходами. Энергия затрачивается на подготовку сырья, осуществление химических превращений, выделение продуктов, транспортировку материалов, сжатие газа и т. д. Потребление разных видов энергии в стоимостном выражении распределяется между процессами химического производства следующим образом: в химических реакциях – 5–40 %, в массообменных процессах – 30–80%, в теплообменных процессах – 60–90 %.

Почти половина тепловой энергии на химических предприятиях расходуется на получение таких энергоемких продуктов, как химические волокна (10,5 %), аммиак (9,5 %), полимеры (8,2 %), каустическая сода (4,7 %), капролактан (3,5 %), карбамид (3,5 %), метанол (2,5 %).

Энергоемкость химического производства (расход энергии на единицу получаемой продукции) – один из важнейших показателей эффективности производства. Энергию выражают в различных единицах (кДж, кВт·ч и др.), в т. ч. в единицах условного топлива (1 кг твердого топлива или 1 м³ газообразного с теплотой сгорания 29,3 МДж).

Энергоемкость производств отдельных продуктов нефтехимической промышленности, выраженная в тоннах условного топлива (т у. т.) на получение тонны продукта составляет:

- этилен и пропилен – 2,8–3,6;
- стирол – 6,8;
- бутадиев – 7,2;
- полиэтилен и полипропилен – 3,9.

Основные виды энергии, применяемые в тех или иных химических производствах, зависят от характера технологического процесса.

Тепловая энергия может быть получена за счет сжигания твердого, жидкого и газообразного топлива в различных устройствах. Тепловая энергия применяется для осуществления самых разнообразных процессов – нагрева, плавления, сушки, выпаривания, дистилляции, тепловой десорбции, эндотермических превращений. В качестве теплоносителей используют топочные газы, получаемые сжиганием топлива, водяной пар, горячую воду и другие жидкости (масло, расплавы солей и пр.).

Электрическая энергия применяется для проведения электрохимических (электролиз растворов и расплавов), электротермических (плавление, нагревание, синтез при высоких температурах), электромагнитных процессов. В промышленности осуществляют процессы, связанные с использованием электростатических явлений, – осаждение пылей и туманов, электрокрекинг углеводородов. Широко используется в химической промышленности превращение электрической энергии в механическую в электроприводах различных машин и механических устройств (дробилки, измельчители, смесители, центрифуги, вентиляторы, насосы, компрессоры).

Световая энергия в последнее время приобретает все большее значение для проведения фотохимических реакций. Фотоэлектрические явления, в которых происходит превращение световой энергии в электрическую, применяют для автоматического контроля и управления технологическими процессами.

Используют также энергию других видов излучений и атомных превращений для проведения радиационно-химических превращений и ядерно-химических реакций.

В общем расходе топливно-энергетических ресурсов на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях на долю органического топлива (природный газ, мазут, горючие отходы) приходится 45 %, тепловой энергии – 40 %, электрической энергии – 15 %.

Источники энергии условно делят на первичные и вторичные.

Первичные источники энергии – источники, энергетический потенциал которых является следствием природных процессов и не зависит от деятельно-

сти человека. К ним относятся ископаемые горючие и расщепляющиеся вещества, нагретые до высокой температуры воды недр Земли (термальные воды), Солнце, ветер, энергия вод рек, морей, океанов. Среди первичных источников энергии в химической промышленности преобладает газообразное и жидкое топливо, т. е. тепло, получаемое от тепловых электростанций (ТЭС) и котельных установок самих предприятий.

Вторичные источники энергии – вещества, обладающие определенным энергетическим потенциалом и являющиеся побочными продуктами деятельности человека. К ним относятся отходящие горючие органические вещества, горячие отработанные теплоносители промышленных производств (газ, вода, пар), нагретые вентиляционные выбросы, горячие и находящиеся под давлением технологические потоки и др.

Первичные источники энергии подразделяются на невозобновляемые и возобновляемые. К невозобновляемым первичным источникам энергии относят ископаемые горючие вещества (уголь, нефть, природный газ, сланцы); к возобновляемым – все источники энергии, являющиеся продуктами деятельности Солнца, природных явлений и процессов на поверхности Земли. К ним относятся ветер, энергия воды рек, морей и океанов, растительные продукты биологической деятельности (древесина и другие растительные продукты). В настоящее время в промышленности используют главным образом невозобновляемые источники энергии, преимущественно газовое и жидкое топливо.

Энергетическая ценность источников энергии определяется количеством энергии (кВт·ч), которая может быть получена при сжигании 1 кг или 1 м³ топлива. Энергетическая ценность некоторых видов топлива приведена ниже (для природного газа – в кВт·ч/м³, для остальных – в кВт·ч/кг):

каменный уголь	8,0
кокс	7,2
торф	4,0
коксовый газ	4,8
природный газ	10,8

Целесообразность применения некоторых источников энергии определяется не только их энергетической ценностью, но и запасами их в природе, географическим положением, доступностью и некоторыми другими факторами.

Утилизация тепла и энергии – тепло или энергия потока используется для выработки тепловых (пар, горячая вода), электрических и других энергетических ресурсов, применяемых не в основном производстве. Химическое производство использует энергию для обеспечения химико-технологического процесса, и большая ее часть остается в виде энергии технологических потоков (не считая энергии, потребляемой эндотермическими процессами, потерь на термодинамическую необратимость процессов и естественных потерь в окружающую среду). Энергия может также выделяться при протекании экзотермических процессов (реакций). Тепловую энергию потоков можно использовать, вырабатывая, например, пар в котлах-утилизаторах. Энергию давления можно использовать для привода электрогенератора. Такие потоки, обладающие определенной энергией, являются источниками вторичных энергетических ресурсов. Они играют значительную роль в промышленном производстве.

4.2. Вторичные энергетические ресурсы

Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) – энергетический потенциал продукции, отходов, дополнительных и промежуточных продуктов, образующихся в технологических агрегатах, который не используется в самом агрегате, но может быть частично или полностью использован для энергоснабжения других производств.

Используя ВЭР, само производство, являющееся источником ВЭР, не уменьшает свой расход энергии (тепла), но экономия энергии достигается в других энергопотребляющих установках.

В зависимости от вида запасенной потоком энергии выделяют следующие виды (группы) ВЭР.

Горючие (топливные) ВЭР – топливные вторичные продукты и отходы, получаемые в технологическом процессе. Они содержат, как правило, H_2 , CO и другие горючие компоненты. Примеры: продувочные газы производств аммиа-

ка и метанола (содержат 70–85 % H_2), отходящие газы производства термического фосфора (80–85 % CO), отходящие газы многих производств в нефтепереработке и нефтехимии (содержат углеводороды, H_2).

Тепловые ВЭР – тепло отходящих газов, рабочих тел систем охлаждения, отработанного пара и горячей воды, а также тепло попутно вырабатываемого пара и нагреваемой воды (например, в котлах-утилизаторах и экономайзерах).

ВЭР избыточного давления, или силовые, – газы и жидкости, покидающие технологические агрегаты и обладающие потенциальной энергией (находящиеся под давлением).

Использовать ВЭР непросто, так как они обладают низким энергетическим потенциалом. Тем не менее их необходимо утилизировать, так как количество их велико. В зависимости от вида ВЭР их используют следующим образом.

Горючие ВЭР используют как котельно-печное топливо, добавляют к основному топливу. Главная трудность их использования – примеси, которые могут загрязнять окружающую среду, вызывать коррозию котельной аппаратуры, осаждаться на поверхности водогрейных труб. Так, отходящие газы производства термического фосфора содержат соединения последнего, которые могут попасть в атмосферу. Наличие влаги приводит к образованию фосфорной кислоты и, как следствие, коррозионной среды, что недопустимо для котельного и печного оборудования.

Тепловые ВЭР используют для получения тепла непосредственно, передавая его соответствующим теплоносителям (подогревают потоки, вырабатывают пар). В зависимости от температуры их подразделяют на высоко- и низкопотенциальные.

Высокопотенциальные тепловые ВЭР (с температурой выше 120 °С) используют для выработки пара в котлах-утилизаторах.

Низкопотенциальные тепловые ВЭР (с температурой 50–120 °С) используют в основном для работы энергетических установок (подогрев воды для котельных установок). Основные трудности их использования – большие капитальные затраты из-за малой движущей силы (температурной) для передачи те-

пла и загрязнения примесями. Эффективным является использование низкопотенциальных тепловых ВЭР для получения искусственного холода в абсорбционных холодильных машинах.

Определение выхода ВЭР на единицу товарной продукции или единицу перерабатываемого сырья производится с целью оценки эффективности решений по использованию вторичных энергоисточников.

4.3. Энерготехнологические системы в химической технологии

Количество энергии, которое необходимо подвести на разных стадиях химико-технологического процесса, определено его режимом. Затраты энергии можно уменьшить путем регенерации энергии между стадиями процесса и использования потенциала потоков в самом процессе. Но компенсировать полностью затраты энергии не всегда удастся по нескольким причинам.

Часть энергии теряется необратимо из-за природы почти всех протекающих процессов – они термодинамически необратимы, и диссипация энергии неизбежна. Например, необратимы затраты на преодоление гидравлического сопротивления потоков в аппаратах и трубопроводах. К системе подводится высокопотенциальная энергия, но в технологическом процессе образуется много низкопотенциальных потоков, работоспособность которых ниже исходных, несмотря на содержащееся в них такое же или даже несколько большее общее количество энергии. Часть тепла (энергии) неизбежно теряется с общими тепловыми потерями. К ним относятся испарение как средство поддержания температурного режима (например, в градирнях и других подобных системах), вывод неиспользуемых тепловых потоков, естественные тепловые потери через изоляцию. Если использовать энергетический (тепловой) потенциал оставшихся потоков для покрытия энергетических (тепловых) расходов, то компенсировать полностью их не удастся, и дополнительное потребление неизбежно.

Недостающую энергию можно выработать в технологической системе, потребляя топливо. Для этого необходимо в систему включить энергетический узел как подсистему химико-технологической системы (ХТС).

Химико-технологическая система, включающая энергетический узел, потребляющий топливо и вырабатывающий энергию для компенсации необратимых потерь с целью поддержания технологического режима и обеспечения функционирования ХТС, называется энерготехнологической системой. Такая система не потребляет энергию извне, энергетически она автономна, потребляя необходимое количество топлива.

В зависимости от места расположения энергетического элемента в технологической схеме и назначения этого элемента возможны следующие направления использования энергии, выделяющейся (выделившейся) в технологических процессах:

- создание энерготехнологических комплексов;
- регенерация энергии (тепловой, химической, избыточного давления);
- утилизация ВЭР технологического назначения.

В пределах современных технологических линий, особенно химической и смежных с нею отраслей, возможно повторение однотипных или сочетание нескольких перечисленных выше вариантов использования энергии. Поэтому каждую из них можно рассматривать как некоторую ячейку или звено энерготехнологического комбинирования, включенное в технологическую цепь аппаратов.

Объединение в одном аппарате технологических и энергетических функций определяет сущность энерготехнологического агрегата. В таком агрегате роль энергетических элементов, в первую очередь, определяется технологическими требованиями и только во вторую очередь – использованием вторичных энергоресурсов.

Экономия от использования ВЭР выражается в тоннах условного топлива ($Q_{в} = 29,3 \text{ МДж/кг}$, $7\,000 \text{ ккал/кг}$). Во многих высокотемпературных процессах по условиям технологии возникает необходимость или появляется возможность в отводе определенной доли выделяющейся тепловой энергии. С этой целью непосредственно в реакторе (топке) или за ним размещаются элементы энергетического агрегата. Такими агрегатами, элементы которых хорошо вписываются в конструкцию основных технологических аппаратов или включаются в виде

самостоятельного звена в технологическую линию, являются парогенераторы различных конструкций (элементы испарительного охлаждения), жидкостные или газовые теплогенераторы, подогреватели исходных или промежуточных продуктов, а также парогенераторы абсорбционных холодильных установок.

Горючие ВЭР сжигаются (дожигаются) в специальных или обычных топках для получения сетевого пара, других теплоносителей или холода с помощью водоаммиачных холодильных абсорбционных установок. При реализации энергии избыточного давления (часто в сочетании с ВЭР) обычно применяют газовые турбины. Вырабатываемая при этом механическая энергия используется непосредственно в технологическом процессе (привод компрессоров, газодувок и т. д.) или преобразуется в электроэнергию.

Наряду с тепло- и парогенераторами, являющимися элементами энерго-технологических схем или использующих ВЭР, в химической промышленности находят применение тепло- и парогенераторы с собственными топками. Они служат для производства пара или подогрева других теплоносителей за счет сжигания обычных органических топлив.

В ряде технологических процессов снижение энергетического потенциала конечных продуктов не диктуется требованиями технологии и осуществляется только в целях использования ВЭР. В качестве энергетического оборудования в этих схемах могут быть использованы те же энергетические агрегаты, что и в предыдущем случае. Наличие байпасного газохода и соответствующей системы шиберов позволяет отключать утилизатор без нарушения основного технологического процесса.

4.4. Материальный и энергетический балансы.

Учет расхода материальных и энергетических ресурсов осуществляются разными методами. Общим является то, что на основании проведенных измерений составляется материальный и (или) энергетический баланс. Без составления энергетического и материального баланса нельзя приступать к решению проблем энерго- и ресурсосбережения.

Материальный и энергетический (тепловой) балансы разрабатываются на основании законов сохранения материи и энергии. Движение – форма существования материи. Количественной мерой движения является энергия. Материя, также как и энергия, не может бесследно исчезнуть. Переход из одного состояния в другое сопровождается изменением количества энергии и материи так, что при отсутствии потерь в окружающее пространство (для изолированных термодинамических систем) количество и энергии, и вещества остается постоянным.

При составлении материального и энергетического балансов исходят из того, что если вещество и энергия не накапливаются в термодинамической системе (аккумулирующий эффект отсутствует) и если в рассматриваемой системе отсутствуют стоки и источники вещества и энергии, то приходная часть вещества и (или) энергии должна быть равна расходной.

Материальный и энергетический баланс отдельно взятого объекта, агрегата, цеха, предприятия, муниципального образования, региона, страны, биосферы обеспечивает надежную основу для принятия обоснованных решений по дальнейшему совершенствованию технологических процессов в любой отрасли народного хозяйства и целесообразности проведения мероприятий по охране окружающей среды.

С целью определения структуры приходной и расходной частей материального и теплового балансов, степени замкнутости материальных и энергетических потоков в рамках изучаемого объекта (здания, аппарата, цеха, группы цехов, предприятий, организаций, района, города, региона, страны) проводят энергетический и экологический мониторинг.

5. ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС КАК СИСТЕМА

Химико-технологический процесс (ХТП) – сложная система, состоящая из подсистем, каждая из которых развивается по своим законам. В качестве таких подсистем необходимо выделить следующие:

- тепло- и массообменные процессы;
- процессы гидродинамики;
- процессы, протекающие с изменением агрегатного состояния веществ – участников ХТП;
- процессы разделения продуктов и полупродуктов;
- механические процессы и др.

5.1. Оборудование химического производства

Процессы в химическом производстве протекают в определенных устройствах – машинах и аппаратах. Потоки между ними передаются по трубопроводам и другими средствами. Потоки регулируются запорной арматурой (вентильями, задвижками) и другими устройствами. Контроль и управление осуществляются с помощью датчиков, приборов и другой аппаратуры. Все это размещается на строительных конструкциях – в зданиях, на опорных устройствах, эстакадах. Названные устройства и конструкции определяются в процессе проектирования производства, рассчитаны на весь срок его существования и создаются за счет единовременных затрат – «капитальных вложений».

По целевому назначению капитальные вложения классифицируются следующим образом.

Оборудование, предназначенное для осуществления химико-технологического процесса:

- технологические аппараты для осуществления отдельных процессов – реакторы, ректификационные колонны, абсорберы, теплообменники, выпарные аппараты, фильтры, емкости и т. д. Аппараты в большинстве своем не содержат подвижных элементов, если не считать мешалок и других встроенных механи-

ческих приспособлений, обеспечивающих необходимый режим протекания процесса в аппаратах;

- технологические машины для обеспечения технологического процесса (основной рабочий орган у них, как правило, подвижный) – насосы, вентиляторы, турбины, компрессоры, транспортеры и др. с соответствующими приводами – устройствами, приводящими в действие рабочие органы машин (турбины, электромоторы, двигатели);

- трубопроводы для передачи потоков газа, жидкости и их смесей между аппаратами и машинами. По трубопроводам могут передаваться и твердые вещества, обычно в виде взвесей (пневмо- и гидротранспорт);

- регулирующая и запорная арматура – краны, вентили, задвижки, заслонки;

- аппаратура контроля и управления включает в себя датчики состояния потоков, первичные преобразователи, показывающие приборы, системы управления, исполнительные механизмы;

Строительно-монтажные конструкции для размещения оборудования:

- здания и сооружения для размещения оборудования и рабочего персонала;

- опорные конструкции вне зданий, фиксирующие и поддерживающие оборудование производства, в основном аппараты и машины;

- эстакады – опорные конструкции для трубопроводов при значительной их протяженности.

Капитальные вложения довольно значительны, и уменьшение их является одной из задач при разработке и проектировании производства. Целенаправленные технологические решения – организация процессов в отдельных аппаратах и агрегатах, а также в ХТС в целом могут изначально уменьшить расходы на оборудование. Концепция эффективного использования оборудования химического производства направлена на минимизацию капитальных затрат на технологическое оборудование путем создания условий протекания в нем процессов с максимально возможной интенсивностью.

Выбор процесса

Для минимизации капитальных затрат следует выбирать процесс более интенсивный, протекающий с большей скоростью. Одним из наиболее ярких примеров является переход от алюмосиликатного катализатора гидрокрекинга углеводородов к цеолитному – скорость процесса была увеличена в результате этого более чем в 300 раз. Вместо процесса в реакторе большого объема с псевдосжиженным слоем организован процесс в режиме вертикального пневмотранспорта катализатора реакционной смесью (процесс в восходящем слое катализатора). Реактор представляет собой трубу диаметром 250 мм и высотой несколько десятков метров. Оптимизация химико-технологического процесса – за счет увеличения его интенсивности.

Организация процесса в аппарате

Почти всегда возможно один и тот же процесс провести разными способами:

- теплообмен и контакт фаз – в противотоке или прямотоке;
- гетерогенно-каталитическую реакцию – в неподвижном или движущемся слое катализатора;
- разделение жидкостей – ректификацией или дистилляцией и т. д.

Один из примеров был приведен выше. Переход на цеолитный катализатор гидрокрекинга углеводородов был осуществлен одновременно с новой организацией процесса во взвешенном слое в виде восходящего потока катализатора. Традиционный пример сокращения затрат на работу теплообменника – использование противотока теплоносителей в нем.

Контактирование газа с жидкостью может осуществляться различными способами. Для газожидкостных процессов, скорость которых лимитируется массообменом между фазами, способ их контакта небезразличен для процесса. Максимальные объемные коэффициенты массообмена (p):

- в барботажном слое $p = 0,1 \dots 0,2 \text{ с}^{-1}$;
- в насадочном аппарате – до $0,5 \text{ с}^{-1}$;
- в газожидкостном потоке – до $1,2 \text{ с}^{-1}$.

Если скорость реакции большая (константа скорости первого порядка более 2 с^{-1}), то реактор с газожидкостным потоком будет более компактным. Если сама реакция небольшая, то интенсивный массообмен не увеличит общей интенсивности процесса.

Скорость превращения в процессе «газ – твердое» сильно зависит от размера частиц. Поэтому дробление твердого реагента всегда благоприятно будет сказываться на интенсивности его превращения. Но мелкие частицы нельзя использовать в неподвижном слое из-за большого сопротивления потоку, спекания и слипания частиц, неоднородности течения газообразных компонентов через слой. Однородные условия протекания процесса создает псевдооживленный слой. В производстве серной кислоты из колчедана переход от обжига крупнокускового сырья в полочных печах к обжигу в псевдооживленном слое позволил увеличить интенсивность превращения в единице объема аппарата в 20 раз.

Организация технологического процесса

Здесь использовано свойство ХТС, заключающееся в том, что усовершенствование одного элемента дает выигрыш в эффективности процесса, протекающего в системе в целом. Некоторые решения общеизвестны. Например, замена периодического процесса на непрерывный. В первом случае требуется дополнительная аппаратура для накопления исходных компонентов и продуктов, очистки периодических аппаратов, их циклического пуска и остановки. В непрерывном процессе такие обслуживающие подсистемы не нужны.

Конструктивные решения аппаратов, позволяющие уменьшить объем его непроизводительных частей

Последние создают необходимые условия протекания процесса: распределение потоков, обеспечение жесткости конструкции, удобство монтажа и т. д.

Совмещение процессов – осуществление разного типа химико-технологических процессов в одном аппарате. Например, многослойный реактор с адиабатическими слоями катализатора и промежуточным теплообменом. В одном корпусе расположены реакторы (слои катализатора), теплообменники и смеситель потоков. Такой аппарат можно рассматривать и как реакционный

узел (многоэлементный реактор), и как пример конструктивного совмещения элементов – объединения в одном корпусе разных элементов ХТС. Очевидно уменьшение затрат на такой аппарат по сравнению с реакционным узлом, состоящим из отдельных аппаратов.

Более характерен для конструктивного совмещения следующий пример. Окисление аммиака осуществляется на платиноидном катализаторе в виде нескольких сеток, после чего реакционные газы охлаждаются в котле-утилизаторе. Для равномерного распределения потока по сечению тонкого слоя катализатора реактор должен иметь конусные объемы перед слоем катализатора и после него. Поставив реактор непосредственно на котел-утилизатор, можно уменьшить расходы на аппараты, что и используется в современных производствах азотной кислоты.

Функциональное совмещение – совместное проведение двух типов процессов, один из которых существенно влияет на физико-химические показатели другого. Такое совмещение процессов осуществляется, например, в реакторе-ректификаторе, реакторе-абсорбере. Совмещаемые в них процессы очевидны из названий аппаратов. Непрерывное удаление ректификацией или абсорбцией одного из компонентов реакционной смеси благоприятно влияет на протекание реакции. Можно выделить три фактора, обуславливающих этот эффект:

1) *кинетический фактор*: удаление продукта реакции повышает концентрацию исходного реагента в реакторе и тем самым увеличивает скорость превращения;

2) *термодинамический фактор*: если протекает обратимая реакция, то непрерывное удаление продукта сдвигает равновесие в сторону большей конверсии исходных реагентов. Максимальное превращение, которого можно достичь в реакционном аппарате, лишь близко к равновесному при достаточно большом объеме реактора. В реакторе-ректификаторе при непрерывном удалении продукта протекает только прямая реакция. Реально полное разделение не достигается, но эффект совмещения процессов весьма велик;

3) *фактор разделения*: рассмотрим его на примере синтеза метилметакрилата. В процессе образуются примеси, ухудшающие качество продукта. Совмещение реакции с ректификацией позволяет выводить из такого аппарата примеси в виде сернокислотного маточника. Одновременно выводится чистый продукт в большем количестве.

Как видим, совмещенные процессы представляют интерес благодаря возможности более эффективно использовать оборудование и провести процесс, который в иной системе не позволяет получить желаемое превращение.

5.2. Перестраиваемые химико-технологические системы

На заре развития химической промышленности создавались и затем интенсивно развивались жизненно важные производства удобрений, продуктов переработки нефти и угля, моторного топлива, синтетического каучука, пластических масс. Все они являются крупнотоннажными, и номенклатура их продукции меняется незначительно.

В последние десятилетия число наименований необходимых продуктов химической промышленности многократно увеличилось. Материалы, обладающие особыми свойствами, выпускаются в небольших количествах. Их производство, как правило, малотоннажное, а номенклатура обновляется примерно каждые 5 лет. Срок службы современной химической аппаратуры больше и составляет 10–15 лет. Создание для каждого продукта отдельного производства становится невыгодным – после наработки необходимого количества материала технологическое оборудование становится ненужным. Поэтому и возникли перестраиваемые производственные системы.

Перестраиваемая химико-технологическая система позволяет на одном и том же оборудовании после его перенастройки (изменения некоторых связей и режима процессов в аппаратах) реализовывать различные химико-технологические процессы и перерабатывать несколько видов сырья, производить различные продукты.

Такие системы сначала возникли в металлообработке. Меняя последовательность прохождения заготовок через различные станки и режимы их работы,

получали в одном станочном парке различные детали. Технологические режимы обработки устанавливали и поддерживали автоматически. За такими системами закрепилось название «гибкие автоматизированные производственные системы» (ГАПС). Естественно было идею гибких производственных систем применить в химической технологии.

Под «гибкими ХТС» понимаются однопродуктовые системы, устойчивые к изменению качества сырья, характеристик аппаратов и других параметров процесса, т. е. гибко реагирующие на изменение условий и требований к химико-технологическому процессу.

Понятие «перестраиваемая ХТС» будем относить к многономенклатурному производству, как это определено выше. Ее представим следующим образом. Имеется система аппаратов, соединенных различными связями. Для определенного химико-технологического процесса одни связи открывают, другие – перекрывают. В результате задействуют одни и отключают другие аппараты, устанавливают режимы аппаратов (температуры хладагентов, подача вспомогательных материалов и др.). Таким образом, создают ХТС для заданного химико-технологического процесса. После прекращения выпуска одного продукта всю систему промывают и «настраивают» на выпуск другого. Эффективность перестраиваемой ХТС оценивают из соотношения затрат на систему и выигрыша от ее эксплуатации.

К основным затратам относят:

- дополнительные условно-постоянные расходы на излишек оборудования (не вся технологическая аппаратура, входящая в состав перестраиваемой ХТС, задействована в данном конкретном процессе);
- расходы на подготовку оборудования к смене процесса (промывка), особенно существенные для химических производств, в которых остатки компонентов предыдущего процесса «размазаны» по всей системе и могут повлиять на качество очередного продукта.

Выигрыш заключается в следующем:

- уменьшение условно-постоянных расходов (амортизационных отчислений) на единицу продукции за счет увеличения срока службы аппаратуры;
- уменьшение времени перехода на выпуск нового продукта (аналогично сокращению времени строительства);
- выигрыш у потребителя за счет более раннего использования продукта;
- гибкость производства при меняющейся конъюнктуре на рынке товаров.

Создание перестраиваемой ХТС в общих чертах осуществляется с учетом следующих этапов предварительной технологической проработки:

- классификация и систематизация методов получения продуктов, которые предполагается производить в создаваемой ХТС. Учитывают схожесть технологических операций и их режимов, взаимную совместимость («неотравляемость») компонентов. По этим признакам объединяют, например, получение хлорпроизводных этилена, солей фосфорной кислоты, определенных видов красителей и т. д.;

- систематизация аппаратурного оформления. Для выбранного в предыдущем этапе набора производств устанавливают частоту появления одинаковых (по назначению, мощности, условиям работы) аппаратов, определяют их набор для реализации выбираемых химико-технологических процессов, избыточность оборудования для каждого из них;

- определение связей в ХТС. Оставляют все возможные связи; на соединениях, не повторяющихся во всех процессах, устанавливают вентили.

Полученная ХТС дает возможность ее анализа для дальнейшей разработки с привлечением техноэкономических оценок, маркетинговых исследований.

5.3. Однородные химико-технологические системы

В ХТС можно выделить подсистемы, состоящие из однородных элементов (аппаратов) и предназначенные для проведения определенной химико-технологической операции. К подсистемам можно, например, отнести реактор-

ный узел, системы разделения, теплообмена. В них протекает химическое превращение или разделение многокомпонентной смеси или теплообмен между многими потоками. Каждая из них состоит из однородных аппаратов – реакторов, ректификационных колонн или теплообменников. Синтез систем однородных элементов хорошо разработан, имеется возможность их автоматизированного построения; некоторые общие подходы рассмотрены далее.

5.3.1 Системы химических реакторов

Реакторный узел (соединение нескольких реакторов) используют для оптимизации режима процесса или ограничения единичного объема одного реактора. Возможны параллельные, последовательные и комбинированные схемы соединения реакторов. Соединение их осуществляется по интенсивности, общему объему, необходимому для достижения одинаковой степени превращения (X_K) или конечной концентрации (C_K) и селективности процесса в них (при протекании сложной реакции).

5.3.2. Системы разделения продуктов

Подбор оптимальной схемы, дающей необходимый эффект разделения многокомпонентной смеси с минимальными затратами, – задача многоэтапная и достаточно громоздкая. Ведь необходимо выбрать последовательность колонн разделения, технологические связи между ними, сеть тепловых потоков, обеспечивающих режим колонн разделения, а также выбрать сами колонны и рассчитать их оптимальный режим. Прежде всего, следует определить последовательность выделения компонентов. Здесь очень удобно использовать некоторые эвристические приемы. Они получены обобщением результатов многочисленных автоматизированных расчетов систем разделения и дают первое приближение структуры технологической схемы. Таких приемов достаточно много, и в автоматизированном построении схемы, ее расчете и оптимизации они позволяют получить желаемый результат достаточно быстро. Рассмотрим некоторые из этих приемов.

Пусть требуется разделить ректификацией смесь N компонентов. Для построения системы разделения используют следующие эвристические правила:

1) разделять по порядку температур кипения компонентов. Средние температуры будут либо повышаться, либо понижаться от колонны к колонне, что создает наиболее благоприятные условия для организации температурного режима. В противном случае из-за скачков температур между колоннами потребуются большие затраты то на нагрев, то на охлаждение;

2) отделять, в первую очередь, избыточный компонент – тогда последующие разделения будут с меньшими потоками, с меньшими затратами;

3) трудные разделения (близкие температуры кипения) проводить с минимальными количествами компонентов. При близких температурах кипения требуются многотарельчатые колонны, поэтому лучше предварительно отделить остальные компоненты и оставить минимальный поток, только трудно разделяемые компоненты.

5.3.3. Системы теплообменников

В химико-технологическом процессе технологические и вспомогательные потоки многократно нагреваются и охлаждаются. Целесообразно тепло охлаждаемых потоков передавать нагреваемым (в порядке регенерации тепла) и сокращать потоки отдельных теплоносителей. При этом будет создана система теплообменников, затраты на которую минимальны.

Существует большое число эвристических правил для выбора структуры системы теплообменников:

1) использовать для теплообмена горячий и холодный потоки с наиболее высокими температурами.

2) выбирать противоточные теплообменники как более эффективные;

3) проводить теплообмен до тех пор, пока разность температур не достигнет минимально допустимой; в противном случае резко возрастает размер теплообменника;

4) передавать максимально возможное количество тепла – оно определяется полным охлаждением (нагревом) одного из потоков.

6. ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

6.1. Эффективность химико-технологической системы

Значение критерия эффективности ХТС зависит не только от структуры и параметров системы, но и от эксплуатационных свойств ХТС, к которым можно отнести чувствительность, управляемость, надежность и устойчивость.

Чувствительность ХТС – свойство системы изменять характеристики ее функционирования при изменении условий и параметров технологического режима элементов. В химических производствах изменение температуры, давления, активности катализатора и других факторов существенно влияет на технологические параметры процессов, протекающих в элементах системы, нарушает нормальное функционирование и приводит к изменению показателей эффективности.

Рассмотрим взаимосвязь отклонений режима в адиабатическом реакторе дегидрирования этилбензола в стирол с режимом работы ХТС получения стирола. В данном процессе используется железо-оксидный катализатор, который со временем теряет свою активность. Понижение активности приводит к уменьшению выхода стирола и необходимости повышения температуры дегидрирования. В этом случае требуется скорректировать режимы работы теплообменников, пароперегревательной печи и ректификационных колонн, поскольку снижение конверсии исходного этилбензола изменит состав реакционной массы. Следствием падения активности катализатора будет сокращение выпуска стирола – товарного продукта данного производства.

На технологические режимы элементов ХТС и показатели системы в целом могут оказывать влияние износ оборудования и такие внешние возмущения, как температура оборотной воды, атмосферного воздуха и прочее. В летний период, например, с повышением температуры воды после градирен ухудшаются условия теплообмена во всех холодильниках и конденсаторах ХТС. Поэтому часто приходится снижать нагрузки по сырью и производительность технологических агрегатов по целевому продукту.

Чувствительность ХТС характеризуют отношением изменения какого-либо показателя функционирования системы или ее элемента ΔY к изменению условий или параметра процесса ΔX . Подобный показатель встречался при исследовании устойчивости процессов. Выбор показателя процесса Y и возмущенного параметра X («канала возмущения») зависит от цели исследования или задачи анализа процесса. Чем меньше значение чувствительности, тем более стабильно будет протекать процесс.

Создание ХТС с низкой чувствительностью к изменению внутренних параметров и внешних возмущающих воздействий очень важно для повышения качества функционирования химических производств. Эти задачи решаются на стадии разработки и проектирования ХТС.

Управляемость ХТС – свойство системы достигать желаемой цели управления (получить заданный состав продукта, производительность, качество товарного продукта и т. д.) при ограниченных возможностях управления, которыми располагает данная система в реальных условиях эксплуатации. Показатель управляемости можно характеризовать так. В реальных условиях имеют место изменения значений внутренних параметров процессов и внешних условий эксплуатации. Эти изменения возможны в каких-то пределах. Система будет управляема, если имеется возможность при допустимых изменениях условий процесса сохранить его показатели в заданных пределах. Каждое проектируемое и создаваемое производство должно быть управляемым. В связи с этим объективно возникает задача совместного проектирования ХТС и соответствующей системы автоматического управления процессами в ней.

Надежность ХТС – это свойство ХТС выполнять требуемые функции, сохраняя во времени и в заданных пределах значения установленных эксплуатационных показателей (производительности, качества продукции), расхода материальных и энергетических ресурсов, требований по безвредности обслуживания и безопасности для окружающей среды и др. Прекращение выполнения требуемых функций связано с отказами (выходом из строя или существенным ухудшением функционирования) каких-то элементов ХТС. В соответствии

с общей теорией надежности технических систем отказ вероятен в любом элементе ХТС.

Проявление надежности может быть различным для отдельного элемента и ХТС в целом. Выход из строя элемента приводит к прекращению выполнения им требуемых функций, но не обязательно – к таким же последствиям для ХТС. Возможно, что посредством определенного изменения условий и режима работы других элементов эксплуатационные показатели ХТС в целом будут сохранены в допустимых пределах. С другой стороны, отклонение от заданных показателей работы какого-либо элемента ХТС без его выхода из строя может вызвать существенные нарушения в работе других элементов и привести ХТС в неработоспособное состояние. Известны случаи, когда усовершенствования отдельных элементов ХТС и их режимов работы приводили к нарушению химико-технологического процесса в целом и выходу из строя ХТС, даже к крупным авариям.

Показателями надежности являются среднее время функционирования ХТС между отказами его элементов или число таких отказов и общее время простоя за определенный период.

Отказы ХТС и ее элементов могут возникать по различным причинам:

- ошибки на стадиях разработки, проектирования, изготовления, строительства, монтажа и наладки оборудования, связанные с недостатком или неполным использованием сведений и знаний о процессах, нарушением установленных правил и норм работы на этих этапах;
- нарушения условий и режима эксплуатации из-за ошибок обслуживающего персонала или непредусмотренных и неконтролируемых внешних воздействий;
- изменения состояния оборудования, обусловленные естественными причинами (износ, старение, повреждения).

Отказы ХТС и ее элементов можно объединить в следующие группы.

1. Проектно-конструкторский отказ возникает вследствие несовершенства используемых методов разработки химико-технологических систем и

конструирования оборудования, нарушения установленных правил и норм проектирования технологических систем, оборудования и инженерно-транспортных коммуникаций, а также ошибок проектировщика или конструктора.

2. *Производственно-изготовительный отказ* возникает вследствие нарушения и несовершенства технологических процессов изготовления, сборки и ремонта оборудования, неудовлетворительного качества монтажа, профилактического обслуживания, подготовки к пуску аппаратов, машин и трубопроводов, а также в результате ошибок специалистов, которые участвуют в изготовлении, монтаже и ремонте оборудования.

3. *Эксплуатационно-технологический отказ* возникает вследствие нарушения регламентированных значений параметров химико-технологического процесса, правил и условий эксплуатации оборудования и инженерно-транспортных коммуникаций, а также нарушений в системах водо-, тепло- и электроснабжения производства; в результате повреждений и естественных процессов старения и износа оборудования и коммуникаций, влияния агрессивных перерабатываемых веществ и напряженных режимов (высокие температуры, давления) химико-технологического процесса; вследствие неисправной работы систем контроля, сигнализации, управления и защиты; в результате непредусмотренных воздействий окружающей среды и ошибок обслуживающего персонала.

Отметим, что «человеческий фактор» – квалификация специалистов, разрабатывающих, создающих и эксплуатирующих производство, – неизменно влияет на надежность ХТС, что заставляет предъявлять повышенные требования к инженерам-технологам и конструкторам.

Статистика по надежности различных производств дает такое распределение отказов по вышеприведенным трем группам в их общем числе: 40–50 % – проектно-конструкторские, 30–40 % – производственно-изготовительные, 30–40 % – эксплуатационно-технологические.

Неполадки, вызывающие простои производства из-за ограниченной надежности оборудования и ХТС, влекут за собой тяжелые экономические последствия. Потери, связанные с производственными неполадками, складываются из потерь прибыли (вследствие прекращения производства продукции) и непроизводительных затрат на остановку агрегата, ликвидацию последствий остановки, неплановый ремонт оборудования и пуск агрегата после устранения неполадок. Как уже отмечалось, техноэкономические преимущества агрегатов большой мощности находятся в прямой зависимости от надежности оборудования и эксплуатации.

Надежность ХТС должна обеспечить безопасность работы оборудования и обслуживающего персонала; регламентированное время непрерывной работы между плановыми остановками на предупредительный ремонт и профилактику оборудования; соблюдение норм по защите окружающей среды.

Устойчивость ХТС обусловлена наличием обратных связей в сложных химико-технологических системах. Некоторые примеры неустойчивых режимов (а к ним надо отнести и отсутствие стационарных режимов, возникновение колебательных режимов) были рассмотрены выше. Отметим также, что самовозгорание и взрыв есть результат самопроизвольного перехода процесса в другой режим, несовместимый с установленным оборудованием и технологическим процессом в нем, т. е. потеря устойчивости стационарного процесса.

6.2. Управление химическим производством

Современное химическое производство – сложный комплекс, состоящий из большого числа агрегатов, соединенных многочисленными связями, – сложная химико-технологическая система. Может показаться, что для достижения максимальной эффективности процесса достаточно заранее определить оптимальный режим и строго придерживаться его. В реальных условиях всегда имеют место возмущения условий процесса и изменения его параметров.

Система автоматического регулирования (САР) позволяет поддерживать заданный режим в элементах ХТС. Стабилизация режима и показателей отдельного аппарата, единичного процесса является основной задачей САР. В са-

мом общем случае САР включает в себя датчик Д, измеряющий значение стабилизируемого параметра, устройство (прибор П), определяющее способ воздействия на регулируемый параметр, и регулятор с исполнительным механизмом Р, устанавливающий новое значение регулируемого параметра. В приведенной схеме стабилизируется температура на выходе из элемента Э (аппарата) путем изменения расхода потока, поступающего в этот элемент. Построение САР, выбор ее элементов и их настройка – содержание специальной учебной дисциплины «Автоматизация химических производств». Эти процессы базируются на теории управления. Хотя разработкой, созданием и эксплуатацией САР занимаются специалисты в области автоматизации производств, химик-технолог, владеющий процессами в химико-технологической системе, может квалифицированно определить, какие показатели надо стабилизировать, какие параметры надо измерять, при помощи каких – управлять процессом.

Отметим некоторые особенности управления химико-технологическим процессом. Не все технологические показатели, которыми необходимо управлять, доступны для непосредственного и непрерывного измерения. Особенно трудно поддаются измерениям показатели состава и качества перерабатываемого сырья. Поэтому некоторые технологические показатели определяют по результатам измерений других, связанных с ними показателей (косвенные измерения) или организуют анализ периодически отбираемых проб продуктов (дискретные измерения). В этих случаях требуется специальная предварительная обработка результатов измерений для оценки по ним технологических показателей, которые не поддаются прямому измерению,

Условия процесса изменяют (управляют ими), если возникли отклонения контролируемого показателя. Тут нужно учесть следующее. Во-первых, управление будет эффективным, если контролируемый показатель чувствителен к условиям процесса. В этом случае уже малые отклонения значений показателя процесса вызовут реакцию системы регулирования на корректировку условий процесса. Во-вторых, при изменении условий процесса его показатели изменяются не мгновенно – практически всегда имеется некоторое запаздывание (тре-

буется время на прохождение потока от места его возмущения до точки измерения, прогрев каких-то устройств между этими точками, заполнение объема аппаратуры веществом потока). Чем меньше такое запаздывание, тем регулирование будет эффективнее.

Прямые измерения, быстрая и чувствительная реакция показателей процесса на возмущения, необходимые для эффективного управления, не всегда выполнимы, и приходится создавать более сложные системы автоматического регулирования. Покажем это на примере адиабатического процесса в слое катализатора. Если реакция не завершается в слое, то температура на выходе из него весьма чувствительна к изменениям условий и параметров процесса (концентрации, нагрузки, активности катализатора), и ее необходимо стабилизировать. Наиболее просто можно управлять процессом, меняя температуру на входе в слой. Казалось бы, выходная температура T_K может служить исходным сигналом для соответствующего изменения входной температуры T_H .

На рис. 9, *а* показаны профили температур при двух значениях T_H и видно симбатное изменение T_H и T_K . Но такой характер кривых имеет место только в стационарных состояниях. Характер изменения во времени температуры в слое другой, более сложный.

Допустим, на вход стал поступать более горячий газ. На первых по ходу газа участках слоя увеличится скорость превращения. Дополнительная теплота и более горячего газа, и более интенсивной реакции начнет прогревать начальные участки слоя. Прогрев будет происходить сравнительно медленно – теплоемкость слоя твердого катализатора в несколько сот раз больше, чем газа. В последние участки слоя будет поступать реакционная смесь с большей степенью превращения. Здесь скорости реакции и, соответственно, тепловыделения вначале станут меньше, и температура на выходе будет сначала понижаться. И только по мере прогрева слоя T_K станет возрастать, медленно приближаясь к более высокой, определенной стационарным состоянием. На рис. 9, *б* показана динамика изменения температуры на разной глубине слоя. Внутри слоя температура более чувствительна к входной.

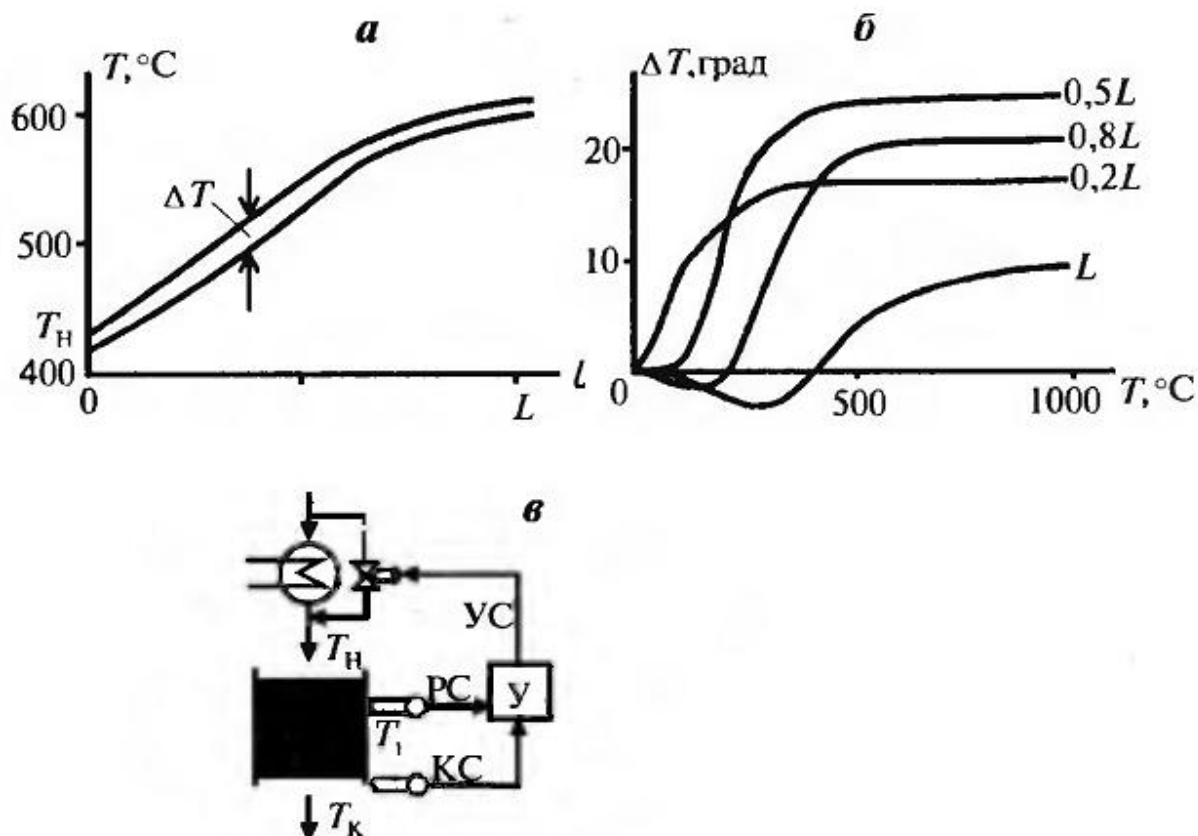


Рис. 9. Стационарные профили температуры в слое катализатора при различных значениях начальной температуры (а), перепада температур по глубине слоя (б) и схема стабилизации температуры (в)

Регулирующий сигнал (РС на рис. 9, в) поступает от датчика температуры T_y , установленного внутри слоя. Устройство управления $У$ вырабатывает управляющий сигнал УС для привода задвижки. Корректировка настройки устройства управления $У$ проводится по стационарному значению выходной температуры T_k (корректирующий сигнал КС на рисунке). Как видим, локальные САР могут быть сложными по структуре.

Стабилизация режимных показателей химического производства приведет к установке множества локальных САР, относящихся к элементарным процессам и не связанных между собой. Такое решение задачи автоматизации управления производством приемлемо только для несложных технологических процессов. Для современных химических предприятий со сложной структурой связей аппаратов такой подход не приводит к успеху.

Проиллюстрируем это на примере управления производством обжигового газа. Его получают из колчедана в печах с кипящим слоем. Процесс ведут в

двух параллельных агрегатах, работающих на общий коллектор. Параллельная работа двух агрегатов должна обеспечивать бесперебойную работу всей системы при возможных нарушениях в одном из агрегатов. Основной задачей управления этим производством является поддержание общей производительности по обжиговому газу и концентрации в нем диоксида серы. Получаемое в каждом агрегате количество обжигового газа поддерживают расходом воздуха, а концентрацию – расходом колчедана. У каждого агрегата имеется по две локальные САР (рис. 10).

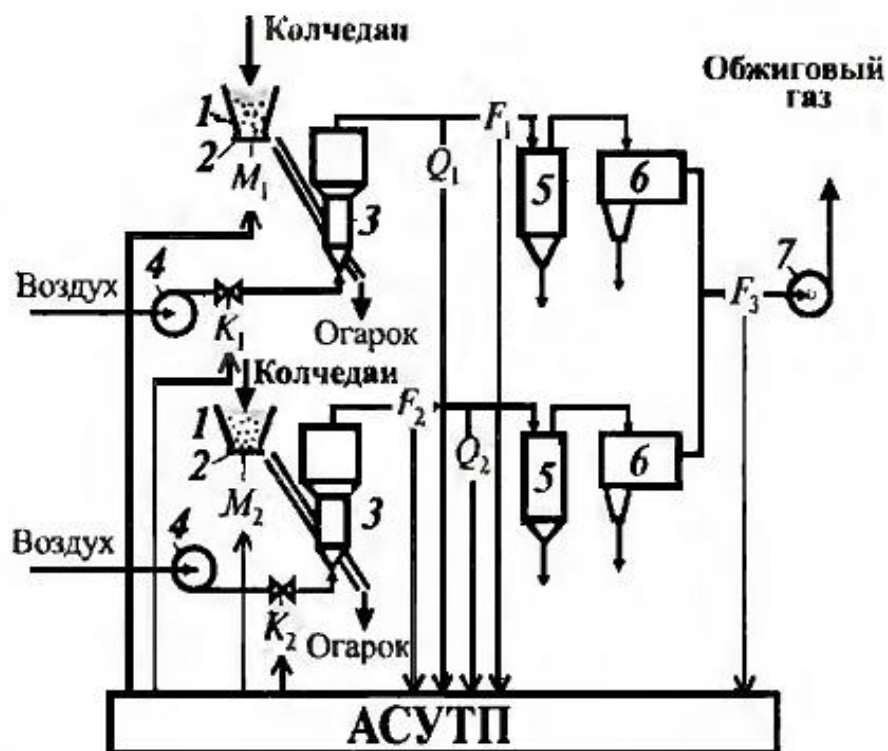


Рис. 10. Функциональная схема АСУТП обжигового комплекса:

- 1 – бункеры серного колчедана; 2 – питатели; 3 – печи кипящего слоя;
4 – воздуходувки; 5 – циклоны; 6 – электрофильтры; 7 – вентилятор

Но при работе может возникнуть ситуация, когда сократится подача колчедана в одном из агрегатов (например, в первом) из-за нарушения работы питателя. При поддерживаемой нагрузке по обжиговому газу указанное нарушение приведет к уменьшению в нем концентрации SO_3 . В таком случае необходима корректировка в регуляторе расхода воздуха на изменение работы питателя колчедана. В принципе возможна установка САР с такой корректировкой (так называемые многосвязные САР). Но уменьшение нагрузки в первом агре-

гате приведет к уменьшению общей нагрузки. Необходим переход на следующие управляющие воздействия – увеличить и расход воздуха колчедана в другом агрегате. Если же изменения достаточно велики и не удастся достигнуть необходимых показателей по расходу и концентрации, хотя элементы системы работоспособны, необходимо скорректировать работу последующих подсистем, перерабатывающих обжиговый газ. САР, как она была определена выше, со всеми этими задачами уже не справится. Как видим, при управлении крупным технологическим комплексом возникают проблемы, которые принципиально не сводятся к стабилизации отдельных технологических параметров.

Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП) – специальная подсистема химического производства, управляющая всем производством со сложными взаимодействиями между его элементами.

В приведенном примере она осуществляет все необходимые взаимодействия между регулирующими параметрами и устройствами управления. Но задачей АСУТП является не только организация многосвязного управления. Функции, выполняемые АСУТП, можно разделить на несколько групп, представленных в системе соответствующими автономными подсистемами.

1. *Управляющие функции АСУТП* включают автоматическую стабилизацию режима, обеспечивающую регулирование основных технологических параметров процесса и своевременное снятие возмущений, возникающих в производстве; дистанционное управление регулирующими и запорными органами; дистанционный пуск основных стадий производства и плановую его остановку.

2. *Информационные функции АСУТП* включают централизованный сбор информации о параметрах технологического процесса и состоянии оборудования; подготовку и предоставление обработанной информации о технологическом процессе и выдачу сигналов об отклонении параметров на мнемосхему, цифровую индикацию, шкальные приборы, цифробуквенную печать и другие устройства отображения информации и сигнализации.

3. *Аварийная защита* служит для предотвращения аварий, возможных в результате отказов аппаратуры, механизмов, машин или ошибочных действий операторов, а также для дистанционной аварийной остановки производства.

В соответствии с описанными функциями АСУТП ее можно представить в виде структурной схемы, приведенной на рис. 11.

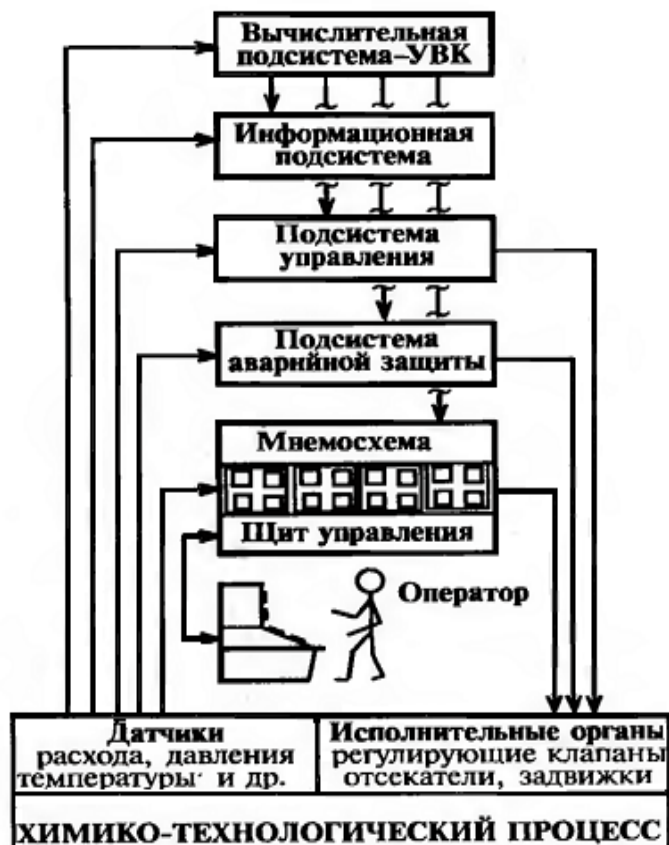


Рис. 11. Структурная схема АСУТП

АСУТП – это комплекс технических средств, состоящий из управляющего вычислительного комплекса УВК, подсистем для выполнения указанных функций, устройств связи с персоналом (операторами) и с объектом, каналов передачи информации, преобразователей и устройств ввода информации. Функционально к комплексу технических средств АСУТП относятся также датчики сигналов физических величин, исполнительные механизмы, регуляторы и другие устройства локальной автоматики.

Хотя, казалось бы, АСУТП с управляющей вычислительной машиной может выполнить любые операции, участие человека – оператора химического производства достаточно активно. Подготовленная и обобщенная информация

о процессе позволяет оператору принимать решения в условиях неопределенности и в сложных ситуациях, находить компромиссные выходы.

6.3. Пуск и остановка химического производства

Разработка химико-технологической системы предусматривает создание определенных условий ее функционирования. В реальности при эксплуатации всегда имеются отклонения от проектных условий. Возмущения вносят изменения количества и качества сырья, постепенный износ аппаратуры, колебания в подаче энергии, изменения погодных условий, даже квалификация обслуживающего персонала и многое другое. Поведение химико-технологической системы в условиях реального производства, некоторые общие вопросы эксплуатации рассмотрены далее.

Между завершением строительства и началом эксплуатации существует ответственный этап пуска производства. Ему предшествуют подготовительные операции, которые можно сгруппировать следующим образом:

- проверка правильности монтажа оборудования и трубопроводов;
- подготовка насосов, компрессоров и турбин (выверка соосности, испытание сальниковых уплотнений, проверка циркуляции смазки и масляных затворов и др.);
- пуск и испытание центробежных машин;
- продувка, промывка и испытание трубопроводов;
- просушка огнеупоров технологических печей и футеровки аппаратов;
- загрузка катализаторов в реакторы;
- заполнение водооборотной системы охлаждающей водой и циркуляция в ней воды;
- пробный пуск вентиляторов воздушных холодильников;
- подготовка установки обессоливания питательной воды для парогенераторов, котлов-утилизаторов;
- разжигание технологических печей и парогенераторов;
- наладка функциональных подсистем АСУТП;

- другие подготовительные операции, которые разрабатываются для каждого конкретного производства.

Перечень операций и последовательность их выполнения оформляются в виде сетевого графика и строго контролируются. На проведение каждой операции разрабатывается инструкция, учитывающая специфику оборудования, рекомендации завода-изготовителя и проектной организации. В графике может быть предусмотрено параллельное проведение некоторых операций, что сокращает общее время подготовки к пуску производства.

По завершении подготовительных работ приступают к пуску химико-технологического процесса, т. е. к технологическому пуску химического производства. Пуск включает много стадий, которые проводят в определенной последовательности по графику и строго контролируют. Перечень стадий пуска, их последовательность и длительность специфичны для каждого химико-технологического процесса и определяются для конкретного производства. Например, технологический пуск современного производства аммиака занимает в среднем до 40 дней и включает в себя следующие этапы:

- начало подачи сырья в печь первичного риформинга и подъем температуры в печи (1 сутки);
- пуск воздушного компрессора и ввод технологического потока в реактор вторичного риформинга (1 сутки);
- достижение заданной температуры в реакторе синтеза аммиака (4 суток);
- начало подачи газового потока в абсорбер и стабилизация работы системы удаления CO_2 (2 суток);
- пуск и стабилизация узла метанирования (3 суток);
- пуск холодильной системы (4 суток);
- достижение заданной низкой температуры в реакторе синтеза аммиака (6 суток);
- увеличение расхода газового потока при низкой температуре в реакторе синтеза аммиака (2 суток);

- пуск и пробег компрессора синтез-газа (3 суток);
- испытание на плотность затяжки фланцевых соединений контура синтеза аммиака (3 суток);
- активация катализатора синтеза аммиака (8 суток);
- настройка агрегата и увеличение нагрузки до проектного уровня (3 суток).

Здесь приведена только часть этапов пуска агрегата синтеза аммиака, но и она дает представление о сложности этого процесса.

В период пуска проявляется несовершенство технических решений, принятых в проекте, недостатки строительно-монтажных работ, неполадки оборудования. Все эти причины увеличивают сроки пускового периода. Из статистических наблюдений следует, что в крупнотоннажных производствах имеют место следующие причины задержки пуска и их соотношение (в %):

- | | |
|--------------------------|----|
| – ошибки проектирования | 10 |
| – ошибки строительства | 20 |
| – неполадки оборудования | 40 |
| – ошибки операторов | 30 |

Отметим довольно значительную долю «человеческого фактора» – ошибок операторов, что еще раз подтверждает необходимость высокой квалификации работающего персонала. И хотя в приведенном выше списке операций по подготовке и пуску производства не отмечены подготовка операторов технологического процесса и другого обслуживающего персонала, этап обучения и повышения квалификации работников производства – один из важнейших и обязательных этапов подготовки производства к эксплуатации. Современная система такой подготовки включает детальное изучение процессов, оборудования, их эксплуатации, поведение в аварийных ситуациях, а также обучение персонала на специальных тренажерах, имитирующих работу реального производства.

6.4. Безопасность и диагностика химико-технологической системы

Неполадки и неисправности в ХТС

Химические производства все более укрупняются и усложняются. За последние 30 лет мощности единичных агрегатов возросли в 3–6 раз. В состав современного производства аммиака входит более 200 единиц различного технологического и энергетического оборудования, а протяженность трубопроводов измеряется десятками километров. Тенденция к созданию малотоннажных производств также связана с усложнением процессов и ХТС.

Как уже отмечалось, для любого элемента ХТС вероятны нарушение его работоспособности, т. е. невозможность выполнения в полном объеме его функций, неполадки и неисправности оборудования и приборов. Под неполадкой подразумевается минимальное нарушение эксплуатационных качеств, а неисправность рассматривается как полная невозможность работы оборудования, приборов или осуществления процесса. Например, неполадки в химическом реакторе могут возникнуть при отложении солей на поверхности теплообменных элементов. Производство в этом случае может продолжать функционировать при пониженной нагрузке по сырью и соответствующей корректировке технологического режима в остальных элементах ХТС. Нарушение герметичности теплообменных трубок или фланцевых соединений приводит к попаданию хладагента в реактор или реагентов в атмосферу. Возникшая неисправность потребует остановки производства для проведения ремонтных работ.

Частота появления неисправностей и неполадок в химических производствах зависит в большой мере от условий работы оборудования, свойств реагентов и вспомогательных материалов (коррозионная активность среды, образование осадка, накипи, инкрустация оборудования и др.), давления и температуры, величин массовых и тепловых потоков, механических и гидромеханических воздействий (эрозия, вибрация, кавитация и др.). Неисправности технических средств АСУТП могут быть причиной неплановой остановки производства и даже аварии.

Возникновение неисправностей в каталитическом крекинге углеводородов связано с организацией процесса. Превращение сырья происходит в кипящем слое катализатора, который регенерируют в этом же реакторном блоке,

выжигая коксовые отложения. Циркулирующий катализатор обладает абразивными свойствами, и реакторы работают в условиях сильной эрозии. Особенно интенсивно изнашиваются перфорированные решетки распределительных устройств, транспортные линии, перегородки реакционных зон, циклонные сепараторы, опускные трубы и коллекторы охлаждающего змеевика, облицовка теплоизоляционной футеровки. Из-за эрозии происходит разрушение стенок аппаратов и коммуникаций.

Нарушение работоспособности оборудования не только сказывается на эффективности всего производства, но и может привести к аварийным ситуациям вплоть до трудно устранимых и даже необратимых последствий. Аварии в химических производствах часто сопровождаются взрывами и пожарами. Так, попадание горючих реагентов в атмосферу из-за нарушения герметичности соединений и элементов оборудования может привести к возгоранию и даже взрыву. По литературным данным, причины аварий на химических производствах, сопровождающихся взрывом, распределены следующим образом (в %):

– выход из-под контроля химической реакции	40
– повышение давления и температуры	20
– протекание побочных химических реакций	15
– разложение продуктов	5
– возгорание оборудования	13
– выброс паров горючих веществ	10
– повышение давления	8,3
– воспламенение от искры	5
– нарушения в аппаратах высокого давления	3,3
– ошибка оператора	3,3
– прочее	16,8

Как видно, основной причиной взрывов является выход из-под контроля химической реакции, т. е. нарушение режима в реакторе. Многочисленные неполадки и неисправности вызваны также превышением давления и температуры в технологических аппаратах.

Почти все используемые в химических производствах вещества оказывают разрушающее (коррозионное) воздействие на материал оборудования. Коррозионная устойчивость оборудования и трубопроводов является важнейшим показателем, определяющим их надежность, межремонтный пробег, затраты на ремонт. Поэтому разработке способов повышения коррозионной устойчивости уделяется большое внимание, начиная с проектирования и конструирования. Основные способы предотвращения коррозионного износа оборудования можно условно разделить на три группы:

- 1) подбор коррозионно-стойких конструкционных материалов;
- 2) применение защитных покрытий;
- 3) использование химических противокоррозионных методов.

Последнюю группу способов используют, например, в первичной переработке нефти, в которой содержатся агрессивные компоненты. Обессоливание, обезвоживание и защелачивание нефти, ввод ингибиторов коррозии в систему конденсации легких фракций позволяют сократить число аварийных неплановых остановок и увеличить межремонтный пробег атмосферно-вакуумных трубчатых установок до 1–1,5 лет. Даже вода может быть агрессивным компонентом. В кипятильниках, паровых котлах из воды выпадают содержащиеся в ней соли и осаждаются на теплообменных поверхностях, что может вызывать их разрушение.

Предотвращение неполадок в ХТС

Для сокращения неполадок и неисправностей ХТС используются организационно-технические меры:

- строгое соблюдение технологической дисциплины на всех стадиях существования ХТС (строительство, пуск, эксплуатация, профилактика); именно оно позволяет, в первую очередь, не допускать возникновения аварийных ситуаций;
- техническая диагностика ХТС; поскольку абсолютно исключить неисправности и неполадки невозможно, и ряд факторов воздействия на производство неконтролируем, то желательно предвидеть возможность опасных ситуаций на производстве.

Диагностика неполадок в ХТС предполагает обнаружение зарождающейся неисправности и выяснение ее причин; предсказание тенденции изменения процесса в сторону нарушения его нормального течения; выбор способа предотвращения возникающего нарушения. Используются специальные технические, организационные и математические методы.

Обнаружение и диагностика неполадок включают:

- сбор данных о параметрах процесса и состоянии оборудования и их изменении во времени;
- анализ полученных данных и распознавание тенденции их выхода за пределы нормального функционирования процесса и оборудования.

Ответственный этап – сбор данных, для чего используют контрольные карты процессов, фиксирующие как случайные, так и неслучайные (вводимые или планируемые) возмущения. Выбор перечня изменений зависит от контролируемого объекта. В него включают как переменные данные, контролируемые приборами, так и данные операторов, основанные на органах чувств (зрении, слухе, обонянии, осязании). Фиксируются также характеристики процесса, и проводится сопоставление их с приемлемыми условиями работы. Данные обрабатывают с использованием специального математического аппарата статистики, распознавания образов и принятия решений. Конечным результатом является так называемое «дерево решений», или логические шаги, которые нужно предпринять оператору при обнаружении неполадок.

7. ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА КАК СИСТЕМА

7.1. Энерго- и ресурсосбережение и промышленная экология

Окружающей средой принято считать все, что нас окружает, с чем мы прямо или косвенно связаны в своей жизни и деятельности. Это целостная система взаимосвязанных природных и созданных человеком объектов и явлений, включая физические, химические, биологические и социальные. В широком смысле слова окружающей средой следует называть нашу планету с ее биосферой и космическое пространство, воздействующее на нас. Однако, учитывая существующий уровень взаимодействия человека и космоса, достаточно целесообразно и обоснованно подразумевать под окружающей средой лишь земную кору и биосферу.

Биосфера – оболочка Земли, в которой развивается жизнь разнообразных организмов, населяющих поверхность суши, почву, нижние слои атмосферы, гидросферу. В своей основе биосфера представляет собой результат взаимодействия живой и неживой материи. По последним данным, толщина биосферы составляет 40–50 км. Она включает в себя нижнюю часть атмосферы до высоты 25–30 км (до озонового слоя), практически всю гидросферу и верхний слой литосферы до 5 км.

Современное учение о биосфере создал выдающийся русский ученый В.И. Вернадский (1863–1945). Он доказал, что все три оболочки Земли – атмосфера, гидросфера и литосфера – воедино связаны живым веществом, которое непрерывно оказывает воздействие на неживую природу, преобразуя и формируя облик планеты. Согласно учению о биосфере, к природе надо подходить как к единому целому, как к системе, все части которой тесно связаны друг с другом.

Основой динамического равновесия и устойчивости биосферы является круговорот веществ и превращение энергии. Круговорот складывается из множества процессов превращения и перемещения веществ (таких, как круговорот воды на Земле, кислорода, углерода, азота, минеральных веществ). На рис. 12 показана схема циркуляции кислорода, диоксида углерода и воды.

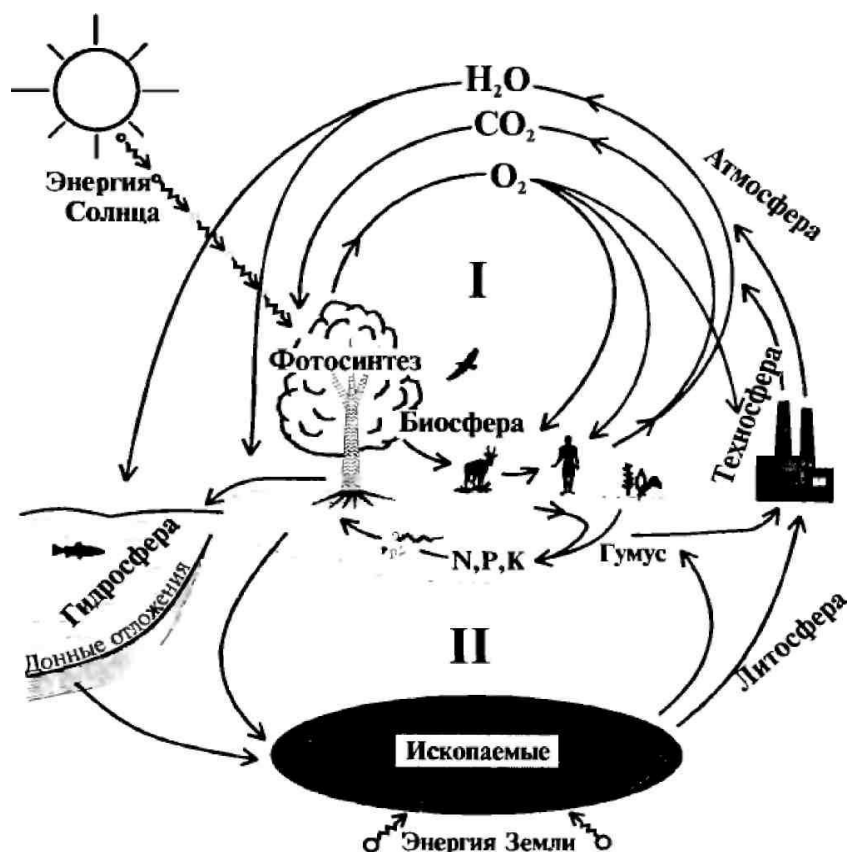


Рис. 12. Схема круговорота некоторых веществ в экосистеме: I – малый (биологический) круговорот веществ; II – большой (геологический) круговорот веществ

Живые существа поглощают кислород и выделяют CO_2 и H_2O . Отходы живых существ (и они сами после их смерти) как конец существования индивидуальных организмов остаются на поверхности Земли и попадают в почву. В замкнутой системе такое однонаправленное движение веществ должно привести к установлению устойчивых соединений и к прекращению всяких превращений, термодинамическому равновесию. Однако Земля имеет мощную внешнюю подпитку в виде энергии Солнца, которая не позволяет затихать процессам превращения веществ на Земле. Решающее значение в истории образования биосферы имело появление на Земле так называемых автотрофных растений, способных улавливать солнечную энергию и синтезировать органические вещества из минеральных соединений. Фотосинтез до В.И. Вернадского рассматривался как собственно биологический процесс, как процесс самоподдержания жизни путем улавливания лучистой энергии Солнца. Благодаря фотосинтезу меняется весь облик Земли, осуществляется биогеохимический круговорот веществ в природе.

Неорганические и органические соединения от всех живых организмов и растений, попав на поверхность Земли и в почву, также перерабатываются микроорганизмами и другими живыми существами, например червями, в почвенном слое, называемом гумусом, обеспечивая поставку растениям необходимых им элементов. На рис. 12 показаны только азот (N), фосфор (P) и калий (K) как основа известных удобрений. Жизнь растений позволила замкнуть круговорот веществ в природе и через почву.

Общая масса живого вещества Земли исчисляется сотнями миллионов тонн и включает 500 тысяч видов растений и 1,5 млн видов животных. Полагают, что биомасса микроорганизмов достигает многих миллиардов тонн. Ежегодный прирост живого вещества за счет фотосинтеза равен $8,8 \cdot 10^{11}$ т.

Описанный круговорот веществ на Земле, поддерживаемый солнечной энергией, – круговая циркуляция веществ между растениями, микроорганизмами, животными и другими живыми организмами – называется биологическим круговоротом веществ, или малым круговоротом. Время полного обмена вещества по малому круговороту зависит от массы этого вещества и интенсивности процессов его продвижения по циклу и оценивается в несколько сот лет.

Кроме малого круговорота, существует большой (геологический) круговорот. Часть веществ попадает в глубинные слои Земли (через донные отложения морей или иным путем), где происходят медленные превращения с образованием различных соединений, минеральных и органических. Процессы геологического круговорота поддерживаются в основном внутренней энергией Земли, ее активного ядра. Эта же энергия способствует выходу веществ к поверхности Земли. Тем самым большой круговорот веществ замыкается. Он занимает миллионы лет.

На рис. 12 показан круговорот не для всех веществ и элементов. Круговорот веществ установился в результате длительной эволюции Земли. Установившееся Великое равновесие природы обеспечивает гармоничное равновесие между составляющими системы – гидросферой, атмосферой, литосферой и биосферой и их частями.

В указанной на рисунке схеме человек выделен среди всех живых организмов. Прочие живые организмы можно условно назвать «пассивными», т. е. они обеспечивают свое существование, потребляя только то, что необходимо для поддержания их жизни и воспроизводства. Человек отличается от других живых организмов своей активной деятельностью в биосфере. Ему необходимо обеспечивать комфортность своего существования, удовлетворять возрастающие потребности материальной жизни и интеллектуального развития. Человечество активно использует природные ресурсы – создает промышленность, сельское хозяйство, развивает инфраструктуру, обустроивает быт.

На протяжении всего многовекового существования человек своей деятельностью оказывает влияние на Великое равновесие природы. Сейчас вмешательство человека стало настолько большим, что можно выделить еще одно глобальное движение веществ, сравнимое с природными потоками биологического круговорота. На рис. 12 это показано через промышленность. Пока этот поток не замкнут. Пагубное воздействие изменения равновесия на все живое может сказаться сразу, но может аккумулироваться и привести к губительным последствиям глобального характера спустя значительное время. Человечество долгое время полагалось на то, что природа сама залечивает нанесенные ей раны и что природные ресурсы не могут быть исчерпаны. К любым возобновляемым природным ресурсам следует подходить как к единому целому, а не как к механической сумме различных видов ресурсов и источников энергии. В этом и состоит главная идея, требующая нового практического подхода к природной среде, окружающей человека.

Наука, изучающая условия существования живых организмов, их взаимосвязь друг с другом и со средой, в которой они обитают, называется экологией. Слово «экология» происходит от греческих слов *ekos* – дом, *logos* – наука. Этот термин был впервые использован в 1866 г. биологом-дарвинистом Э. Геккелем.

Как научная дисциплина экология имеет более чем вековую историю. Систематические экологические исследования начаты только в XX веке, хотя вся история развития жизни на нашей планете – это одновременно история эко-

логических отношений. Человек нарушал экологическое равновесие уже в тот отдаленный период, когда уничтожал леса, создавая поля и пастбища, но эти нарушения носили локальный характер и не вызвали глобальных последствий для всего живого на Земле. На каждом этапе развития человеческого общества воздействие человека на природу определялось состоянием производительных сил; оно особенно возросло с появлением машинной технологии и достигло максимума в период научно-технической революции.

Отрицательное воздействие развития производства на природу сводится к трем главным аспектам: истощению естественных ресурсов, загрязнению окружающей среды и нарушению экологического равновесия и, как следствие, ухудшению условий жизни людей. Очевидны два противоречия. С одной стороны, природа должна быть сохранена во имя процветания человечества, с другой – прогресс и процветание человечества невозможны без интенсивной эксплуатации природной среды. На современном уровне развития рост производительных сил не только увеличивает наши возможности, но и уменьшает их, снижая потенциал природных ресурсов. Поэтому, выбирая цели, которые человечество хочет достичь, необходимо прогнозировать их результативность по показателям экономического подъема общества, его социального развития и сохранения рабочего потенциала природных ресурсов.

В 1968 г. в Париже состоялась встреча ученых-экологов, на которой впервые был поставлен вопрос о последствиях загрязнения окружающей среды и ответственности науки, производства и политики за состояние биосферы. Конференция ООН в Стокгольме (Швеция) в 1972 г. приняла декларацию, содержащую 26 принципов, которыми должны руководствоваться в своей деятельности, направленной на охрану природы и рациональное использование природных ресурсов, все государства. На этой конференции учрежден Всемирный день окружающей среды, который отмечается ежегодно 5 июня.

В настоящее время нет недостатка в прорицателях глобальной катастрофы, которую якобы готовит технический прогресс. Предотвратить предрекаемый экологический кризис может и должна разумная деятельность человека,

основанная на глубоком понимании естественных биотических циклов, обновляющих и восстанавливающих природную среду.

Поэтому в экологии как науке о существовании живых веществ в природе выделено направление – промышленная экология как раздел общей экологии, изучающей взаимосвязь, взаимодействие объектов хозяйственной деятельности человека (предприятие, город, сельское хозяйство, гидротехническое сооружение и т. п.) с окружающей средой. Объем и влияние деятельности человека на природу стало таким, что в качестве составляющей ее можно выделить техносферу, созданную человеком. Предметом изучения промышленной экологии стала техносфера как элемент всей экосферы, включающей гидросферу, атмосферу, литосферу, биосферу и техносферу.

Современный научно-технический прогресс связан с постоянным ускорением темпов потребления природных ресурсов и развития производств. Древнему человеку для удовлетворения всех жизненных потребностей было необходимо 18 химических элементов и их сочетаний, к XVIII веку – 28, в XIX веке – 47, в начале XX века – 59. Сейчас используется около 100 элементов и их соединений.

Темпы использования запасов полезных ископаемых продолжают нарастать. Так, за последние 20 лет потребление нефти возросло в 4 раза. То же самое происходит с железными рудами, фосфатами и другими минералами. Из 200 видов полезных ископаемых наиболее активно используется 30. Однако из-за несовершенства технологии добычи и переработки теряется почти половина металлов и третья часть химического сырья. В целом прямой выход в технологической цепи «сырье – целевой продукт» редко превышает 10 %, т. е. из каждой тонны природного сырья полезно используется лишь 100 кг и образуется до 900 кг различных отходов.

Сложившийся характер потребления сырьевых ресурсов приводит к неуправляемому росту объема отходов. Огромное количество их попадает в атмосферу в виде пылегазовых выбросов и со сточными водами в водоемы, что отрицательно сказывается на состоянии окружающей среды. В атмосферу планеты ежегодно выбрасывается более 300 млн т оксида углерода, более 50 млн т

углеводородов, около 200 млн т диоксида углерода, 53 млн т оксидов азота, 200–250 млн т различных аэрозолей, 120 млн т золы. Более всего загрязняют атмосферу теплоэнергетика, черная и цветная металлургия, химическая промышленность. Стремительно увеличивается объем накопления твердых отходов.

В промышленный оборот вовлекаются все новые виды полезных ископаемых, к которым теперь предъявляются повышенные требования. Нефть долгие годы была только топливом, потом стала широко использоваться в химическом производстве, а теперь – и в получении белковых веществ. Значительно расширилась сфера потребления металлов, особенно редких.

Потенциальной сферой добычи полезных ископаемых является для человека лишь оболочка земного шара в несколько десятков километров, хотя за миллиарды лет своего существования наша планета создала огромнейшие запасы минеральных ресурсов. Не все они пока доступны человеку. На глубине 10–20 км определен средний химический состав земной коры. Двенадцать элементов в сумме составляют 99,29 %. Более всего в земной коре содержится кислорода и кремния; другие ценные элементы, имеющие промышленное значение, находятся в относительно небольшом количестве. Ниже приведен средний химический состав [в % (масс.)] земной коры на глубине 10–20 км:

– кислород	49,13
– кремний	26,00
– алюминий	7,45
– железо	1,20
– натрий	2,40
– калий	2,35
– магний	2,35
– водород	1,00
– титан	0,61

Природные ресурсы, как и энергетические, можно разделить на 3 группы: практически невозобновляемые, возобновляемые в отдаленном будущем и возобновляемые сравнительно быстро. Две первые группы – это полезные иско-

паемые. В отличие от быстро возобновляемых ресурсов, которые при правильной их охране становятся практически неистощимыми, полезные ископаемые – это как бы «срочный вклад» природы. Их можно использовать только один раз, после чего они исчезают.

К возобновляемым запасам относятся материалы растительного и животного происхождения. Эти биологические ресурсы человечество может воспроизводить в течение жизни одного поколения, в то время как для образования полезных ископаемых необходимо весьма длительное время и исключительное сочетание благоприятной горно-геологической обстановки планеты, которая может не повториться.

Возобновляемыми в отдаленном будущем можно считать горючие ископаемые – нефть, уголь, торф, сланцы, а также некоторые природные соли. Но воссоздание месторождений – столь длительный процесс, что полезные ископаемые почти все можно считать «срочным вкладом» природы.

К категории практически невозобновляемых ресурсов относятся ископаемые магматического происхождения – рудные, из которых получают металлы, и некоторые нерудные (например, корунд, графит и т. д.).

В своей хозяйственной деятельности человек концентрирует природные материалы, добывая их, а затем рассеивает. При этом большая часть ресурсов рассеивается необратимо (например, углерод в процессе использования распыляется в земной коре и загрязняет атмосферу; железо в виде различных металлических изделий через процесс коррозии рассеивается по всей планете и т. д.). Человек концентрирует (не рассеивает, а накапливает) лишь драгоценные металлы – золото, платину и т. п.

Исключительно большие масштабы добычи полезных ископаемых привели к истощению самых богатых и наиболее доступных рудных залежей. Более того, можно говорить об истощении сырья в глобальном масштабе, если иметь в виду разведанные запасы, пригодные к эксплуатации при данном развитии техники и уровне цен. Отмеченные факты подтверждают тенденции к повышению издержек производства и цен на минеральное сырье. Коренной путь реше-

ния сырьевой проблемы предполагает разработку технологии, на основе которой обеспечиваются:

- увеличение полноты и комплексности использования природных ресурсов (отбирать максимальное число компонентов при добыче полезных ископаемых и сокращать отходы на всех этапах производственных процессов);
- повторное использование отходов производства и потребления (регенерация отходов).

В последние годы регенерационное производство получает все более широкое развитие, которое обеспечивает решение сразу двух проблем: сокращение все возрастающего количества отходов и преодоление дефицита сырьевых ресурсов за счет их утилизации.

Экономический анализ подтверждает приоритетность затрат на создание регенерационных производств по сравнению с затратами на добывающую промышленность. За счет регенерации сырьевых и энергетических ресурсов не только повышается экономическая эффективность работы предприятий, но и снижается давление антропогенного фактора на окружающую среду. Другими словами, можно утверждать, что энерго- и ресурсосбережение не только является составной частью промышленной экологии, но и решает более общие задачи, связанные с рациональным природопользованием в современных условиях. Поэтому в последнее время развивается тенденция комплексного энерго-экологического анализа экономической эффективности мероприятий и программ энерго- и ресурсосбережения.

7.2. Взаимодействие производства и окружающей среды

Обмен веществ между производственной и природными сферами в процессе взаимодействия производства и окружающей среды называется антропогенным метаболизмом. Он складывается из двух составляющих: суммы индивидуальных обменов веществ всех людей на Земле (биологическая часть) и суммы техногенных обменов веществ от технологических процессов (техноло-

гическая часть). Технологический обмен трактуется как обмен веществ и энергии между техносферой и биосферой и порождает немало проблем и противоречий в системе «общество – природа» (рис. 13).

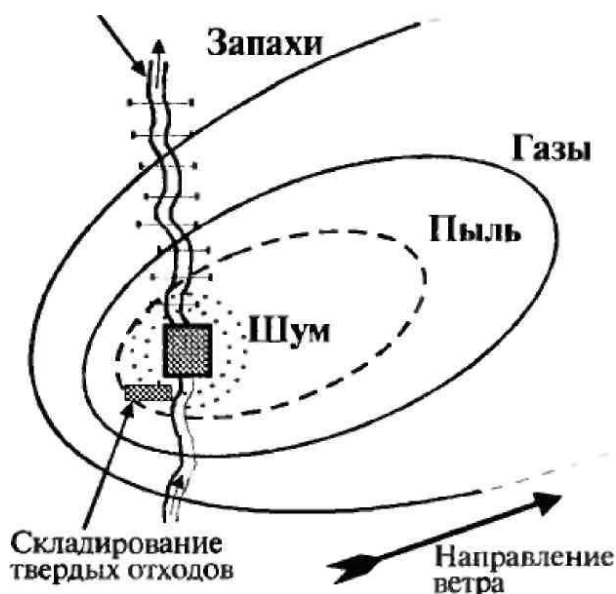


Рис. 13. Относительные расстояния в распространении отходов производства

Любой технологический процесс начинается вводом исходных веществ (сырья) и завершается в конечном итоге выводом разнообразных готовых изделий и отходов. Иными словами, система антропогенного обмена в целом включает ввод природных ресурсов, их переработку с использованием энергии и вывод в окружающую среду отработанных веществ (производственных и бытовых отходов) и отслуживших свой срок готовых изделий. Процесс этот носит линейный, незамкнутый и, следовательно, конечный характер, поскольку возвращение отходов и отработанных изделий в качестве исходного сырья все еще скорее исключение, чем правило.

Обмен веществ в биосфере основан на других принципах. Суммарный процесс движения веществ в биосфере носит замкнутый, циклический характер, т. е. теоретически бесконечный при постоянном потоке энергии от Солнца.

Современный объем и скорости антропогенного обмена (особенно в его технологической части) достигли уровня, при котором все отчетливее проявляется напряженность и на вводе (сырьевые ресурсы), и на выводе из системы (отходы). В результате к настоящему времени со всей очевидностью выявились

четыре острейшие проблемы глобального характера: охрана окружающей среды от загрязнения, обеспечение растущего населения продуктами питания, обеспечение промышленности минеральным сырьем и проблемы энергетики.

Масштабы воздействия человека на окружающую среду огромны. Интенсивному воздействию подвергаются все компоненты окружающей среды, из которых наиболее важны для человека атмосферный воздух, пресная вода и почва.

Загрязнение окружающей среды – вывод из системы антропогенного обмена в природу всевозможных отходов, отбросов и использованных (амортизированных) изделий. Виды, источники и пути загрязнения окружающей среды различны и многообразны: выбросы в атмосферу химических соединений и смесей; слив в водную среду (реки, подземные воды) всевозможных производственных отходов и сточных вод, попадание в нее нефтяных продуктов; засорение почвы твердыми отходами; повышение уровня ионизирующей радиации, шума, вибрации, а также тепловые выбросы в атмосферу и водный бассейн.

Основное загрязнение атмосферы в нашей стране создают шесть отраслей промышленности и автотранспорт. Их относительное участие в загрязнении атмосферы (%): теплоэнергетика – 27,0; черная металлургия – 24,3; цветная металлургия – 16,5; нефтедобыча и нефтехимия – 15,5; автотранспорт – 13,3; предприятия стройматериалов – 8,1; химическая промышленность – 1,3.

Как видно, теплоэнергетика и предприятия черной металлургии поставляют более половины всех выбросов в атмосферу. Выбросы от химических производств меньше по общему количеству, но их разнообразие и высокая токсичность ставят химическую промышленность в ряд основных загрязнителей атмосферы. Для химических и нефтехимических предприятий характерно наличие технологических и вентиляционных, организованных и неорганизованных выбросов вредных веществ в атмосферу.

К *технологическим* относят хвостовые выбросы технологических процессов, выбросы при продувке оборудования, постоянно действующие вентиляционные трубы, периодически действующие предохранительные клапаны, дымо-

вые трубы технологических печей. Эти выбросы характеризуются высокой концентрацией вредных веществ в небольшом объеме газовой смеси.

К *вентиляционным* относят выбросы общеобменной и местной вытяжной вентиляции. С учетом объема вентиляционного воздуха валовое количество вредных веществ, содержащихся в вентиляционных выбросах, часто превышает таковое в технологических выбросах.

К *организованным* относят выбросы, отводимые от мест выделения системой газоотводов, что позволяет улавливать вредные вещества в соответствующих установках.

Неорганизованные выбросы возникают за счет негерметичности оборудования, коммуникаций, пробоотводников, канализационных колодцев и др.

К самым распространенным веществам, загрязняющим атмосферу, относят оксид углерода, диоксид углерода, диоксид серы, оксиды азота, углеводороды, летучие растворители (ароматические углеводороды, спирты, эфиры, кетоны, галоген производные углеводороды и др.), а также пыль. Известно более 200 веществ, загрязняющих атмосферу, причем по мере освоения новых технологических процессов их число возрастает. В некоторых случаях отрицательное влияние на окружающую среду усиливается в результате образования в атмосфере под воздействием солнечного света новых веществ из соединений, содержащихся в выбросах.

Серьезные опасения вызывает загрязнение пресных вод, являющихся и природным ресурсом деятельности человека, и одновременно жизненно необходимым благом. В нашей стране возобновляемый речной сток составляет около 4700 км³ в год. Наиболее устойчивая величина стока, которая может быть использована для водопотребления, составляет 1600 км³ в год, или 34 % суммарных водных ресурсов. Водосток имеет неравномерное распределение по территории страны. Около 80 % стока рек приходится на Сибирь и Дальний Восток, в то время как почти 80 % промышленного производства размещено на Европейской части континента.

Промышленные предприятия, сельское хозяйство, транспорт загрязняют водоемы всевозможными поверхностно-активными веществами, солями, минералами, углеводородами, взвешьями, удобрениями и ядохимикатами. Одним из опасных видов органического загрязнения воды является загрязнение нефтью участка поверхности более 20 км². Такая пленка сокращает проникновение света, препятствует фотосинтезу, снижая перенос кислорода и углекислого газа. Со временем нефтяная пленка разлагается под действием солнечного излучения, образуя высокотоксичные вещества.

Исключительно важной современной проблемой является сохранение почвы. Ежегодно в мире приходит в негодность примерно 6–7 млн га почвы. Немалые потери происходят из-за отчуждения пахотных и других пригодных для сельскохозяйственного использования земель под городскую застройку, прокладку дорог, промышленные площадки, свалки отходов и т. д. В настоящее время для добычи 1 м³ полезных ископаемых отчуждается 8,6 га земли, при строительстве 1 км трубопроводов – 4 га, 1 км автодорог – 2 га.

Таким образом, экологические последствия деятельности человека сводятся к нарушению естественно протекающих процессов в отдельных компонентах окружающей среды и во всем их комплексе. Человек, его деятельность, непосредственно влияющая на компоненты окружающей нас природы и рукотворные объекты, образуют в тесной взаимосвязи эколого-экономическую систему (ЭЭС), жизнедеятельность которой невозможно рассматривать по отдельным компонентам в силу теснейших взаимосвязей.

7.3. Контроль состояния окружающей среды. Предельно допустимые концентрации примесей в атмосфере

Основной физической характеристикой примесей в атмосфере служит концентрация – количество вещества в единице объема воздуха при нормальных условиях (обычно в мг/м³). Концентрация примесей определяет физическое, химическое и другие виды воздействия их на окружающую среду и является основным параметром при нормировании допустимого содержания примеси в атмосфере и водных объектах.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) – это максимальная концентрация примесей в атмосфере, осредненная за определенное время, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает на него и на окружающую среду в целом вредного действия, включая отдаленные последствия. Если вещество оказывает на окружающую природу вредное воздействие в меньших концентрациях, чем на организм человека, то при нормировании исходят из порога действия этого вещества на окружающую природу.

Выделяют два типа ПДК – *максимально-разовые* (ПДК_{раз}) и *среднесуточные* (ПДК_{сут}). Первые относятся в основном к 20–30-минутному интервалу времени и определяют степень кратковременного воздействия примеси на организм человека; вторые – допустимую степень загрязнения воздуха в течение длительного периода без строгого фиксирования его продолжительности.

В нашей стране установлены ПДК для 411 загрязняющих веществ в воздухе. В табл. 5. приведены значения для некоторых из наиболее распространенных примесей. В зависимости от токсичности выделяют четыре класса опасности примесей.

Значения ПДК некоторых веществ в атмосферном воздухе

Вещество	ПДК, мг/м ³		Класс опасности
	максимально-разовая	средне-суточная	
Диоксид азота	0,085	0,04	2
Аммиак	0,2	0,04	4
Диоксид серы	0,5	0,05	2
3,4-Бенз(а)пирен	–	10 ⁻⁶	I
Взвешенные вещества (пыль)	0,5	0,05	3
Кислота серная	0,3	0,1	2
Метилмеркаптан	9*10 ⁻⁶	–	2
Ртуть металлическая	–	3*10 ⁻⁴	1
Сероуглерод	0,03	0,005	2
Оксид углерода	5,0	3,0	4
Фенол	0,01	0,003	2
Фтористые газообразные со-	0,02	0,005	2
Хлор	0,1	0,03	2

ПДК загрязняющих веществ регламентированы Министерством здравоохранения России. Наибольшая концентрация каждого вредного вещества в приземном слое не должна превышать максимально-разовой предельно допустимой концентрации, т. е. $C < ПДК_{раз}$. При одновременном присутствии в атмосфере нескольких вредных веществ, обладающих однонаправленным действием, их безразмерная суммарная концентрация должна удовлетворять условию

$$\frac{C_1}{ПДК_{раз1}} + \frac{C_2}{ПДК_{раз2}} + \dots + \frac{C_N}{ПДК_{разN}} \leq 1, \quad (1)$$

где C_1, C_2, \dots, C_N – концентрации вредных веществ в атмосфере в одной и той же точке местности, мг/м³; $ПДК_{раз1}, ПДК_{раз2}, \dots, ПДК_{разN}$ – максимально-разовые предельно допустимые концентрации вредных веществ в атмосфере, мг/м³.

Эффектом однонаправленного действия обладает ряд вредных веществ, например, диоксиды серы и азота; диоксид серы и сероводород; этилен и пропилен, бутилен и амилен; озон, диоксид серы, формальдегид и др.

7.4. Предельно допустимые выбросы в атмосферу

Для каждого источника загрязнений атмосферы устанавливается предельно допустимый выброс вредных веществ (ПДВ) из условия, что выбросы вредных веществ от данного источника не создадут приземной концентрации, превышающей ПДК для населения, растительного и животного мира.

При установлении ПДВ для источника загрязнения атмосферы необходимо учитывать значения фоновых концентраций вредных веществ в воздухе от остальных источников загрязнения, действующих в данной местности. Устанавливают ПДВ на основании расчета рассеивания примесей в атмосфере. В случае нагретых выбросов из N расположенных близко друг к другу труб ПДВ можно рассчитать по формуле:

$$ПДВ = \frac{(ПДК - C_{\phi})H^2}{ArFmn} \sqrt{\frac{V\Delta T}{N}}, \quad (2)$$

где C_{ϕ} – фоновая концентрация в данном населенном пункте или городе; H – высота труб; V – объем дымовых газов, выбрасываемых в единицу времени; ΔT – перегрев газов относительно окружающего воздуха; A и r – коэффициенты, характеризующие соответственно неблагоприятные климатические условия и влияние рельефа (для ровной местности $r = 1$); F – коэффициент, определяющий влияние осаждения примеси (для газов $F = 1$); m и n – вспомогательные параметры.

Установление ПДВ защищает население от возможного неблагоприятного воздействия атмосферных загрязнений, поступающих в приземный слой атмосферы от конкретного предприятия. При этом основным нормативом остается ПДК, а величина ПДВ имеет вспомогательное значение, существенно облегчая контроль над выбросами предприятия. Системы контроля на предприятиях отслеживают источники выбросов и соблюдение ПДВ.

ПДК веществ в водных объектах – это концентрации веществ в воде, выше которых вода становится непригодной для использования.

При поступлении в водные объекты нескольких веществ и с учетом примесей, поступающих в водные объекты от вышерасположенных предприятий, как и в случае загрязнения атмосферы, должно выдерживаться условие:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_N}{ПДК_N} \leq 1, \quad (3)$$

В настоящее время органами санитарной службы установлены ПДК в воде водоемов для более 400 различных веществ.

Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами запрещено сбрасывать в водные объекты сточные воды, содержащие вещества, для которых не установлены ПДК.

7.5. Мониторинг окружающей среды

Мониторингом называется система наблюдений, оценки и прогноза состояния окружающей природной среды. Цель мониторинга – выявление антропогенных загрязнений.

Мониторинг охватывает наблюдения за источниками и факторами антропогенных воздействий – химическими, физическими (излучение, тепловое загрязнение) и за эффектами, вызываемыми этими воздействиями в окружающей среде, прежде всего, за реакцией биологических систем.

Система мониторинга может охватывать как локальные районы, так и земной шар (глобальный мониторинг для оценки состояния биосферы). В СНГ разработана система мониторинга на разных уровнях: глобальном, региональном и местном. Сеть станций контроля загрязнения атмосферного воздуха включает 1500 станций, загрязнения внутренних водоемов – 3343 станции, морского загрязнения – 1500 станций; организовано 2000 постов для контроля загрязнения почвы.

7.6. Экономические последствия загрязнения окружающей среды

Загрязнение окружающей среды обуславливает два вида затрат в народном хозяйстве: затраты на предупреждение воздействия (ущерба) загрязненной среды на отдельные объекты и затраты, вызываемые самим воздействием (ущербом, причиняемым окружающей среде соответствующими выбросами). Сумма этих затрат выражает экономический ущерб, причиняемый народному хозяйству загрязнением окружающей среды.

Укрупненную экономическую оценку годового ущерба от выбросов загрязнений в атмосферу для любого источника можно определить по формуле:

$$Y_a = \gamma \sigma f M \quad (4)$$

где Y_a – ущерб, руб./год; γ – удельный ущерб от выбросов единицы условной массы загрязняющих веществ, руб./усл. т; σ – безразмерный показатель, характеризующий относительную опасность загрязнения атмосферного воздуха над территориями различного типа; f – безразмерная поправка, учитывающая характер рассеивания загрязнений в атмосфере; M – приведенная условная масса выброса загрязнения из источника, усл. т/год. Все величины зависят от различных факторов, включая и токсичность веществ.

Ущерб, причиняемый выбросами загрязнений в определенный водоем, для любого источника (предприятия, населенного пункта) определяется по аналогичному уравнению:

$$Y_b = \gamma \sigma M \quad (5)$$

где Y_b – ущерб, руб./год; γ – удельный ущерб от сброса в водоем единицы условной массы загрязняющего вещества, руб./усл. т; σ – безразмерный показатель, характеризующий относительную опасность загрязнения различных водохозяйственных участков (например, для устья Северного Донца – 3,70, а для устья Енисея – 0,11), M – приведенная условная масса сброса загрязнений данным источником, усл. т/год.

Может быть рассчитан также экономический ущерб от загрязнения и отчуждения, наносимого земельным ресурсам.

В большинстве промышленно развитых стран экономический ущерб от загрязнения окружающей среды составляет 3–5 % валового национального продукта, при этом расходы на мероприятия по сокращению загрязнения достигли 1–3 %. Капитальные затраты на охрану окружающей среды в различных отраслях промышленности достигают 5–20 % от общих капитальных вложений.

8. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ БЕЗОТХОДНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

8.1. Классификация отходов

Любое производство, в том числе и химическое, имеет отходы. Даже при полном использовании сырья и энергетически замкнутом производстве в нем имеют место необратимые потери.

Отходы производства – неостребованная в получении продукта часть компонентов производства.

По виду отходы подразделяются на материальные и тепловые.

По источнику образования отходы бывают:

- технологические – образуются в основных технологических процессах;
- отходы вспомогательных материалов;
- тепловые – образуются из-за неполноты использования тепловых и энергетических ресурсов;
- потери, связанные с несовершенством оборудования и нарушениями режима (утечки через неплотности, дополнительные расходы при работе в неоптимальном режиме, при пуске и остановке агрегатов, в аварийных ситуациях).

По периодичности появления отходы могут быть:

- постоянные, образующиеся равномерно во времени;
- «залповые», когда происходит кратковременный выброс в аварийных ситуациях, при переключении режима, при пуске и остановке агрегатов.

В любом случае в ХТС должна быть предусмотрена защита окружающей среды и обслуживающего персонала от вредных воздействий отходов.

8.2. Концепция минимизации отходов

Концепция минимизации отходов направлена на защиту окружающей среды. Она связана с экологической обстановкой в регионе, где расположено производство, и с санитарно-гигиеническими условиями для обслуживающего персонала. Реализация этой концепции, в первую очередь, связана с улучшени-

ем использования сырьевых и энергетических ресурсов (соответствующие приемы были рассмотрены выше), а также включает в себя следующие специальные мероприятия.

1. Санитарная очистка и обезвреживание выбросов предполагает установку подсистем ХТС, в которых вредные (токсичные) примеси удаляются из выбрасываемых потоков (санитарная очистка) или переводятся в нетоксичное состояние (обезвреживание). В этих случаях содержание примесей становится меньше допустимой нормы по вредному воздействию их на окружающую среду, и такие отходы можно сбрасывать. Системы санитарной очистки и обезвреживания могут представлять собой самостоятельные участки производства или подразделение предприятия, куда направляются отходы с отдельных производств.

2. Уменьшение и замена вспомогательных потоков. Например, при охлаждении потоков до температуры окружающей среды используют водяные холодильники. Они подвержены коррозии (вода может разрушать аппаратуру из-за наличия растворенных в ней солей и кислорода воздуха), что приводит к возникновению аварийных ситуаций. Кроме того, для охлаждающего агента – воды – требуется сложная система очистки и отвода тепла от нее (утилизировать теплоту чуть теплой воды нерационально). Замена водяных холодильников на воздушные значительно упрощает систему охлаждения и уменьшает вредные выбросы.

3. Замкнутый водооборот. Вода в довольно большом количестве используется как вспомогательный материал в химических производствах. Проходя через технологическую аппаратуру, трубопроводы, она загрязняется и требует дорогостоящей очистки. Используя замкнутый водооборот, исключают отходы загрязненной воды.

4. Повышение надежности оборудования и элементов ХТС, позволяющее исключить потери в виде утечек и выбросов любых компонентов. Основные источники такого рода потерь и плохо контролируемых отходов:

- разрушение конструктивных элементов оборудования из-за силовых воздействий (давления, трения, весовых нагрузок, воздействия внешней среды);
- коррозионное разрушение элементов оборудования;
- нарушение целостности соединительных деталей (фланцы, разъемы) и уплотнительных устройств (сальники).

Мероприятия по их предотвращению:

- использование совершенных конструкций;
- подбор соответствующих конструкционных материалов, устойчивых к имеющимся воздействиям (механическим, химическим);
- соблюдение технологической дисциплины ведения процесса;
- регулярный профилактический осмотр (диагностика) состояния оборудования и его ремонт;
- прогнозирование возможных нарушений на основе диагностики состояния и теории надежности систем.

Кардинальным методом претворения в жизнь концепции минимизации отходов было бы создание безотходного производства. Этот термин прочно обосновался в литературе (особенно популярной) для характеристики производств. Но «безотходное производство» не есть «производство без отходов», ибо, как было показано выше, последнее противоречит второму закону термодинамики: в необратимых процессах всегда имеет место диссипация энергии, да и другие потери практически неизбежны.

Понятие «безотходное производство» связано с понятием экологической безопасности, т. е. безвредности производства для окружающей среды, или, точнее, для экосферы определенного региона, где это производство расположено. Надо иметь в виду, что производство воздействует на окружающую среду не только выбросами, но и самим своим присутствием, т. к. для его строительства отчуждается территория, и этим уже нарушается состояние экосферы в регионе. Далее, для обеспечения производства создается инфраструктура – жилые

комплексы с их обеспечением, дороги, что вносит еще большие возмущения в экосферу.

Если эти возмущения малы, т. е. не имеют заметного распространения за пределы территории и не влекут за собой долговременных жизненно важных последствий (например, генетических изменений), то такое производство можно считать безотходным или малоотходным (четкую границу между этими видами производства провести, конечно, трудно, и она условна).

8.3. Вторичные материальные ресурсы

Рассмотрим основные понятия, которые потребуется использовать при рассмотрении вопросов создания безотходных производств.

Отходы производства – остатки сырья, материалов и полупродуктов, образующиеся при получении заданной продукции, которые частично или полностью утратили свои качества и не соответствуют стандартам (техническим условиям). Эти остатки после соответствующей обработки могут быть использованы в сфере производства или потребления.

Отходы потребления – это непригодные для дальнейшего использования (по прямому назначению) изделия производственно-технического и бытового назначения (например, изношенные изделия из пластмасс и резины, вышедший из строя шамотный кирпич теплоизоляции печей и др.).

Побочные продукты образуются при физико-химической переработке сырья наряду с основными продуктами производства, но не являются целью производственного процесса. Они в большинстве случаев бывают товарными, на них имеются ГОСТ, ТУ и утвержденные цены, их выпуск планируется. Чаще всего это содержащиеся в сырье компоненты, не используемые в данном производстве, или продукты, которые получают при добыче или обогащении основного сырья; их принято называть попутными продуктами (например, попутный газ при добыче нефти).

Вторичные материальные ресурсы (ВМР) – совокупность отходов производства и потребления, которые могут быть использованы в качестве основного или вспомогательного материала для выпуска целевой продукции.

8.4. Открытые и замкнутые схемы химического производства

Между производством и окружающей средой до сих пор доминирует открытый тип связи. Производственный процесс начинается с использования природных ресурсов и завершается превращением их в средства производства, предметы потребления. За процессом производства следует процесс потребления, после чего использованные продукты выбрасываются. Таким образом, открытая система базируется на принципе одноразового использования исходного материала природы. Каждый раз производство начинается с использования некоторых новых природных ресурсов, и каждый раз потребление заканчивается выбросами отходов в окружающую среду. Как было показано выше, весьма небольшая часть природных ресурсов превращается в целевые продукты, большая часть их попадает в отходы.

Биосфера функционирует по принципу встроенности систем: каждая форма конструируется за счет деструкции других форм, составляя звено всеобщего кругооборота вещества в природе. Производственная деятельность вплоть до самого последнего времени строилась по другому принципу – максимальной эксплуатации природных ресурсов и игнорирования проблемы деструкции отходов производства и потребления. Этот путь был возможен лишь до тех пор, пока масштабы отходов не превышали границ способности экологических систем к самовосстановлению.

Таким образом, назрела необходимость перехода к принципиально новой форме связи между производством и окружающей средой – к замкнутым системам производства, предполагающим возможно большую встроенность производственных процессов во всеобщий круговорот вещества в природе.

При замкнутой системе производство строится, опираясь на следующие фундаментальные принципы:

- 1) возможно более полное использование исходного природного вещества;
- 2) возможно более полное использование отходов производства и потребления (регенерация отходов и превращение их в исходное сырье для последующих ступеней производства);

3) создание конечных продуктов производства с такими свойствами, чтобы используемые отходы производства и потребления могли быть ассимилированы экологическими системами.

Сложившееся сегодня положение в области ресурсопотребления и масштабы промышленных выбросов позволяют сделать вывод о том, что имеется только один путь решения проблемы оптимального потребления природных ресурсов и охраны окружающей среды – создание экологически безвредных, или безотходных, а на первое время – малоотходных технологических процессов. Это единственный способ, подсказанный самой природой.

8.5. Безотходные производства

В ноябре 1979 г. в Женеве на совещании по охране окружающей среды в рамках Организации объединенных наций (ООН) была принята «Декларация о малоотходной и безотходной технологии и использовании отходов». В соответствии с Декларацией под безотходной технологией понимается такой принцип функционирования промышленности и сельского хозяйства региона, отрасли, а также отдельных производств, при котором рационально используются все компоненты сырья и энергия в цикле и не нарушается экологическое равновесие: потребление – сырьевые ресурсы → производство → отходы – вторичные ресурсы.

Под *малоотходным производством* понимают такое производство, вредные последствия деятельности которого не превышают уровня, допустимого санитарными нормами, но по техническим, экономическим, организационным или другим причинам часть сырья и материалов переходит в отходы и направляется на длительное хранение.

Конечно, концепция безотходной технологии в некоторой степени носит условный характер. Под безотходной технологией понимается теоретический предел, идеальная модель производства, которая в большинстве случаев может быть реализована не в полной мере, а лишь частично (отсюда и малоотходная технология), но с развитием технического прогресса – со все большим приближением. Технологические процессы с минимальными выбросами, при которых способность природы к самоочищению в достаточной степени может предот-

вратить возникновение необратимых экологических изменений, называют иногда экологической технологией, малоотходными процессами, безвредной технологией. Однако название «безотходная технология» получило наибольшее распространение. Стратегия безотходной технологии исходит из того, что неиспользуемые отходы производства являются одновременно не полностью использованными природными ресурсами и источником загрязнения окружающей среды. Снижение удельного выхода неиспользуемых отходов в расчете на товарный продукт технологии позволит произвести больше продукции из того же количества сырья и явится вместе с тем действенной мерой по охране окружающей среды.

Биосфера дает нам природные ресурсы, из которых в сфере производства получают конечные продукты, при этом образуются отходы. Продукты используются либо в сфере производства, либо в сфере потребления, и вновь образуются отходы. Под отходами понимаются вещества, не обладающие на первых порах потребительской ценностью. Во многих случаях при необходимости после соответствующей обработки они могут быть использованы как вторичное сырье (вторичные материальные ресурсы) или как вторичные носители энергии (вторичные энергоресурсы). Если по техническим или технологическим причинам невозможно или экономически невыгодно перерабатывать отходы, то их необходимо выводить в биосферу таким образом, чтобы по возможности не наносить вреда естественной окружающей среде.

Можно составить следующий баланс по сферам производства и потребления, исходя из закона сохранения материи:

$$R = A(1 - \varphi_m) + S, \quad (6)$$

где R – расход природных ресурсов, кг/с;

A – масса образующихся отходов в сферах производства и потребления, кг/с; φ_m – средний коэффициент использования отходов, кг/кг;

S – масса веществ, накапливающихся в сферах производства и потребления вследствие постоянного роста производства, кг/с.

Анализ балансового уравнения (6) показывает, что снижение удельного количества неиспользуемых отходов производства $A(1-\varphi_m)$ и тем самым удельного расхода природных ресурсов возможно за счет уменьшения удельного выхода отходов производства A и повышения коэффициента использования отходов φ_m .

Выбор одного из путей зависит как от технологических возможностей, так и от экономических условий. Первичная цель безотходной технологии – так уменьшить выводимый в единицу времени в биосферу поток массы неиспользованных отходов, чтобы сохранялось естественное равновесие биосферы и обеспечивалось сохранение основных природных ресурсов.

В создании безотходной технологии определились следующие четыре принципа:

1) разработка и внедрение различных бессточных технологических схем и водооборотных циклов на базе эффективных методов очистки;

2) разработка и внедрение принципиально новых технологических процессов, исключающих образование любых видов отходов;

3) создание территориально-промышленных комплексов, т. е. экономических районов, в которых реализована замкнутая система материальных потоков сырья и отходов внутри комплекса;

4) широкое использование отходов в качестве вторичных материальных и энергетических ресурсов.

Анализ существующей ситуации, расчеты и прогнозы на будущее убедительно показывают, что реализация безотходных производств во всех отраслях промышленности возможна при условии активного использования достижений науки и техники и, в первую очередь, химической технологии.

Очистка отходящих газов и сточных вод является вынужденным мероприятием, обусловленным несовершенством применяемых на производстве технологических схем. Водо- и газоочистные установки и сооружения способствуют, с одной стороны, предотвращению поступления вредных веществ в биосферу, а с другой – получению этих веществ в виде твердых концентриро-

ванных отходов, образующихся на различных технологических стадиях. Однако твердые отходы, не нашедшие применения и идущие в отвал, также являются фактором загрязнения окружающей среды.

Существенно сократить объем таких отходов, снизить их воздействие на окружающую среду или перевести в соединения, легко поддающиеся вторичной переработке, можно путем организации безотходных производств.

Создание безотходных технологических процессов и основанных на них производств является одной из актуальнейших проблем химической технологии. Эта проблема имеет большое социально-экономическое значение как для повышения экономического уровня и промышленного потенциала страны, так и для обеспечения связанного с этим оптимального экологического взаимодействия производства с окружающей средой.

При безотходном производстве предполагается создание оптимальных технологических схем с замкнутыми материальными и энергетическими потоками. В идеальном случае такое производство не имеет сточных вод, вредных выбросов в атмосферу и твердых отходов.

Создание безотходных технологических производств ведется в нескольких направлениях. Разрабатываются технологические процессы с минимальным удельным водопотреблением, заменой исходного сырья на нетоксичное сырье; при этом стремятся к исключению из технологического процесса летучих растворителей. Свести к минимуму отходы позволяет укрупнение агрегатов, внедрение энерготехнологических схем, широкое применение высокоэффективных методов очистки сточных вод и газовых выбросов. В безотходных производствах достигается максимально полное использование сырья и энергии, возможное при повышении селективности процессов, улавливании и утилизации побочных продуктов и отходов, совершенствовании технологического оборудования и методов локальной очистки материальных потоков с целью возврата их в производство или утилизации. Ликвидировать отходы в ряде случаев можно путем максимального использования водооборота и организации бессточных производств. Интенсивно ведется разработка комплексных схем по

переработке природных сырьевых ресурсов с максимально полным извлечением полезных продуктов.

В химической, нефтехимической и других отраслях народного хозяйства, использующих методы химической технологии, осуществляется широкий комплекс мероприятий:

- совершенствование технологических процессов;
- внедрение водооборота и воздушного охлаждения;
- реконструкция устаревших производств и цехов;
- дальнейшее расширение использования отходов;
- создание безотходных технологических процессов.

Так, применение воздушного охлаждения в новых крупных агрегатах аммиака позволило в 10 раз уменьшить расход оборотной воды. Использование в производстве серной кислоты метода двойного контактирования и двойной абсорбции привело к повышению с 97,5 до 99,5 % конверсии диоксида серы и уменьшению более чем в 6 раз (с 0,2 до 0,03–0,05 %) выбросов его в атмосферу.

Особенность химической технологии состоит в том, что она способна превратить в ресурсы не только свои собственные отходы, но и отходы других производств. В связи с этим химия и химическая технология способствуют решению таких коренных проблем охраны природы, как комплексное использование сырья и утилизация отходов, обезвреживание производственных выбросов. В качестве примера можно указать на межотраслевую роль методов химической технологии в решении экологических проблем теплоэнергетики. Для очистки дымовых газов ТЭЦ от диоксида серы и оксидов азота применяют различные физико-химические способы, в том числе сухие с использованием сорбентов и мокрые с применением водных растворов щелочей и аммиака. Разработаны способы очистки с одновременным получением минеральных удобрений – нитратов и сульфатов аммония.

В промышленности широкое распространение получили каталитические генераторы тепла (КГТ), в которых сжигание органического топлива (газ, мазут) осуществляют на катализаторах. Использование этого приема химической

технологии в теплоэнергетике позволяет интенсифицировать процесс горения топлива, снизить металлоемкость оборудования, приблизить избыток воздуха к стехиометрическому и в сотни раз сократить выбросы оксидов азота с продуктами сгорания.

Методы химической технологии положены в основу многих безотходных технологий, разрабатываемых в металлургической промышленности, в производстве строительных материалов и других материалоемких отраслях народного хозяйства.

8.6. Экономическая эффективность безотходных производств

При проектировании химического производства практический интерес представляет сравнение безотходной технологической схемы с традиционной схемой получения данного продукта. Для проведения такого анализа составляются эталонные проекты, предназначенные для выработки и планирования технической политики в области создания безотходной технологии. Понятие «эталонный проект» подразумевает такую совокупность технологических стадий в цикле «ресурсы – производство – потребление – ресурсы», при которой обеспечивается замкнутое движение материальных и энергетических потоков.

В качестве показателей выбирают критерии, имеющие экономическую значимость: общее или удельное количество отходов; взаимодействие соединений, входящих в состав отходов, с элементами биосферы; распространение и трансформирование отходов и т. д.

Эталонный проект создается не для отдельных предприятий и отраслей, а для наиболее важных видов продукции: минеральных удобрений, кальцинированной соды, пластмасс, мономеров и т. д. В этом состоит его особенность по сравнению с обычным проектированием.

При составлении эталонного проекта используют наиболее совершенные технологические схемы получения той или иной продукции. Переработка отходов (как вновь образующихся, так и накопленных) должна осуществляться также с помощью наиболее совершенных технологических процессов, не дающих вторичных локальных циклов, усложняющих структуру общего цикла

«ресурсы – производство – потребление – ресурсы». При экономической оценке цикла имеет значение определение стоимости отходов, так как от этого зависит стоимость продукции, получаемой при их переработке.

При оценке экономической эффективности безотходных производств используют сложный критерий, каждый составной элемент которого характеризует определенную сторону воздействия производства на национальную экономику в целом. Абсолютная экономическая эффективность (η) безотходного производства определяется по уравнению

$$\eta = \frac{\sum_i \mathcal{E}_i - Y}{Z_{\text{п}}}, \quad (7)$$

где $\sum \mathcal{E}_i = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_4 + \mathcal{E}_5$ – сумма всех эффектов безотходного производства (\mathcal{E}_1 – эффект производства конечной продукции, полученной при внедрении безотходного производства, а также более полного использования исходного сырья;

\mathcal{E}_2 – эффект потребления конечной продукции, полученной при внедрении безотходного сырья;

\mathcal{E}_3 – экономия затрат на разведку, добычу и транспортирование отдельных ресурсов;

\mathcal{E}_4 – эффект комплексного развития региона;

\mathcal{E}_5 – внешнеторговый эффект, учитываемый при сокращении импорта или росте экспорта сырья, продуктов его переработки, конечного продукта;

Y – размер ущерба от загрязнения окружающей среды отходами производства и потребления;

$Z_{\text{п}}$ – полные затраты на безотходное производство.

При наличии нескольких вариантов безотходного производства должен быть выработан вариант с максимальным коэффициентом абсолютной экономической эффективности при равных затратах. Рассмотрим эффективность капитальных вложений в безотходное производство одного из химических продуктов (табл. 6). Расход исходного сырья во всех вариантах принят одинаковым.

Эффективность капитальных вложений в безотходное производство

Показатель	Варианты			
	1	2	3	4
Коэффициент использования сырья K_n	0,80	0,85	0,90	0,95
Затраты на получение товарной продукции, усл. ед./год				
– текущие (С)	0,80	0,82	0,84	0,87
– капитальные (К)	0,75	0,90	1,10	1,30
Выход готовой продукции Т, %	100	105	110	117
Выброс токсичных веществ в окружающую среду В, %	100	70	40	25
Ущерб от загрязнения окружающей среды отходами производства $У^*$, усл. ед./год	0,15	0,09	0,06	0,03
Эффект потребления дополнительно полученной товарной продукция $Э_{пот}^*$	-	0,05	0,07	0,08
Эффект сокращения затрат на добычу сырья $Э_д^*$	-	0,01	0,02	0,03
Коэффициент эффективности капитальных вложений, рассчитанный:				
– по реализации производства $Э_{кп}$	0,27	0,21	0,16	0,10
– по народнохозяйственной эффективности $Э_{нх}$	0,066	0,105	0,109	0,104

*В руб./руб. товарного продукта

Из сравнения показателей видно, что коэффициент использования сырья и исходных продуктов возрастает от 0,80 в первом варианте до 0,95 в четвертом. В качестве коэффициента использования здесь принято отношение массы готового продукта к массе сырья и исходных продуктов. Текущие затраты на получение продукции возрастают незначительно, однако капитальные затраты увеличиваются на 75 %.

Внедрение малоотходного производства увеличивает выход готовой продукции во втором варианте на 5 %, в четвертом – на 17 %. Выброс токсичных веществ значительно сокращается, соответственно, снижается и экономический

ущерб от выбросов в окружающую среду. Дополнительная продукция, произведенная в результате более полного использования исходного сырья, создает эффекты от ее потребления и сокращения затрат на добычу сырья.

Эффективность капитальных вложений в безотходные производства (\mathcal{E}) определялась по уравнению

$$\mathcal{E} = (\mathcal{C} - \mathcal{C})/\mathcal{K}, \quad (8)$$

где \mathcal{C} – цена продукции;

\mathcal{C} – себестоимость продукции (текущие затраты);

\mathcal{K} – капитальные затраты по одному из вариантов.

Из сравнения вариантов видно, что по мере повышения степени извлечения ценных компонентов из исходного сырья, уменьшения выбросов в окружающую среду, снижения ущерба абсолютная экономическая эффективность рассматриваемых производств с позиций отрасли предприятия снижается. Согласно существующей методике расчета, из рассматриваемых вариантов для отрасли наилучшим будет первый, так как у него наивысший коэффициент эффективности $\mathcal{E}_{\text{кп}} = 0,27$. С позиций народного хозяйства наиболее предпочтителен третий вариант ($\mathcal{E}_{\text{нх}} = 0,109$).

9. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

9.1. Виды вредных воздействий химических производств на биосферу

Химические производства являются одним из основных источников загрязнения биосферы. Неуклонный рост выработки различных химических веществ сопровождается, как правило, соответствующим увеличением количества вредных отходов. В результате в ряде центров химической и нефтехимической промышленности наблюдается катастрофическое загрязнение водоемов, почвы, атмосферы.

Наиболее существенными источниками загрязнения окружающей среды являются отходы, образующиеся при химико-технологических процессах. К ним относятся:

- продукты побочных реакций, не находящие применения;
- продукты неполного и чрезмерно глубокого превращения и полимеризации;
- промышленные воды и воды из абсорбционных установок очистки отходящих газов;
- отработанный воздух окислительных процессов;
- газы, не вступившие в реакцию (хлор, аммиак и др.) и т. д.

Окружающую среду загрязняют вспомогательные вещества и материалы, применяемые в химико-технологических процессах:

- отработанные катализаторы;
- адсорбенты, абсорбенты и растворители;
- осушающие агенты;
- воздух после регенерации катализатора и пневмотранспорта продуктов;
- газы, отсасываемые из аппаратов при создании разрежения;
- тара и фильтровальные материалы, непригодные для повторного использования и т. д.

Кроме того, в химических производствах источниками загрязнения окружающей среды являются механические потери сырья, промежуточных и готовых продуктов вследствие негерметичности оборудования и коммуникации.

Вредным воздействием обладают сточные воды химических производств. Основные химические производства потребляют большое количество воды: на производство 1 т серной кислоты расходуется 70 м³ воды, 1 т кальцинированной соды – 115 м³, 1 т аммиака – 800 м³, 1 т акрилонитрила – 1960 м³, 1 т ацетилена – 2800 м³. Непрерывное совершенствование технологии позволяет значительно сократить удельный расход воды. На старых нефтеперерабатывающих заводах расход воды составлял 7–8 м³ на 1 т нефти, а на современных он достиг всего 0,12–0,24 м³/т.

Сточные воды химических производств содержат значительное количество минеральных и органических примесей. В настоящее время в промышленности используют различные эффективные методы очистки сточных вод. Однако следует иметь в виду, что очистка сточных вод не предотвращает загрязнения водоемов, поэтому при сбросе даже очищенных вод требуется многократное разбавление их свежей водой. В противном случае естественные водоемы будут заполняться водами, обедненными кислородом и непригодными для жизни рыб. Необходимая кратность разбавления очищенных сточных вод составляет для нефтеперерабатывающей промышленности до 60 раз, целлюлозно-бумажной – 20–40, для производства синтетического волокна – 10–15, синтетического каучука – до 2000, для минеральных удобрений и азотной промышленности – 10 раз.

Одним из основных направлений в снижении воздействия химических производств на окружающую среду является перевод предприятий на замкнутое водоснабжение, когда очищенные сточные воды используются для технических целей на этом же или другом предприятии промышленного региона.

Негативное воздействие загрязнителей на биосферу следует рассматривать, прежде всего, с точки зрения охраны здоровья и благосостояния человека, а затем – защиты экологической целостности природы. Под термином «воздей-

ствие на окружающую среду» необходимо понимать все те негативные последствия, которые вызывают промышленные выбросы при контакте с человеком, животными и физической средой (воздухом, водой, почвой, неодушевленными предметами), включая естественно-исторические, эстетические и психологические изменения в природе.

Для правильного и полного понимания воздействия отходов на биосферу необходимо знать механизм превращения соединений, первоначально содержащихся в отходах, механизм миграции вредных и токсичных соединений из мест складирования отходов в окружающую среду и пути попадания этих загрязнителей непосредственно в организм человека и животных.

Многие газообразные химические соединения, попадая в атмосферу, превращаются под действием водяных паров, кислорода и солнечной радиации в другие, более токсичные, вещества и находятся в атмосфере в определенном равновесии с ее компонентами. Воздействие любого загрязнителя непосредственно зависит от его химических и физических свойств.

Оксиды азота в атмосфере не только присутствуют в виде NO и NO_2 , но и превращаются в азотную кислоту, нитраты и органические нитросоединения, которые абсорбируются капельками воды, образуя аэрозольные агломераты. Наличие в атмосфере других газообразных соединений, например SO_2 , приводит к еще более сложному механизму взаимодействия компонентов окружающей среды. Как известно, в воздушной среде присутствуют также и углеводороды, которые, вступая во взаимодействие с HNO_3 , NO , O_2 , H_2CO_3 , CO_2 , образуют ряд вредных и токсичных соединений, т. е. наблюдается явление синергизма – усиления токсичного действия того или иного первоначального загрязнителя. Поэтому, рассматривая воздействие промышленных выбросов на организм человека и живую природу, необходимо учитывать весь сложный комплекс превращений отдельных компонентов отходов в окружающей среде в токсичные и вредные химические соединения.

Для определения степени токсичности того или иного химического отхода используют общие критерии оценки:

- токсичность по отношению к человеку, т. е. эффект непосредственного воздействия на здоровье людей;
- токсичность по отношению к животным (домашним и диким);
- свойства продуктов разложения (токсичность, устойчивость, биоаккумулятивность);
- синергетический эффект.

Химические отходы по своему воздействию на окружающую среду подразделяются на особо токсичные, токсичные и нетоксичные (безвредные) отходы.

К особо токсичным относятся отходы, содержащие ртуть, свинец, кадмий, олово, мышьяк, таллий, бериллий, хром, сурьму, цианиды, фосфорорганические вещества, асбест, хлорированные растворители, фторхлоруглероды, полихлориды дифенилов, полициклические и ароматические углеводороды, пестициды, а также радиоактивные отходы.

К токсичным веществам относятся соединения серы (SO_x), азота (NO_x) и оксид углерода (CO), выбрасываемые в атмосферу в количествах, значительно превышающих предельно допустимые концентрации.

Отходы, относящиеся к категории нетоксичных (фосфогипс, галитовые отходы, шлаки производства фосфора, отходы производства кальцинированной соды и др.), требуют огромных земельных участков для их складирования. Отрицательное воздействие на природу, вызываемое этими отходами, состоит в выщелачивании из них NaCl , фтористых и других вредных соединений и проникновении последних в поверхностные и грунтовые воды.

Воздействие химических соединений, содержащихся в отходах, на человека и живую природу происходит как прямым, так и косвенным путем. Прямой путь – попадание вредных соединений в организм человека с воздухом и питьевой водой; косвенный путь – например, биологический. Вначале загрязнители попадают в растения, поедаемые животными, а затем с пищей – в организм человека. При этом с первоначальными соединениями происходят химико-биологические превращения, приводящие к образованию новых, более или менее опасных для организма веществ.

Особую опасность представляют соединения, способные к аккумулярованию в пищевых цепях (или цепях питания – ряде организмов, связанных друг с другом соотношением пища – потребитель). Аккумуляроваться соединения могут в любом месте пищевой цепи, начиная с планктона и кончая организмом человека (например, ртуть, ДДТ), а также передаваться по цепи.

По характеру воздействия на биосферу выбросы химических производств можно разделить на организованные и неорганизованные выбросы.

К организованным выбросам относятся выбросы, которые отводятся в атмосферу, водоемы и в почву с помощью специальных сооружений. Такими сооружениями могут быть системы очистки воды, дымовые трубы, заводские факелы, печи сжигания шламов и других отходов, патрубки вентиляционных систем, шламовые площадки, илонакопители и т. д.

Неорганизованными считаются выбросы, которые невозможно объединить и отвести в ту или иную среду. Таковыми могут быть утечки через неплотности в аппаратах, трубопроводах и арматуре, испарение с поверхности сточной жидкости в системах канализации и очистки сточных вод, испарение продуктов из резервуаров и хранилищ, разлив и залповые выбросы продуктов в атмосферу при продувках и пропаривании аппаратов перед проведением ремонтных работ и др.

Организованные выбросы обычно характеризуются высокой концентрацией токсичных компонентов. На современных химических и нефтехимических предприятиях общее число организованных источников выбросов достигает 2000–4000, на каждый из них оформляется специальный паспорт и ведется контроль за ПДВ для данной местности.

Неорганизованные выбросы можно контролировать только по предельно допустимым концентрациям, периодически или систематически определяемым в различных пунктах заводской территории и санитарно-защитной зоны. Характеристика различных вредных выбросов, имеющих место на нефтехимических комбинатах, приведена в табл. 7.

**Распределение [% (об.)] вредных веществ в выбросах
нефтехимических комбинатов**

Выбросы	Угле- водо- роды	H ₂ S	CO	SO ₂	NO _x	Фено- лы	NH ₃	Пыль
Организо- ванные:								
– дымо- вые газы	–	10	18–92	80–89	46–64	10	–	50
– техно- логиче- ские (хво- стовые) газы	0,6	51–66	7–50	11–19	36–54	15–83	24–78	89–100
– венти- ляцион- ные газы	0,2	1–3	До 1	0,01	0,1–0,2	10–75	22–79	–
– газы по- сле аб- сорбции	54	15–32	31	0,6	–	4	4	–
Неоргани- зованные	45	23	–	–	–	–	–	–

Выбросы также различаются по объему, температуре, составу и соотношению в них отдельных ингредиентов, по агрегатному состоянию, классу опасности, концентрации, стабильности в окружающей среде. От агрегатного состояния зависят стабильность и характер распространения вредных ингредиентов в атмосфере, а также способы их улавливания и очистки.

9.2. Водные ресурсы и химическая технология

Охрана водных ресурсов от загрязнений приобретает все большее значение. Одним из направлений этой работы является совершенствование систем селективного выделения ценных компонентов из сточных вод с целью последующего использования их для получения товарной продукции, возврата очищенной воды в производство. В качестве таких систем используются сорбционно-экстракционные процессы очистки сточных вод с применением различных методов физико-химического воздействия. Разрабатываются новые сорбенты и экстрагенты для таких систем, а также технологические процессы их производства, регенерации и переработки.

Для выделения компонентов сточных вод в виде, пригодном для последующего производства товарной продукции, используются процессы осаждения, кристаллизации, выпаривания, ректификации, сжигания и др.

Совершенствуются системы биологической очистки сточных вод химических предприятий, расширяется номенклатура веществ, разрушаемых до нейтрального состояния биоорганизмами, и все более полно используется шлам с получением товарной продукции и энергии.

Экономия воды в химической промышленности достигается созданием оптимальных структур водооборотных циклов с учетом особенностей производств и при минимизации затрат на их создание и эксплуатацию, а также разработкой таких технологических процессов переработки сырья и полуфабрикатов, при которых или снижается расход воды, или она заменяется другим растворителем (при наличии эффективной системы рекуперации), или от нее полностью отказываются. Наряду с технологическими процессами разрабатывается оборудование, позволяющее сократить до минимума расход воды. К сокращению потерь воды приводит применение некоторых новых материалов в известных видах оборудования. Разрабатываются локальные очистные сооружения, позволяющие выделить ценные компоненты из сточных вод. Создаются комбинированные замкнутые системы использования водных ресурсов в химической промышленности.

Использование теплоты сбросных и сточных вод для нужд народного хозяйства позволяет экономить топливно-энергетические ресурсы. Автоматизированные системы управления технологическими процессами дают возможность строго дозировать воду в объемах, необходимых для обеспечения нормального режима работы агрегатов и цехов.

Развитие промышленности, перевод сельского хозяйства на индустриальную основу, рост городов способствуют постоянному водопотреблению. Ежедневно человечество расходует до 7 млрд. т воды, что соответствует по массе общему количеству полезных ископаемых, добываемых за год. Основными потребителями воды являются химическая, нефтехимическая, целлюлозно-бумажная отрасли промышленности, черная и цветная металлургия, энергетика, мелиорация. Различают следующие разновидности технической воды:

1) охлаждающая вода служит для охлаждения жидких и газообразных продуктов в теплообменных аппаратах. Вода не соприкасается с материальными потоками;

2) технологическая вода подразделяется, в свою очередь, на средообразующую, промывающую и реакционную. Средообразующая вода используется для растворения и образования пульп (суспензий) при обогащении, гидротранспорте продуктов и отходов производства; промывающая вода – для промывки газообразных (абсорбция), жидких (экстракция) и твердых продуктов; реакционная – в качестве реагента, а также при азеотропной отгонке. Технологическая вода непосредственно контактирует с продуктами процесса;

3) энергетическая вода используется при получении пара (для питания парогенераторов) и как рабочее тело при передаче тепла от источника к потребителю (горячая вода).

Около 74 % воды, используемой химической промышленностью, расходуется на охлаждение технологической аппаратуры. Остальное количество воды применяется, главным образом, в технологических процессах получения продукции, выполняя функции химического реагента, экстрагента, абсорбента,

растворителя, реакционной среды, транспортирующего агента, питательной воды в котлах-утилизаторах.

На предприятиях нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности основное количество воды (до 90–95 %) используется для охлаждения и конденсации перерабатываемых продуктов в теплообменной аппаратуре, в котлах-утилизаторах. Примерно 5–10 % воды этими предприятиями потребляется в качестве растворителя или для промывки продукции.

Источник водных ресурсов – гидросфера, включающая воды мирового океана, атмосферы, рек, озер, грунтовые воды. Объем гидросферы составляет 1389 млн км³. Она занимает примерно 3/4 поверхности земного шара – 449,59 млн км² (суша – 165,34 млн км²).

Из общего количества воды 1350 млн км³ (свыше 97,2 %) – океаническая вода. Баланс других источников (в км³) воды приведен ниже:

– полярные льды и ледники	29·10 ⁶
– грунтовые воды	9,7·10 ⁶
– вода в озерах	120·10 ³
– вода в реках	12·10 ³
– влага в почве	24·10 ³
– влага в атмосфере	13·10 ³
– всего	39·10 ⁶

Первыми источниками водоснабжения промышленных предприятий служат поверхностные и грунтовые воды. К поверхностным водам относятся реки, озера, искусственные водохранилища и каналы. В первую очередь, для промышленного потребления используются реки, объем стока которых в России составляет около 4000 км³.

Природная вода недостаточно чистая и без соответствующей обработки не может быть использована для промышленного водоснабжения. В 1 л пресной воды, как правило, содержится около 1 г солей. В морской воде их значительно больше: в водах Балтийского моря – 5 г/л, Черного моря – 18 г/л, в океане – 35 г/л. Пресные и морские воды различаются не только по суммарному со-

держанию солей, но и по составу – соотношению в них хлоридов, сульфатов и карбонатов (%):

	Хлориды	Карбонаты	Сульфаты
Речная вода	7	13	20
Океаническая вода	89	10	1

Речные воды делятся на маломинерализованные (до 200 мг/л соли), среднеминерализованные (200–500 мг/л), повышенной минерализации (свыше 1000 мг/л). Воды большинства рек России относятся к первым двум группам. Наряду с солями вода содержит некоторое количество сложных природных органических соединений – гумусовых веществ. Содержание этих примесей в речных водах 5–10 мг/л, в озерных – до 150 мг/л. В водах содержится значительное количество твердых взвесей, коллоидных веществ и примесей биологического характера (микроорганизмов, водорослей и др.).

Содержание растворенного кислорода в воде определяется ее температурой и реакциями, протекающими в водной среде:

- фотосинтеза (содержание кислорода увеличивается);
- окисления органических соединений – химического и микробиологического (содержание кислорода уменьшается). На 1 г сухого органического вещества в среднем расходуется 1,5 г кислорода.

В зависимости от состава вод меняется рН. Для рек и озер этот показатель колеблется в пределах 5,0–8,5.

Содержание различных примесей (как растворенных, так и находящихся в виде взвеси в природных водах) обуславливает образование отложений, накипи и шлама на поверхностях теплообменной аппаратуры и парогенераторов, что приводит к их коррозии и ухудшению теплообмена. В условиях работы оборотных систем водоснабжения многократный нагрев воды до 40–45 °С и охлаждение ее в вентиляторных градирнях приводит к потерям диоксида углерода и отложению на поверхностях теплообменников и трубопроводов карбоната кальция в соответствии с реакцией



Во избежание этого потери воды в различных производственных циклах восполняются специально подготовленной подпиточной водой, качество которой должно удовлетворять определенным техническим требованиям. В табл. 8 указаны основные показатели качества воды, используемой для охлаждения продуктов в теплообменных аппаратах.

Требования к питательной воде паровых котлов (парогенераторов) энерготехнологических процессов обусловлены необходимостью предотвращения накипеобразования и коррозии поверхностей нагрева.

Таблица 8

Показатели качества воды в системах охлаждения

Показатели качества	Рекомендуемые величины			
	в России			в США
	ВНИИ Водгео	Азотная промыш- ленность	Хлорная промыш- ленность	
Температура, °С	25–40	28–30	25–30	–
Жесткость, мг-экв/л				
– общая	<7	1,5–2,5	5,5	–
– карбонатная	<2,5	1,5–2,5	<3	2,5–5
Щелочность, мг-экв/л	3–4	–	2–4	2,5
Общее содержание солей, мг/л	1300– 2000	1200	800–1200	500
Окисляемость перманганат- ная, мг O ₂ /л	<20	<15	8–10	–
Химическое потребление кислорода, мг O ₂ /л	<200	–	70	75

Содержание, мг/л				
– взвешенных веществ	<50	20–30	10–20	5
– масел и маслообра- зующих веществ	<20	0,3	0	–
– поверхностно- активных веществ (ПАВ)	Не норми- руется	0	0	–
– анионов Cl^- (хлоридов)	150–300	До 350	150–300	500
– анионов SO_4^{2-} (сульфа- тов)	350–500	<500	350–500	200
– анионов PO_4^{3-} (фосфа- тов)	– 6	<6 <2,4	1,5–9,0 0,12–2,64	– –
– соединений азота в пе- ресчете на ионы тяжелых металлов	До 1,0	–	До 1,0	–
– растворенного кисло- рода остаточного актив- ного хлора				
pH	6,5–8,5	6,5–8,5	6,5–8,5	6,5–8,5

К основным показателям качества питательной воды относятся: значение pH, общая жесткость, содержание кремниевой кислоты, растворенного кислорода, свободной углекислоты, железа, меди и других соединений. Качество питательной воды зависит от параметров генерируемого водяного пара (табл. 9).

Требования к воде, используемой в качестве реагента, экстрагента, абсорбента и т.д., связаны с особенностями проводимых процессов и указываются в технологических регламентах конкретных химических производств.

Требования к качеству питательной котельной воды

Показатели качества	Типы котлов				
	Жаротрубные (0,5–1,5 МПа)	Высокого давления (5–10 МПа)	Прямоточные (10–15 МПа) и прямоточные сверхкритического давления (21,5–30 МПа)		
Общая жесткость, мг-экв/л	0,35	0,035	0,003		
Содержание примесей, мг/л	Не нормируется	0,7	0,02		
– диоксид кремния					
– медь				0,5	0,005
– марганец				–	–
– железо				1	0,01
– кислород				1	0,01
– нитраты и нитриты				–	0,02
рН	8–10	8–10	7–8,5		

Природную воду перед использованием в производстве подвергают очистке различными методами в зависимости от характера примесей и требований, предъявляемых к воде.

9.3. Промышленная водоподготовка

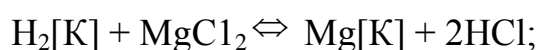
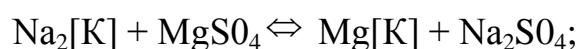
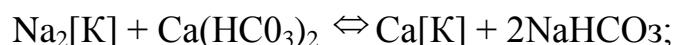
Промышленная водоподготовка представляет собой совокупность физических и химических операций, обеспечивающих очистку воды от механических примесей, растворенных солей и газов. Основными операциями являются

очистка от взвешенных примесей отстаиванием и фильтрацией, умягчение и обессоливание воды, дегазация, обеззараживание.

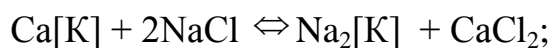
Отстаивание крупных частиц осуществляется в непрерывно действующих отстойниках большой емкости. От мелких частиц освобождаются фильтрацией. Для осаждения коллоидных частиц (мельчайших глинистых частиц и белковых веществ) их подвергают коагуляции путем добавки в воду коагулянтов – сульфатов или двойных солей алюминия (алюминиевые квасцы). Ион-коагулянт должен иметь заряд, противоположный заряду коллоидной частицы, чтобы он мог адсорбироваться на поверхности заряженной частицы. Это приводит к коагуляции (слипанию) отдельных частиц и образованию осадка.

Умягчение и обессоливание воды относятся к основным процессам водоподготовки, которые состоят в удалении солей кальция, магния и других металлов. Различают физические способы (термический, дистилляция, вымораживание) и физико-химические методы (обратный осмос и ультрафильтрация, ионообмен) обессоливания и умягчения воды.

Наиболее широко в водоподготовке используется метод ионного обмена на катионитах (КУ-23, КУ-78) и анионитах (АВ-17-8, АВ-29П, АН-221). В основу катионного процесса умягчения положены реакции обмена ионов натрия и водорода катионитов на ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} . Обмен ионов натрия называется Na-катионированием, а ионов водорода – H-катионированием.



В ионообменном способе достигается полное обессоливание воды. Реакции ионообмена обратимы. Для восстановления обменной способности ионитов проводят процесс их регенерации при помощи растворов поваренной соли (Na-катионитов) или минеральных кислот (H-катионитов):



Примером анионного обмена может служить реакция обмена анионов OH^- по уравнению

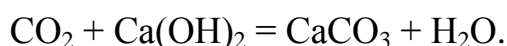


Регенерацию анионита проводят раствором щелочей



Из воды сначала удаляются ионы кальция, магния и натрия в Н-катионитовом фильтре, в котором на слое крупного кварцевого песка или измельченного керамзита расположен слой катионита. Затем вода последовательно поступает в анионитовый фильтр для удаления анионов и дегазатор, где удаляются из воды растворенные диоксид углерода и кислород.

Дегазация осуществляется химическим или физическим способами. Для удаления CO_2 воду пропускают через фильтр, заполненный гашеной известью, или добавляют к воде известковое молоко



Кислород удаляется фильтрацией воды через слой железных опилок или стружек.

Физические способы дегазации состоят в нагревании воды в вакууме или острым паром. В случае необходимости производят обеззараживание воды с целью уничтожения болезнетворных бактерий и окисления органических примесей хлорированием (газообразным хлором, хлорной известью или гидрохлоратом кальция).

9.4. Водооборотные циклы химических производств

Системы производственного водоснабжения могут быть:

- прямоточные, в которых подаваемая от первичного источника вода после однократного использования отводится за пределы предприятия;
- оборотные, в которых отработанная вода подвергается охлаждению, очистке и возвращается для последующего использования в этом же производстве, т. е. замыкается в цикле (обороте).

Существенный недостаток прямоточного водоснабжения – необходимость сброса отработанных вод в водоемы. Эти системы используются только на старых предприятиях.

В обратном водоснабжении вода от первичного источника подается только для восполнения безвозвратных потерь в цикле (в результате испарения, при очистке). Эта система позволяет целесообразно решать задачи очистки и обработки воды, улучшать ее качество и, таким образом, обеспечивает оптимальные условия для эффективной работы оборудования.

Схема производственного оборотного водоснабжения предприятия включает в себя комплекс сооружений, обеспечивающих прием воды из водоема (водозабор), подачу ее потребителям в необходимом количестве под требуемым давлением (насосная и водопровод), очистку, обработку и охлаждение (очистные сооружения). Системы оборотного водоснабжения подразделяются на замкнутые, полужамкнутые и комбинированные системы.

В замкнутой системе (рис. 14) охлаждение технологических потоков осуществляется оборотной водой в закрытых теплообменных аппаратах. Обратная вода охлаждается воздухом в закрытых ребренных радиаторах (радиаторной градирне).

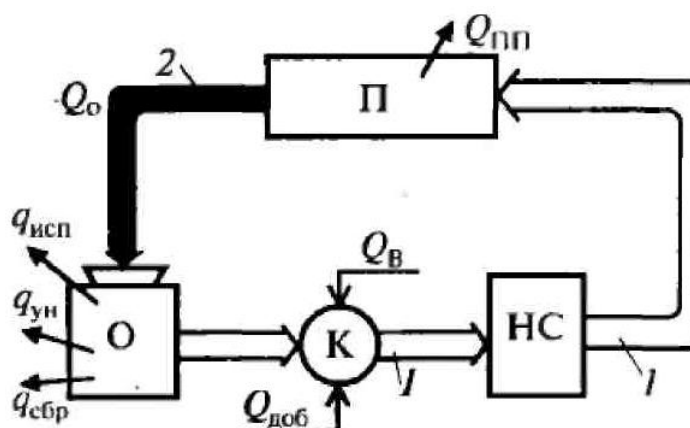


Рис. 14. Замкнутая система оборотного водоснабжения: 1 – чистая вода; 2 – вода после первичного использования; НС – насосная станция; П – производство; К – камера приема добавочной воды или сброса воды; ВХ – воздушный холодильник; Q_o – количество отработанной (сточной) воды; $Q_{п}$ – количество воды, подаваемой на производство; $Q_{пп}$ – количество воды, потерянной в производстве

В полузамкнутой системе (рис. 15) технологические потоки охлаждаются также в закрытых теплообменниках, но обратная вода охлаждается в градирне.

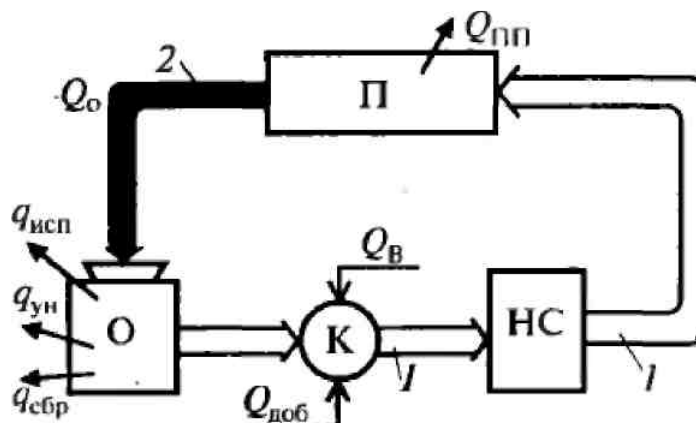


Рис. 15. Полузамкнутая система производственного водоснабжения: 1 – чистая вода; 2 – вода после первичного использования; О – охладитель воды; К – камера приема добавочной воды или сброса воды; П – производство; НС – насосная станция; $Q_{\text{П}}$ – количество воды, подаваемой на производство; $Q_{\text{ПП}}$ – потеря воды в производстве; $Q_{\text{О}}$ – количество отработанной (сточной) воды; $q_{\text{ун}}$ – потери воды на унос из охладителя; $q_{\text{исп}}$ – потери воды на испарение в охладителе (градирня, брызганный бассейн); $q_{\text{сбр}}$ – количество воды, сбрасываемой из системы для освежения (продувка); $Q_{\text{под}}$ – количество воды, добавляемой в систему; $Q_{\text{в}}$ – введение реагента для обработки воды

В некоторых производствах по условиям технологического процесса требуется обессоленная или умягченная вода. В этом случае применяют комбинированную систему (рис. 16), в которой обессоленная или умягченная вода охлаждается оборотной водой в закрытых теплообменниках, а обратная вода – в градирне.

В процессе многократной циркуляции вода оборотных систем нагревается, охлаждается, частично упаривается, аэрируется, минерализуется, может становиться менее стабильной, более коррозионно-активной, способной к отложениям минеральных солей и бактериологическим обрастаниям. Требования к качеству воды в системах водооборотных циклов устанавливаются для каждого технологического процесса. Чаще всего водооборотные циклы используют для целей охлаждения. Специальные водооборотные системы, использующие очищенную воду в том же или другом технологическом процессе, применяют

пока реже. Например, такие системы применяются в производстве ацетилена, при получении аммиака, в нефтехимической промышленности, при газификации сланцев и бурого угля и др.

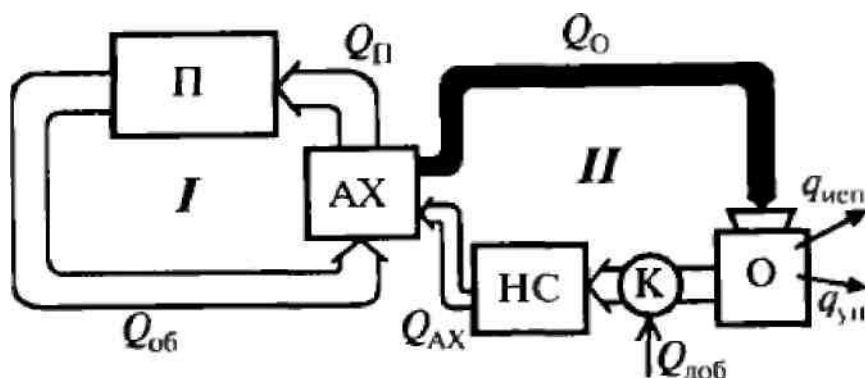


Рис. 16. Комбинированная система производственного водоснабжения: I – контур заhoложенной воды с температурой 4-15 °С; II – контур оборотного водоснабжения; АХ – цех аммиачных холодильников; О – охладитель оборотной воды контура II; П – производство; НС – насосная станция; К – камера приема добавочной воды или сброса воды, Q_o – количество отработанной сточной воды; $Q_{об}$ – количество оборотной производственной воды; $Q_{ах}$ – количество оборотной воды, подаваемой в цех аммиачных холодильников; $Q_{п}$ – количество воды, подаваемой на производство; $Q_{доб}$ – количество воды, добавляемой в систему; $q_{исп}$ – потери воды на испарение в охладителе (градирня брызгальный бассейн); $q_{ун}$ – потери воды на унос из охладителя

Критерием эффективности водооборотного цикла на предприятии является коэффициент использования воды (К):

$$K = \frac{Q_3 - Q_{сб}}{Q_3}, \quad (9)$$

где Q_3 и $Q_{сб}$ — количества забираемой из источника свежей воды и сбрасываемой в водоем сточной воды.

Широкое внедрение водооборота в химико-технологические процессы, замена водяного охлаждения воздушным, а также совершенствование технологических процессов – основные мероприятия для сокращения потребления воды в химической промышленности.

Существенно повышает кратность циркуляции оборотных вод их комплексная подготовка, очистка от взвесей, реагентная обработка в целях умень-

шения коррозии аппаратуры и подавления деятельности бактерий. В производство возвращаются и очищенные сточные воды. Например, в производственном объединении «Киришинефтеоргсинтез» в водооборот возвращаются все стоки, а на Уфимском и Лисичанском нефтеперерабатывающих заводах – все нейтральные стоки.

Снижение температуры оборотной воды в градирне происходит за счет ее контакта с воздухом, перемещаемым вентилятором. Теоретически возможный предел охлаждения воды в градирне – температура мокрого термометра (t_M), которая зависит от температуры окружающего воздуха и его относительной влажности. Существуют диаграммы для определения значения t_M . Например, при температуре окружающего воздуха 30 °С и его относительной влажности 60 % предельная температура охлаждения воды $t_{об} = 24$ °С. В современных вентиляторных градирнях перепад температур нагретой t_H и охлажденной воды достигает $\Delta t = t_H - t_{об} = 6-7$ °С.

В системе оборотного водоснабжения вода теряется на испарение в градирне (в количестве V_1), капельный унос с охлаждающим воздухом (V_2) и сброс при продувке (V_3). Потери восполняются добавочной подпиточной водой в количестве

$$V_{дв} = V_1 + V_2 + V_3. \quad (10)$$

Потери воды на испарение можно определить по формуле

$$V_1 = k_1 \Delta t V_0, \quad (11)$$

где k_1 – коэффициент, зависящий от температуры воздуха;

Δt – разность температур нагретой и охлажденной воды, град;

V_0 – расход оборотной воды, м³/ч. Коэффициент k_1 имеет следующие значения для градирен:

Температура воздуха, °С	0	10	20	30	40
Коэффициент k_1 ,	0,0010	0,0012	0,0014	0,0015	0,0016

Потери воды вследствие брызгоуноса:

$$V_2 = k_2 V_0, \quad (12)$$

где k_2 – коэффициент, равный 0,002–0,005 для вентиляторных градиен с водоприемниками.

Расход воды на продувку системы V_3 зависит от производительности системы обратного водоснабжения, карбонатной жесткости добавочной воды, способа обработки воды и составляет 1–3 % от расхода оборотной воды.

Эффективность системы обратного водоснабжения определяют двумя показателями:

коэффициентом использования оборотной воды ($K_{об}$)

$$K_{об} = V_o / (V_o + V_{дв}), \quad (13)$$

коэффициентом использования добавочной (свежей) воды ($K_{дв}$)

$$K_{дв} = (V_{дв} - V_{сб}) / V_{дв}, \quad (14)$$

где V_o – количество оборотной воды, м³/ч;

$V_{дв}$ – количество добавочной воды, м³/ч;

$V_{сб}$ – количество сточных вод (продувка), сбрасываемых в водоем, м³/ч,

$V_o + V_{дв}$ – общее количество расходуемой воды, м³/ч.

На предприятиях химической промышленности в целом коэффициент использования оборотной воды достигает значения $K_{об} = 0,83$, на передовых нефтеперерабатывающих и нефтехимических производствах $K_{об} = 0,90–0,95$.

Исходя из существующего уровня технологии, можно оценить максимально возможный коэффициент использования оборотной воды. В химической промышленности, где около 25 % используемой воды расходуется в качестве растворителя и экстрагента, он соответствует значению 0,90–0,92.

В химической промышленности даже при повторном использовании воды расход свежей воды большой и составляет в среднем 50–130 м³ на 1 т продукции, а в целлюлозно-бумажной промышленности – 150–500 м³. Поэтому одной из главных задач химической технологии является дальнейшее снижение водоемкости производств путем внедрения систем обратного и последующего использования воды, переход на водосберегающие (бессточные) технологии.

К бессточным относятся производства, в которых функционируют замкнутые системы водоснабжения без сброса сточных вод в водоемы с коэффициентом использования свежей воды равным единице.

При создании замкнутых систем водоснабжения на химических предприятиях необходимо использовать следующие основные положения:

1) водоснабжение и канализация предприятия должны рассматриваться как единая подсистема, включающая водоснабжение, водоотведение и очистку сточных вод, обеспечивающую их повторное использование;

2) в системе водоснабжения основным источником воды должны быть очищенные сточные воды, а свежая вода из водоочистников должна использоваться только для особых целей и восполнения потерь в локальных системах;

3) очистка сточных вод должна сводиться к регенерации отработанных технологических растворов и воды в локальных системах технологического водоснабжения с целью их повторного использования в производстве;

4) должны использоваться такие методы регенерации технологических растворов и воды, которые обеспечивают одновременное извлечение ценных компонентов и доведение образующихся отходов до товарного продукта или до вторичного сырья при минимальных материальных и энергетических затратах.

При внутритехнологическом цикле вода вступает в непосредственный контакт с перерабатываемыми продуктами. Очистка циркулирующей воды осуществляется в локальных очистительных сооружениях, которые являются продолжением технологических установок. На локальных установках очищаются сточные воды, которые без очистки не могут быть направлены в системы повторного или оборотного водоснабжения или на общезаводские очистные сооружения. На этих установках, как правило, из сточных вод извлекаются ценные примеси с использованием регенерационных методов очистки: отстаивания, флотации, экстракции, ректификации, дистилляции, адсорбции, ионного обмена, обратного осмоса и др. В ряде случаев на локальных установках осуществляется термическое обезвреживание сточных вод.

Система внутритехнологического водооборота требует дополнительных капитальных и эксплуатационных затрат. Однако эти затраты окупаются за счет снижения общих расходов на водоподготовку и извлечения ценных компонентов.

Принцип максимального использования оборотного водоснабжения при оптимальном применении воздушного охлаждения положен в основу схем бессточных нефтеперерабатывающих заводов. На этих заводах очистка нефтепродуктов от сернистых соединений осуществляется регенерируемыми реагентами. Сернисто-щелочные сточные воды после обезвреживания на установке карбонизации подаются совместно со стоками ЭЛОУ (электрообессоливающая установка) на термическое обессоливание. Полученный при обессоливании водный конденсат направляется в водооборотный цикл. Из остатка выпаривания выделяется гранулированный технический хлорид натрия (80 % NaCl), который используется для регенерации Na-катионитовых фильтров.

Постоянный солевой состав воды в системе технологического водооборота поддерживается за счет вывода части воды на установку термического обессоливания в системе очистки сточных вод и возврата очищенной воды в технологические установки. Внедрение бессточных схем на нефтеперерабатывающих заводах снижает удельные капиталовложения на 1 м³ сточных вод и стоимость строительства очистных сооружений в 1,5–2 раза и предотвращает загрязнение водоемов.

Себестоимость очистки 1 м³ (см. табл. 10) стоков в бессточной схеме выше, чем в сточной схеме за счет эксплуатационных расходов на термическое обессоливание, термическую переработку нефтешламов и карбонизацию сернисто-щелочных сточных вод. Однако из-за меньшего расхода оборотной воды и отсутствия сброса сточных вод затраты на очистку воды в бессточной схеме незначительно отличаются от подобных затрат в сточной схеме.

Примером бессточной технологии без загрязнения рек и водоемов может служить производство фосфора. По этой схеме добавка свежей воды из источника водоснабжения предусматривается только для подпитки оборотной системы охлаждения аппаратов, снабжения водой котельной и для бытовых нужд.

**Технико-экономические показатели нефтеперерабатывающих
заводов по содержанию очистных сооружений**

Показатель	НПЗ без стоков	НПЗ со сбросом сточных вод
Расход воды на 1 т нефти, м ³	0,13	0,26
Сброс сточных вод в водоем на 1 т нефти, м ³	–	0,30
Расход оборотной воды на 1 т нефти, м ³	13,2	16,5
Удельные капиталовложения, усл. ед. на 1 м ³ сточных вод	489	500
Стоимость строительства очистных сооружений, усл. ед.	9,3	17,4
Себестоимость очистки 1 м ³ сточных вод, усл. ед.	0,26	0,18

Система повторного использования воды внутри промышленного комплекса является высокоэффективным направлением в сокращении водопотребления и сброса сточных вод. Комплексная схема водоиспользования включает локальные водооборотные циклы с необходимыми локальными очистными установками, в которых сточные воды в зависимости от содержания в них загрязнений проходят соответствующую очистку с целью повторного их использования в производстве, а образующиеся отходы перерабатываются в товарную продукцию. Эффективность использования воды в промышленном комплексе подтверждается приведенными ниже показателями (табл. 11).

Эффективность использования воды в промышленном комплексе

Показатели	Бессточная схема	Обычная схема
Расход свежей речной воды, м ³ /сут.	30	176
в том числе на химическом комбинате	4,5	150
Общий водооборот, тыс. м ³ /сут.	688	688
Сброс сточных вод в реку, тыс. м ³ /сут	–	139,3
Возврат сточных вод в производство, %	95,7	71,5

10. ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Химическая промышленность образует огромное количество различных отходов, которые можно классифицировать по агрегатному состоянию.

Твердые отходы – это отходы, получаемые в виде порошков, пыли, слитков или затвердевшей массы. К этой группе относятся огарки, зола, частицы пыли и сажи, отходы пластмасс и резины, отработанные катализаторы, остатки после обогащения руд, твердые органические остатки, адсорбенты, некондиционные продукты (каучук, волокна) и др.

При выборе метода переработки твердых отходов существенную роль играют их состав и количество. Преобладают тенденции, связанные с созданием мощных установок по комплексной переработке большого количества смесей твердых отходов. Получила развитие утилизация твердых отходов в агрегатах промышленности строительных материалов при получении кирпича, керамзита, цемента и др.

Жидкие отходы состоят в основном из жидкой фазы и содержат растворенные в воде или других растворителях соли, щелочи, кислоты, а также примеси взвешенных частиц. Содержание взвешенных частиц не превышает обычно уровня, начиная с которого происходит их осаждение. Жидкие отходы обладают хорошей подвижностью, и их можно транспортировать насосами, применяемыми в химической промышленности. Концентрация растворимых веществ не должна превышать предел, при котором начинается их кристаллизация из раствора при нормальных условиях.

К этой группе отходов относятся, прежде всего, производственные сточные воды, загрязненные токсичными и ядовитыми соединениями и требующие специальной обработки (воды, содержащие кислоты, щелочи, хлориды, фториды, бромиды, растворенные металлы, токсичные органические вещества и т. д.); отработанные органические растворители и жидкости. В некоторых случаях жидкие отходы представляют собой какой-либо продукт, загрязненный небольшим количеством примесей. К подобным отходам относятся отработанные масла, содержащие продукты окисления, полимеризации и механические примеси.

Переработка жидких отходов осуществляется с помощью многочисленных типовых процессов химической технологии: адсорбции, осаждения, фильтрации, дистилляции и ректификации, экстракции, выпаривания, кристаллизации, термической обработки, химической переработки. Иногда жидкие отходы представляют собой многокомпонентную смесь, разделение которой затруднено и экономически нецелесообразно. В таком случае отходы сжигают или закачивают в глубокие поглощающие горизонты земной коры.

Главными инженерными задачами при разработке установок сжигания являются обеспечение полного сгорания отходов и максимальная утилизация тепла, выделившегося при горении. Главное преимущество методов термической обработки – относительная простота технологии, а недостаток заключается в уничтожении всех веществ (включая полезные), содержащихся в массе отходов. Поэтому при термической переработке возможна утилизация только теплового потенциала отходов.

Процесс усложняется при термическом обезвреживании органических отходов, содержащих соединения галогенов, фосфора, серы, азота. В этом случае в продуктах их сгорания могут накапливаться хлороводород, оксиды серы и азота, и поэтому возникает необходимость очистки перед выбросом газов в атмосферу.

Газообразные отходы включают в себя газовые выбросы промышленных печей и вентиляционных установок, сушилок, различные отходящие газы технологических установок. К этой группе относятся продукты сгорания (дымовые газы) парогенераторов и печей; газы, обладающие сильным запахом, содержащие дисперсные твердые частицы (пыль) или жидкие частицы в виде тумана, а также газы с содержанием NO_x , SO_2 , HCl , HF , паров органических веществ и др.; паровоздушные смеси, загрязненные токсичными примесями.

При извлечении из газов полезных компонентов или для обезвреживания применяют основные процессы химической технологии, в том числе абсорбцию, адсорбцию, осаждение, фильтрование, термическую переработку, хемосорбцию. Термическая переработка газообразных отходов заключается в дожигании органических примесей, содержащихся в газах, до безвредных продуктов

сгорания H_2O , CO_2 , N_2 . Недостатком этих методов является уничтожение всех органических веществ, содержащихся в газах. Поэтому их применяют в тех случаях, когда по экономическим соображениям эти вещества нецелесообразно выделять.

При производстве некоторых продуктов отходящие газы представляют собой смеси углеводородов. Когда разделение таких смесей экономически нецелесообразно, их используют в качестве горючих вторичных энергетических ресурсов.

В случае малого содержания горючих компонентов в газообразных отходах, когда экономически невыгодно использовать метод прямого сжигания, широко применяют *каталитическое горение*. Процесс каталитического горения протекает в реакторах с неподвижным или кипящим слоем катализатора при 200–600 °С вместо 950–1100 °С при прямом сжигании.

Шламы представляют собой аморфные или мелкокристаллические массы, содержащие 20–80 % воды и плохо транспортируемые без предварительной обработки методами сушки, фильтрования, вымораживания и др. К этой группе относятся остатки процессов фильтрации и седиментации; шламы, получаемые при нейтрализации или специальной обработке жидких отходов; шламы и илы, получаемые в процессе биохимической очистки сточных вод. Сюда следует отнести также смолы, кислые и вязкие гудроны, остаточные нефтепродукты, получаемые при переработке нефти, нефтяные шламы.

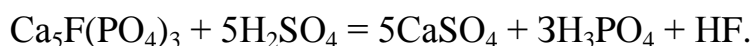
В переработке шламовых отходов используются процессы фильтрования и центрифугирования, сушки, термического обезвоживания, сжигания. При сжигании шламов, содержащих органические и горючие вещества, выделяется высокопотенциальное тепло, которое обычно утилизируется. Выбор способа переработки зависит от качества шлама и состава содержащихся в нем компонентов.

10.1. Переработка твердых отходов

В химической и нефтехимической промышленности образуются многочисленные твердые отходы, различающиеся по своему происхождению и составу. Ввиду большого многообразия этих отходов предложить обобщенную схему

их утилизации и обезвреживания не представляется возможным, поэтому рассмотрим основные методы применительно к многотоннажным отходам производства.

Утилизация фосфогипса. Фосфогипс образуется как отход в производстве фосфорной кислоты из природных фосфатов. При разложении фосфатов серной кислотой в раствор переходит фосфорная кислота и образуется труднорастворимый сульфат кальция (фосфогипс):



В зависимости от температуры и концентрации получаемой кислоты сульфат кальция выделяется в форме дигидрата $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (гипс), полугидрата $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ или безводной соли CaSO_4 (ангидрит). При получении экстракционной фосфорной кислоты дигидратным способом образуется 7,5–8,4 т влажного фосфогипса в пересчете на дигидрат. Фосфогипс (в пересчете на сухое вещество) содержит до 94 % CaSO_4 , а также в виде примесей неразложившийся фосфат, неотмытую фосфорную кислоту, полуторные оксиды, соединения стронция, различные микропримеси (редкоземельные элементы, Мо, Со, Мп, Zп), соединения фтора и др.

Основными примесями, препятствующими прямому использованию фосфогипса вместо природного гипса в строительстве, являются соединения фтора и P_2O_5 . В России и странах СНГ в настоящее время в отвалах находится более 40 млн т фосфогипса и ежегодно образуется около 10 млн т этого отхода. Фосфогипс, помимо загрязнения окружающей среды, наносит большой экономический ущерб, поскольку до 10 % себестоимости фосфорной кислоты приходится на затраты по его транспортировке и хранению. Шламохранилища занимают огромные площади земель, необходимых сельскому хозяйству.

В нашей стране и за рубежом разработано несколько направлений использования фосфогипса, ниже приводится их экономическая эффективность в расчете на 1 т отхода (табл. 12).

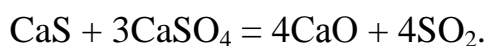
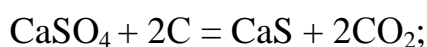
Экономическая эффективность использования фосфогипса

Область использования	Экономический эффект, руб./т
Производство гипсовых вяжущих	+3,5
Производство портландцемента (в качестве добавок)	+2,5
Производство серной кислоты и цемента	-8,6
Производство серной кислоты и извести	-6,6
Производство сульфата аммония	-22,2
Сельское хозяйство	+6,4

Процесс получения гипсовых вяжущих из фосфогипса обычно состоит из двух стадий: очистка фосфогипса от соединений фтора и фосфора и последующая дегидратация $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ до $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$. Дегидратацию осуществляют путем обжига в печах при температуре 150–170 °С либо в автоклавах при 120–170 °С. Технология получения вяжущих освоена в промышленном масштабе, в настоящее время по этому методу перерабатывается в мире 3 млн т фосфогипса и производится 1,9 млн т вяжущих материалов.

В производстве цемента фосфогипс гранулируют и подсушивают в барабанных сушилках до содержания гигроскопической влаги около 5 %. Применение фосфогипса как минерализатора способствует улучшению процесса обжига, снижению расхода топлива, повышению производительности печей и качества клинкера, увеличению срока службы футеровки цементных печей.

В производстве серной кислоты и цемента высушенный фосфогипс смешивают с глиной, песком и коксом и обжигают при 1200–1400 °С. При обжиге протекают следующие реакции:

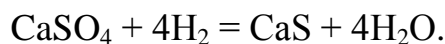
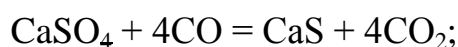
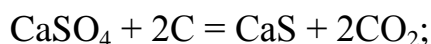


Процесс может быть описан суммарной реакцией:

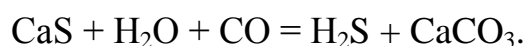


В процессе применяют небольшой избыток углерода (20–30 % от стехиометрического) для компенсации его расхода на побочные реакции. Образующийся диоксид серы направляется на окисление до SO_3 , который далее абсорбируется водой с получением серной кислоты.

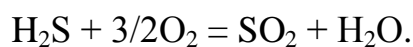
В производстве серной кислоты и извести фосфогипс восстанавливают коксом или продуктами конверсии природного газа:



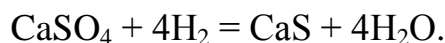
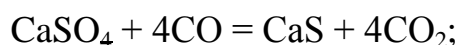
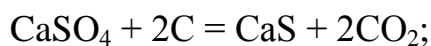
Сульфид кальция обрабатывают водой, а полученную суспензию – диоксидом углерода:



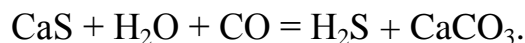
Полученный сероводород окисляется до диоксида серы:



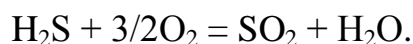
В производстве серной кислоты и извести фосфогипс восстанавливают коксом или продуктами конверсии природного газа:



Сульфид кальция обрабатывают водой, а полученную суспензию – диоксидом углерода:



Полученный сероводород окисляется до диоксида серы:



Разработаны способы, основанные на взаимодействии предварительно приготовленного $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ с фосфогипсом или на непосредственном контактировании газообразных NH_3 и CO_2 .

Разработана схема комплексной переработки фосфогипса в сульфат аммония, оксид кальция и концентрат редкоземельных элементов. Метод основан на том, что CaO , полученный из осадка CaCO_3 , растворяется в аммониевых солях, а редкоземельные элементы остаются в осадке. Прокаливание CaCO_3 проводят при $1000\text{ }^\circ\text{C}$. Полученный оксид кальция обрабатывают раствором NH_4Cl с получением раствора CaCl_2 и осадка редкоземельных элементов. Аммонизированный раствор CaCl_2 насыщается CO_2 для выделения CaCO_3 и регенерации NH_4Cl .

В сельском хозяйстве фосфогипс используется для гипсования солонцовых почв. При внесении в такие почвы фосфогипса (6–7 т на 1 га) происходит образование сульфата натрия, который легко вымывается. Фосфогипс рекомендуется применять в качестве местных удобрений. Использование такого удобрения экономически оправданно при отсутствии дальних перевозок (до 500 км). Использование фосфогипса не требует очистки от P_2O_5 , поскольку эта примесь играет положительную роль при внесении в почву. Потребность в нашей стране в серосодержащих удобрениях составляет более 2 млн т/год.

Среди других методов переработки фосфогипса перспективным является извлечение из него элементной серы путем восстановления при температуре $1100\text{--}1200\text{ }^\circ\text{C}$.

10.2. Утилизация отходов пластмасс и эластомеров

Технологические отходы пластических масс и эластомеров образуются в отраслях, занимающихся синтезом и переработкой этих продуктов. По статистическим данным, в производстве этих отходов образуется от 5 до 35 %.

Длительное время захоронение в почву и сжигание были наиболее распространенными способами уничтожения отходов пластмасс и эластомеров. Тепло, выделяющееся при сжигании, использовалось для генерирования водяного пара. Однако при сжигании происходит образование сажи от неполного сгорания полимеров, выделение токсичных газов и, как следствие, повторное загрязнение воздушного бассейна.

К основным способам утилизации отходов пластических масс относятся термическое разложение путем пиролиза, деполимеризация с получением исходных низкомолекулярных продуктов (мономеров, олигомеров), вторичная переработка.

Пиролиз полимеров осуществляется при температурах 800–1100 °С и позволяет получить высококалорийное топливо, сырье и полупродукты, используемые в различных технологических процессах, а также мономеры для синтеза полимеров. При пиролизе отходов полиэтилена ($T = 740$ °С) образуются полезные продукты: этилен (25 %), метан (16 %), бензол (12 %), пропилен (10 %).

Установка термического пиролиза включает дробилку, шнековый питатель, печь пиролиза, скруббер для промывки пирогаза, холодильник, ректификационную колонну разделения углеводородов и камеру сжигания отходящих газов. В случае переработки поливинилхлорида предусматривается скруббер для поглощения HCl. Печь пиролиза отходов представляет собой обогреваемую вертикальную цилиндрическую камеру, в которой измельченные пластмассовые отходы перемещаются под действием силы тяжести вниз, а продукты пиролиза из верхней части печи направляются на переработку.

Процессу деполимеризации с получением мономеров подвергают только те виды пластмасс, которые распадаются при сравнительно низких температурах (300–450 °С). К таким полимерам относятся полистирол и его сополимеры, полиакрилаты. Пиролиз полистирола сопровождается получением 50–70 % исходного стирола, при термическом разложении полиметилметакрилата выход газообразного метилметакрилата достигает 91–96 %.

Наиболее эффективным способом утилизации отходов полимерных материалов является их вторичная (а в некоторых случаях многократная) переработка. Освоены процессы переработки вышедшей из употребления полиэтиленовой пленки в трубы для сельского хозяйства и изделия менее ответственного назначения, а также во вторичную пленку. Технологический процесс получения вторичной полимерной пленки заключается в подготовке исходного сырья (использованной пленки), гранулировании и смешении полученных гранул с пер-

вичным полиэтиленом с последующим получением пленки обычными методами.

10.3. Утилизация и обезвреживание сточных вод

Среди многочисленных жидких отходов на химических и нефтехимических предприятиях преобладают сточные воды, различные углеводородные растворители и загрязненные органические вещества.

Сточные воды загрязнены неорганическими и органическими соединениями, поступающими с заводов соответствующего профиля – основной химической промышленности, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, органического синтеза, красителей и пигментов, лаков и красок, целлюлозно-бумажной промышленности и др.

Выбор метода очистки сточных вод зависит, прежде всего, от характера примесей. Наиболее часто употребляемые приемы очистки сточных вод можно объединить в такие группы:

1) для очистки от суспензированных и эмульгированных примесей – отстаивание, флотация, фильтрация, осветление, центрифугирование (для грубодисперсных частиц), коагуляция, флотация, электрические методы осаждения (для мелкодисперсных и коллоидных частиц);

2) для очистки от неорганических соединений – дистилляция, ионообмен, обратный осмос, ультрафильтрация, реагентное осаждение, методы охлаждения, электрические методы;

3) для очистки от органических соединений – экстракция, абсорбция, флотация, ионообмен, реагентные методы (регенерационные методы); биохимическое окисление, жидкофазное окисление, парофазное окисление, озонирование, хлорирование, электрохимическое окисление (деструктивные методы);

4) для очистки от газов и паров – отдувка, нагрев, реагентные методы;

5) для уничтожения вредных веществ – термическое разложение.

Очистку сточных вод от соединений фосфора осуществляют с помощью сульфатов алюминия и железа. Освобождение стоков от соединений азота (аммиака, нитритов и нитратов) производится методами абсорбции и ионообмена (аммиак).

Эффективность различных методов очистки сточных вод показана в таблице 13. Для очистки сточных вод в большинстве случаев используются типовые процессы химической технологии (или их сочетание).

Таблица 13

Эффективность методов очистки сточных вод

Метод очистки	Удаляемые примеси	Степень очистки, %
Биохимическая очистка		
одноступенчатая	Органические соединения, нефтепродукты	55–90
двухступенчатая	То же	93–99
Отгонка	Аммиак	85–95
Ионообмен	Азот- и фосфорсодержащие соединения	80–92
Электродиализ	Растворенные вещества	10–40
Адсорбция углем	Органические соединения	90–98
Фильтрация	Взвешенные вещества	60–90
Обратный осмос	Растворенные вещества	65–95
Дистилляция	То же	90–98

Метод биологической очистки сточных вод основан на способности гетеротрофных микроорганизмов использовать в качестве источников питания разнообразные органические соединения, подвергая последние биохимическим превращениям. Использование свойств адаптации бактерий активного ила позволяет успешно решать вопросы биологической очистки стоков воды химических производств, содержащих сложные органические соединения не природного происхождения.

Контактируя с органическими веществами, микроорганизмы частично разрушают их, превращая в воду, диоксид углерода, нитрит- и сульфат-ионы и

др. Другая часть вещества идет на образование биомассы. Разрушение органических соединений при помощи микроорганизмов называют биохимическим окислением. Окисление органических веществ происходит избирательно, поэтому некоторые соединения разрушаются легко, другие – медленно или совсем не окисляются.

Известны аэробные и анаэробные методы биохимической очистки сточных вод. Аэробный метод основан на использовании аэробных групп микроорганизмов, для жизнедеятельности которых требуется постоянный приток кислорода и температура 20–40 °С. При изменении кислородного и температурного режимов меняются состав и число микроорганизмов, а соответственно, и эффективность очистки стоков. В случае анаэробной очистки микроорганизмы культивируются в активном иле или биопленке, биохимические процессы протекают без доступа кислорода. Этот метод используют главным образом для обезвреживания осадков.

Биохимическая очистка с точки зрения организации безотходного производства не может считаться универсальной, так как поступающие со сточными водами ценные органические вещества не извлекаются, а перерабатываются в избыточный и также требующий обезвреживания ил. Однако это пока единственный метод, который обеспечивает очистку сточных вод до показателей, позволяющих использовать их в оборотных системах охлаждения. Сооружения биологической очистки химических предприятий могут иметь различные технологические схемы, которые выбирают в зависимости от характеристик поступающих в них сточных вод. За критерий выбора технологической схемы очистных сооружений принимается обеспечение требований к качеству очищенных сточных вод и условие минимизации приведенных затрат.

В *термоокислительных методах обезвреживания* органические примеси в сточных водах окисляются кислородом воздуха при повышенной температуре до безвредных продуктов (CO₂, H₂O). К этим методам относятся пламенный («огневой»), жидкофазное окисление, парофазное каталитическое окисление.

Выбор метода обезвреживания зависит от объема сточных вод, их состава

и теплотворной способности, экономичности процесса и требований к очищенным стокам. По теплотворной способности загрязненные стоки делятся на сточные воды, способные гореть самостоятельно за счет содержащихся в них органических веществ, и воды, термоокислительное обезвреживание которых возможно только с вводом топлива (при теплотворной способности стоков ниже 8400 кДж/кг).

Огневой метод обезвреживания сточных вод является универсальным и характеризуется высокой степенью очистки сточных вод (98–99,9 %). В этом методе сточная вода вводится в распыленном состоянии в высокотемпературные продукты сгорания топлива (900–1000 °С). Вода испаряется, а органические примеси сгорают, образуя продукты полного сгорания (CO₂, H₂O). Минеральные примеси при этом образуют твердые или расплавленные частицы, которые удаляются из камеры печи.

Недостатком метода является высокий расход топлива на испарение воды и перегрев пара до 900–1000 °С. В связи с этим огневой метод рекомендуется использовать в следующих случаях:

- при большом количестве сточных вод, содержащих высокотоксичные органические примеси, обезвреживание которых другими методами невозможно или экономически невыгодно;
- при наличии горючих вторичных энергоресурсов, которые могут быть использованы вместо топлива (рис. 17).

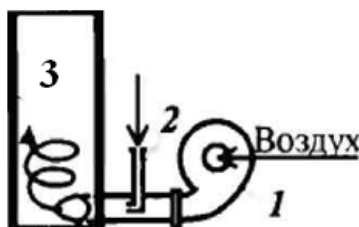


Рис. 17. Схема установки для сжигания горючих жидких отходов:

1 – воздушодувка; 2 – питающее устройство; 3 – печь

ные, циклонные, с псевдооживленным слоем. Наиболее эффективны циклонные печи, в которых благодаря вихревому характеру газового потока интенсифици-

руется тепло- и массообмен между каплями сточной воды и горячими продуктами сгорания топлива. В этих печах сравнительно просто решается вопрос о выгрузке сплава солей. Недостатком циклонных печей является большой унос солевой массы потоком газа.

На рис. 18 представлена схема установки огневого обезвреживания сточных вод, включающая циклонный реактор 2, парогенератор (котел-утилизатор) 3 и струйный аппарат 4. Продукты сгорания из реактора поступают в камеру охлаждения парогенератора. Наличие эжектора позволяет исключить дымосос. Циркуляционный насос 5 используется для подачи раствора минеральных веществ из емкости 6 в реактор 2 и в струйный аппарат 4. Пройдя каплеотделитель 7, очищенные газы поступают в дымовую трубу 8 и из нее в атмосферу. На некоторых установках используют для утилизации тепла водогрейные котлы, водоаммиачные абсорбционные холодильные машины и циклоны для сухой очистки газа от каплеуноса.

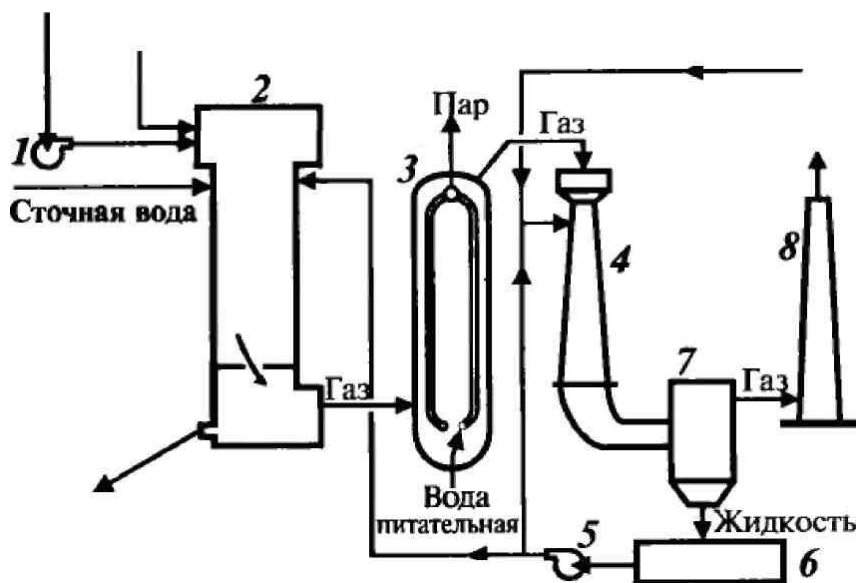


Рис. 18. Схема установки огневого обезвреживания сточных вод:

1 – нагнетательный насос; 2 – циклонный реактор; 3 – парогенератор (котел-утилизатор); 4 – струйный аппарат; 5 – циркуляционный насос; 6 – емкость; 7 – каплеотделитель; 8 – дымовая труба

Установка по огневому обезвреживанию сточных вод характеризуется следующими показателями:

– производительность по сточным водам, м³/ч 2,5

– расход природного газа, м ³ /ч	600
– удельный расход газа, м ³ /ч	240
– удельная нагрузка циклонной печи по сточным водам, т/(м ³ ·ч)	1,18
– тепловое напряжение циклонной печи, МВт/м ³	2,46
– температура продуктов сгорания на выходе из циклона, °С	900–1000

В процессе обезвреживания сточных вод, содержащих органические соединения серы, хлора, нитросоединения, образуются SO₂, SO₃, P₂O₅, HCl, Cl₂, (NO)_x. Вещества эти могут взаимодействовать с образованием новых, более токсичных, соединений, что необходимо иметь в виду при удалении отходящих газов в окружающую среду.

Метод жидкофазного окисления основан на окислении органических веществ, растворенных в сточной воде, кислородом воздуха при температуре 100–350 °С и давлении 2–28 МПа. Повышение давления ускоряет процесс и глубину окисления вследствие увеличения растворимости в воде кислорода. Жидкофазное окисление осуществляется как на катализаторах, так и без них. В качестве катализаторов используются металлы (Pt, Pd, Cu, Zn, Mn), нанесенные на оксид алюминия или активированный уголь.

В методе парофазного каталитического окисления используется гетерогенное каталитическое окисление кислородом воздуха летучих органических соединений, находящихся в сточных водах. Процесс окисления интенсивно протекает в присутствии медно-хромовых, медно-цинковых, медно-марганцевых катализаторов. При высокой температуре (350–400 °С) большинство органических веществ подвергается полному окислению (98,5–99,9 %).

Применение парофазного окисления наиболее целесообразно в случае вывода технологического потока в виде пара, направляемого в конденсаторы (из выпарных аппаратов, ректификационных колонн, сушильных камер и т. д.). В данном процессе могут быть использованы конструкции реакторов, характерные для гетерогенно-каталитических процессов.

10.4. Утилизация и обезвреживание газообразных отходов

В группе газообразных отходов наибольшую долю составляют отходящие технологические газы, продукты сгорания из печей и парогенераторов, выбросы загрязненного воздуха из вентиляционных систем. Газы содержат многочисленные соединения, в состав которых помимо углеводорода и водорода могут входить кислород, сера, азот, галогены.

Очистка выбрасываемых в атмосферу газов от этих соединений может быть достигнута их сжиганием при высоких температурах (900–1000 °С), однако такой способ требует больших затрат первичного топлива, что особенно нерентабельно при обезвреживании газов с малым содержанием вредных веществ. В связи с этим получила применение каталитическая очистка, осуществляемая при более низкой температуре (до 300–400 °С). Рассмотрим примеры каталитической очистки различных газовых выбросов.

Каталитическая очистка газов от органических веществ. Наиболее часто применяется следующая принципиальная схема очистки. Очищаемые газы проходят отбойники и циклоны для отделения конденсата и взвешенных частиц, захваченных газовым потоком. Затем газы нагревают в рекуперативных теплообменниках и в подогревателе до температуры реакции и направляют в реактор. Автотермическое проведение процесса возможно при содержании горючих примесей 5–10 г/м³ (адиабатический разогрев таких смесей 150–300 °С), при меньшем содержании необходим подвод тепла от постороннего источника. Очищенные газы охлаждают и выбрасывают в атмосферу.

Активные компоненты катализаторов, используемых для очистки отходящих газов, можно разделить на три группы: благородные металлы, сплавы и оксидные системы. Катализаторы должны окислять более 90 % (об.) СО и углеводородов в широком интервале температур (250–800 °С) в присутствии воды (около 15 %) и не должны отравляться соединениями серы. Наиболее распространены платиновые катализаторы вследствие способности их ускорять самые различные реакции превращения органических соединений в окислительных и восстановительных средах (окисление, гидрирование). Для обезвреживания га-

зов используются и более дешевые таблетированные катализаторы на основе оксидов неплатиновых металлов (Ni, Cu, Cr, Mn).

При глубоком окислении примесей выделяется тепло, количество которого зависит от природы окисляемых веществ и концентрации их в очищаемых газах. Реактор с утилизацией тепла и стационарным слоем катализатора для очистки вентиляционных выбросов от токсичных органических веществ, которые превращаются в диоксид углерода и воду, показан на рис. 19.

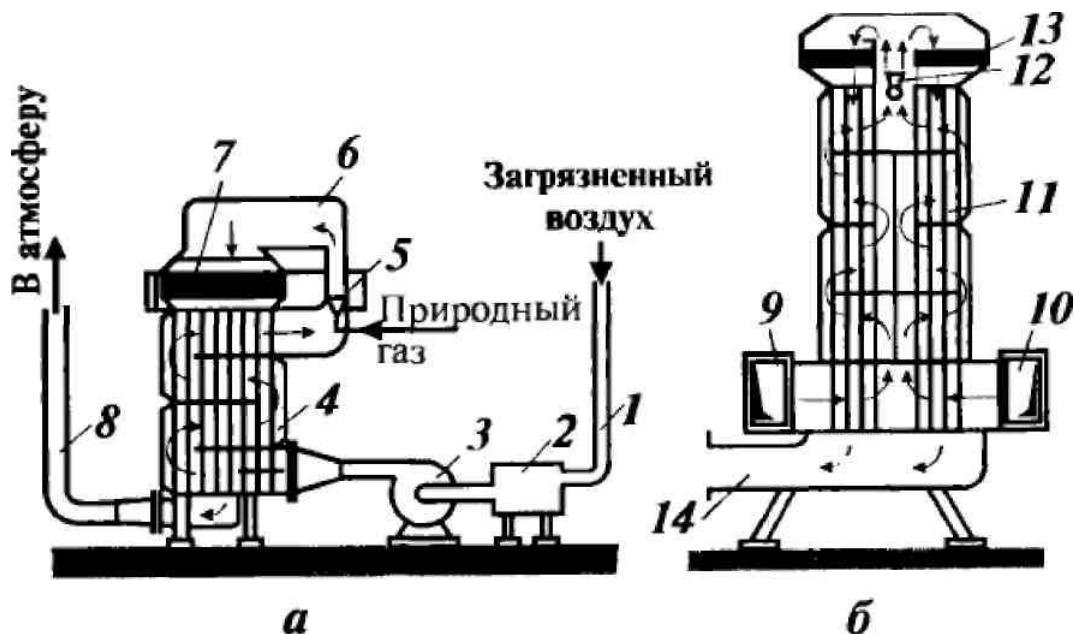


Рис. 19. Схема реакторов для каталитического обезвреживания газоздушных выбросов, содержащих органические примеси, пропускной способностью 5 тыс. м³/ч (а) и 10–25 тыс. м³/ч (б) 1 – трубопровод; 2 – огнепреградитель; 3 – центробежный вентилятор; 4 – рекуператор; 5 – горелка струйного типа; 6 – смешительно-проточный воздухоподогреватель; 7 – катализатор; 8 – выходной трубопровод; 9, 10 – каналы; 11 – межтрубное пространство рекуператора; 12 – горелка; 13 – насадка; 14 – выходной трубопровод

Загрязненный воздух отсасывается из помещения цеха или от технологического оборудования через канал 1 вентилятором 3. Пройдя через огнепреградитель 2, загрязненный воздух под давлением до 3000 Па направляется в межтрубное пространство рекуператора 4, где предварительно нагревается теплом уходящих газов до 200 °С. Нагретый воздух поступает в смешительно-проточный воздухоподогреватель 6, где его температура повышается до

250–400 °С за счет смешения с продуктами сгорания природного газа, подаваемого в горелку 5. Обезвреженный в слое катализатора воздух поступает в трубы рекуператора 4, отдает тепло загрязненному воздуху и выбрасывается через выходную трубу 8 в атмосферу или используется в качестве сушильного агента или теплоносителя в технологическом процессе.

Недостатками реакторов со стационарным слоем катализатора и утилизацией тепла при обезвреживании газов с небольшим содержанием органических примесей является сложность и металлоемкость конструкции. От всего объема реакторного узла на долю катализатора приходится менее 5 %, а остальной объем занимают теплообменник и различные распределительные устройства и т. п.

Новые возможности открывает использование каталитических реакторов обезвреживания газов с нестационарным режимом. Одним из способов реализации нестационарного режима может быть переключение направления подачи газа в слое катализатора

Катализатор в реакторе предварительно прогревают потоком газа, для чего служит пусковой подогреватель. После прогрева слоя обезвреживаемый газ подается с низкой температурой в направлении сверху вниз. Холодный газ нагревается в горячем слое катализатора, охлаждая первые по ходу газа участки слоя. В сечении слоя, где газ достаточно прогрелся, протекает экзотермическая реакция окисления примесей (зона реакции), и температура в слое повышается. Когда горячая зона реакции приближается к выходу из слоя, направление потока газа в реакторе меняют на противоположный (снизу вверх в слое). Холодный поток опять попадает в прогретую часть слоя катализатора, и горячая зона реакции будет продвигаться в противоположном направлении (вверх). Когда зона реакции приблизится к выходу из слоя, направление потока в реакторе опять меняют на противоположное. Таким образом удастся сохранить запасенное в слое тепло в подвижной горячей зоне реакции и перерабатывать газ с низкой входной температурой.

Эффективность применения нестационарного режима в реакторе обезвреживания (табл. 14) обусловлена экономией капитальных вложений за счет

исключения теплообменной аппаратуры и эксплуатационных затрат от сокращения расхода топлива.

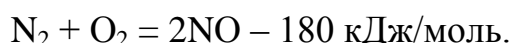
Таблица 14

Сравнительные показатели установок обезвреживания газов

Показатель	Стационарный режим	Нестационарный режим
Расход газа, нм ³	16500	16500
Концентрация примесей, г/м ³	5-10	5-10
Время цикла, мин.	-	40-100
Капитальные затраты, усл. ед.	1,0	0,23
Удельные эксплуатационные затраты, усл. ед.	1,0	0,33
Расход топлива, МДж/ч	3,0	-

Описанный нестационарный метод обезвреживания газов требует очень надежной системы управления процессом и достаточно сложной, если концентрация удаляемых компонентов меняется во времени. Кроме того, в момент переключения направления движения газа происходит залповый выброс вредных веществ из части объема системы, через который поступал исходный газ до переключения, и из которого необезвреженные вещества будут выдуваться после переключения.

Каталитическая очистка газов от оксидов азота. В химической промышленности выбросы оксидов азота с отходящими газами имеют место в производстве азотной кислоты и при сжигании топлива в топках технологических печей. Образование оксидов азота в топках происходит в результате окисления азота воздуха при высоких температурах:

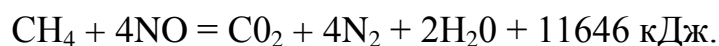


Концентрация образовавшихся оксидов азота NO_x зависит от температуры и избытка воздуха в зоне горения. Оба этих фактора (повышенная температура и избыток воздуха) благоприятствуют их образованию. При сжигании

природного газа в продуктах сгорания при избытке воздуха $a = 1,2$ образуется NO_x в количестве $0,3\text{--}0,4 \text{ г/м}^3$, а при $a = 1,05$ – в количестве $0,1\text{--}0,15 \text{ г/м}^3$.

В промышленной практике для обезвреживания газов применяются методы каталитического восстановления оксидов азота природным газом (при $T > 500 \text{ }^\circ\text{C}$) или аммиаком (при $T < 500 \text{ }^\circ\text{C}$) до молекулярного азота и воды.

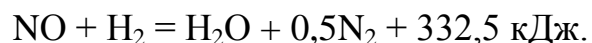
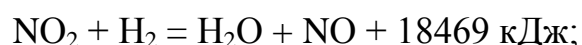
Суммарные реакции высокотемпературного процесса восстановления оксидов азота природным газом можно представить в виде



В качестве катализаторов в процессе применяются металлы Pt, Pd, Ni, Cu, Cr, Fe и сплавы Ni-Cr, Cu-Cr, Zn-Cr и другие, нанесенные на оксид алюминия, силикагель.

В производстве азотной кислоты хвостовые газы обезвреживаются на катализаторе АПК-2 (Al_2O_3 с 2 % Pd). Процесс восстановления NO_x в реакторе осуществляется при температуре $720\text{--}770 \text{ }^\circ\text{C}$ и объемной скорости газа $15\ 000\text{--}25\ 000 \text{ ч}^{-1}$. Остаточное содержание оксидов азота $0,002\text{--}0,008 \text{ } \%$ (об.) достигается при избытке природного газа относительно стехиометрического.

В качестве восстановителя в высокотемпературном процессе может также использоваться водород:



В энерготехнологической схеме обезвреживания отходящих газов от оксидов азота (рис. 20) предусматривается утилизация избыточного тепла процесса на газотурбинной установке и в котле-утилизаторе.

В этой схеме природный газ (CH_4) и воздух подаются в таком количестве, чтобы весь кислород воздуха был израсходован на горение метана в камере сжигания и нагрев отходящих газов до необходимой температуры. Но природный газ подается в небольшом избытке – несгоревший CH_4 в реакторе 4 восстанавливает оксид азота до N_2 . Энергия горячих газов используется в турбине для привода воздушного компрессора и в котле-утилизаторе для получения пара.

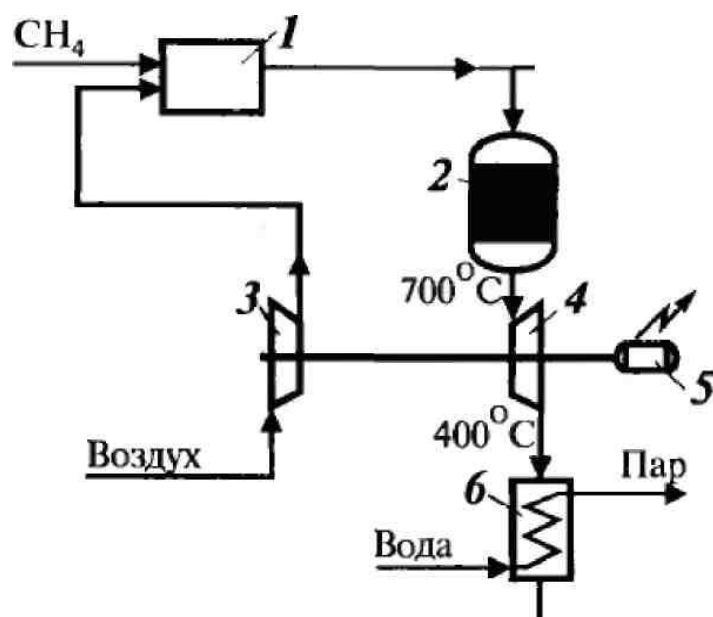
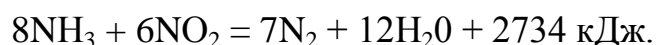
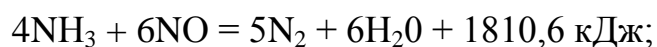


Рис. 20. Энерготехнологическая схема высокотемпературного обезвреживания отходящих газов от оксидов азота NO_x 1 – камера сгорания; 2 – реактор; 3 – компрессор; 4 – турбина; 5 – электрогенератор; 6 – котел-утилизатор

Низкотемпературный процесс каталитического восстановления оксидов азота аммиаком до молекулярного азота протекает при 200–350 °С:



В качестве катализатора селективного восстановления NO_x используют Pt, MgO, V_2O_5 , CuO, Cr_2O_3 , оксиды других металлов. На алюмованадиевом контакте АВК-10М при объемной скорости очищаемого газа 15 000 ч⁻¹, 20-процентном избытке воздуха достигаются степень очистки 98–96 % и остаточное содержание оксидов азота 0,002–0,003 % (об.).

10.5. Утилизация и обезвреживание шламов химических производств

Шламы относятся к распространенным видам отходов химических и нефтехимических производств. Нефтяные шламы образуются при переработке нефти за счет твердых примесей, присутствующих в исходной нефти. На тонну перерабатываемой нефти выход шламов достигает 7–10 кг, всего в шламонакопителях предприятий накоплено более 5 млн нефтешламов. Шламы содержат 10–56 % (масс.) нефтяных продуктов, 30–85 % (масс.) воды и 13–46 % (масс.) твердых примесей.

При хранении в шламонакопителях такие отходы расслаиваются с образованием верхнего слоя (водная эмульсия нефтепродуктов), среднего слоя (загрязненная нефтепродуктами и взвешенными частицами вода) и нижнего слоя (твердая фаза, пропитанная нефтепродуктами).

Разработаны многочисленные способы переработки нефтяных шламов и утилизации содержащихся в них нефтепродуктов:

- предварительное обезвоживание, термическая сушка обводненного шлама и переработка нефтепродуктов совместно с исходной нефтью, газификация обезвоженного или частично обезвоженного шлама;
- сжигание в виде эмульсии и использование тепла вторичных энергоресурсов;
- утилизация шламов в производстве строительных материалов (керамзита).

Наиболее распространенным способом утилизации шлама является сжигание его в печах с псевдоожиженным слоем (рис. 21).

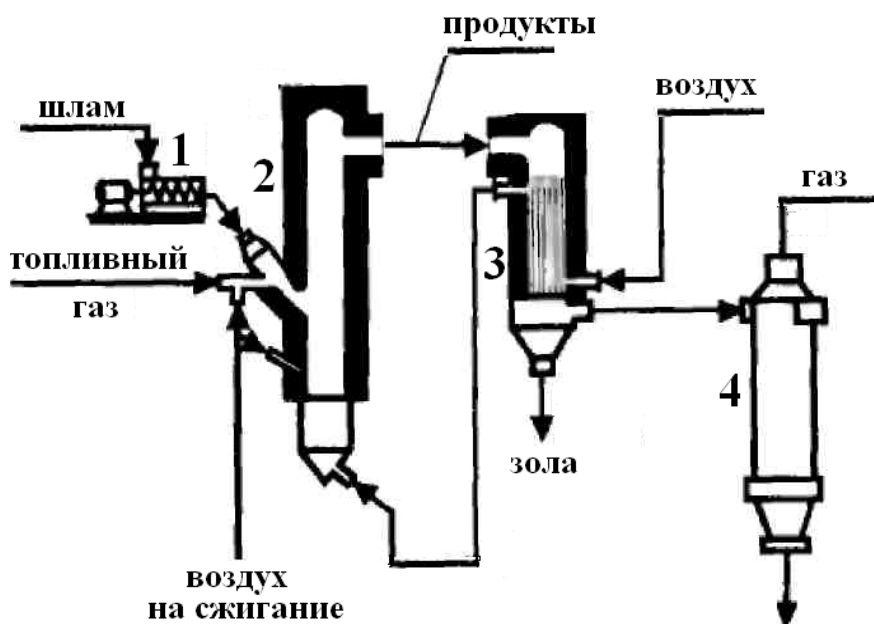


Рис. 21. Схема установки для сжигания нефтяных шламов: 1 – шнековый насос; 2 – печь с псевдоожиженным слоем; 3 – теплообменник; 4 – циклон

природный газ с воздухом, обеспечивающим горение. Псевдоожижение в реакторе создается воздухом, подаваемым снизу. Продукты горения охлаждаются в

теплообменнике **3** воздухом, поступающим после теплообменника в реактор. Зола частично отделяется в теплообменнике и выводится из него. Основная масса золы отделяется от дымовых газов в циклоне **4**. Для сжигания шламов с большим содержанием (до 70 %) механических примесей применяют многоподовые печи и вращающиеся печи барабанного типа.

При сжигании нефтешлама требуется дополнительно расходовать топливо, что удорожает процесс. Поэтому высокая степень утилизации тепла служит основным направлением повышения эффективности установок.

10.6. Обезвреживание особо токсичных и радиоактивных отходов

Особо токсичные отходы. Следует обратить внимание, что во всех случаях стадия обезвреживания особо токсичных отходов является заключительной, и ей предшествует извлечение из отходов полезных компонентов. В регенерации ценных веществ используются различные физико-химические методы: выпарка, адсорбция, ионообмен, экстракция, осаждение, ультрафильтрация и др. После обработки отходов образуются новые твердые или шламообразные остатки, которые не представляют ценности и должны быть ликвидированы как особо токсичная часть отходов.

Среди методов ликвидации особо токсичных отходов наибольшее распространение получили полигоны захоронения, шламохранилища, захоронение или закачка в глубинные подземные скважины и сжигание.

Полигоны захоронения отходов представляют собой наземные сооружения, в которых происходит предварительная подготовка высокотоксичных отходов и захоронение их земляной засыпкой. В состав полигонов могут включаться печи сжигания с утилизацией тепла. Полигоны захоронения располагаются вдали от населенных пунктов. При их размещении учитывают состав и физико-химические свойства отходов и применяют меры по предотвращению загрязнения грунтовых вод (бетонирование, гидроизоляция накопителей отходов).

Распространенным методом обезвреживания являются нейтрализация и обработка одних отходов другими с получением труднорастворимых соединений. Такой прием используют при обработке отходов, содержащих соединения

мышьяка, сульфидными отходами с образованием нерастворимых сульфидов мышьяка.

Используют обезвреживание особо токсичных отходов отверждением, которое включает в себя превращение токсичных компонентов в нерастворимые соединения и формирование блоков (агломератов), из которых токсичные примеси не могут выщелачиваться водой. Отверждение используется для обезвреживания отходов, содержащих тяжелые металлы, ртуть, токсичные шламы и осадки. Отверждение отходов обеспечивает их безопасное хранение на полигонах и предотвращает загрязнение грунтовых вод. Осуществляется оно добавкой вяжущих компонентов (цемента, извести), битума, парафинов, органических полимеров, силикатных материалов.

Получил распространение также метод капсулирования, когда токсичные отходы покрываются пленкой инертного материала (например, производится остекловывание). Материал капсул должен иметь высокую коррозионную стойкость в среде отходов грунтовых вод и способствовать длительному хранению на полигоне захоронения.

При захоронении отходов в глубинных горизонтах используют существующие скважины или бурят специально на глубину от нескольких сот метров до 4000 м. Закачку осуществляют ниже уровня грунтовых вод в водоносные слои рассолов, не имеющих практической ценности. При выборе места скважин учитывается геологическая характеристика поглощающего горизонта (пористость, проницаемость, герметичность и т. д.). Разрабатываются также меры по защите артезианских вод и формы контроля эксплуатации скважин.

Сжигание и пиролиз применяют для ликвидации жидких и твердых особо токсичных отходов. В этих методах достигается уменьшение объема отходов до 85 %. Для сжигания используют промышленные печи различных конструкций: камерные, шахтные, барабанные, циклонные и с псевдоожиженным слоем.

Радиоактивные отходы представляют собой самостоятельную группу отходов. Главное отличие их состоит в том, что они находятся в состоянии ядерной нестабильности и испускают ионизирующие излучения, которые дей-

ствуют на живые организмы и другие биологические материалы.

Радиоактивные отходы принято классифицировать по ряду признаков.

1. По агрегатному состоянию различают жидкие, твердые и газообразные радиоактивные отходы. К жидким отходам, помимо истинных растворов, относят коллоидные растворы, суспензии и пульпы. К газообразным, кроме собственно газов, относят аэрозоли, дымы и туманы. К твердым отходам, помимо собственно радиоактивных веществ, относят материалы, содержащие поглощенные ими радиоактивные вещества или подвергшиеся облучению с появлением у них так называемой вторичной, или наведенной, радиоактивности.

2. По уровню удельной активности радиоактивные отходы разделяют на три категории: низкой ($< 1 \cdot 10^{-5}$ Ки/л), средней (от $1 \cdot 10^{-5}$ до 1 Ки/л) и высокой (> 1 Ки/л) удельной активности. В радиохимической промышленности распространены две первые категории отходов, отходы высокой активности характерны для атомных электростанций (АЭС).

Отходы первой категории радиационно опасны только при попадании внутрь организма человека и поэтому должны быть локализованы таким образом, чтобы в результате миграции по биологическим цепям они не могли попасть в организм человека в опасных количествах. Вторая категория отходов опасна и как источник внешнего облучения.

3. По источникам происхождения различают технологические отходы радиохимических производств, имеющие сравнительно постоянные количественные и качественные характеристики (объем, состав, активность); отходы не технологические, к которым относят стоки санпропускников, стоки от дезактивации помещений и т. п.

В радиохимической технологии образуются все виды отходов: газообразные, жидкие и твердые. Радиоактивные газы и аэрозоли возникают в результате облучения газов и аэрозолей воздуха. Источником жидких радиоактивных отходов являются любые растворы, рудные пульпы, содержащие радиоактивные элементы. К твердым радиоактивным отходам относятся шламы, тара для хранения и перевозки радиоактивных веществ, подвергшиеся воздействию радио-

активного облучения, отработанные ионообменные смолы и адсорбенты.

В настоящее время разработаны технологические схемы переработки радиоактивных отходов с различной степенью активности, которые гарантируют безопасность для человека и окружающей среды.

Для очистки воздуха от радиоактивных газов и аэрозолей используются такие методы, как фильтрация на тканях из тонковолокнистых полимеров (волокна перхлорвинила 1,5–2,5 мкм) и насадочных фильтрах, абсорбция растворами, адсорбция на твердых сорбентах. Эффективность очистки газовых потоков достигает 99,9 %.

Выбор схемы переработки жидких радиоактивных отходов зависит от их удельной активности, объема и качественного состава как по радиоактивным элементам, так и по другим компонентам. Наиболее распространены такие методы, как дистилляция, осадительные методы, коагуляция и ионный обмен. Простым и надежным методом обработки жидких отходов является упаривание, позволяющее концентрировать радиоактивные вещества в небольшом объеме кубового остатка. Многократное выпаривание позволяет снизить активность жидкости на 99,9 %.

Удаление радиоактивных взвешенных веществ осуществляется коагуляцией, при которой активность жидкости уменьшается на 97–98 %.

В последние годы используются для очистки радиоактивных отходов методы электролиза, кристаллизации, флотации.

Для переработки жидких высокоактивных отходов наиболее рациональными признаны такие методы, как выпаривание, отверждение (остекловывание) и захоронение в геологические формации. Жидкие среднеактивные отходы подвергают отверждению по методу битумирования (с предварительным выпариванием растворов) и направляют на захоронение. Низкоактивные отходы обрабатываются путем химического осаждения, выпаривания и цементированья с последующим захоронением.

Пункты захоронения формируются на достаточном удалении от населенных мест на территории, не имеющей перспектив хозяйственного или другого

использования. Наиболее благоприятна для этих целей холмистая местность, так как исключается попадание радиоактивных веществ в грунтовые воды. Надежность захоронения радиоактивных отходов обеспечивается строительством «саркофагов» из железобетонных конструкций.

11. ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

11.1. Химическая переработка нефти

Нефть различных месторождений заметно отличается по фракционному составу – содержанию легких, средних и тяжелых дистиллятов. Большинство содержит 15–25 % бензиновых фракций, выкипающих до 180 °С, и 45–55 % фракций, перегоняющихся до 300–350 °С.

Основные химические элементы, входящие в состав нефти: углерод (82–87 %), водород (11–14 %), сера (0,1–7 %), азот (0,001–1,8 %), кислород (0,5–1 %).

Общее содержание алканов (парафины) достигает 30–50 %, циклоалканов (циклопарафины, нафтены) – от 25 до 75 %. Арены (ароматические углеводороды) содержатся, как правило, в меньшем количестве по сравнению с алканами и циклоалканами (10–20 %).

Соотношения между группами углеводородов придают различные свойства и оказывают влияние на выбор метода переработки нефти и номенклатуру получаемых продуктов.

Нефть является основным источником сырья для нефтеперерабатывающих заводов при получении моторных топлив, масел и мазута. Нефть и продукты ее переработки используются для синтеза полимерных материалов, пластических масс, синтетических каучуков и волокон, спиртов, растворителей и др.

В перспективе большая часть нефтепродуктов (особенно энергетических топлив) может быть замещена альтернативными энергоносителями, в то время как замена нефтяного сырья в качестве источника получения нефтехимических продуктов маловероятна. Более того, доля нефти, используемой в нефтехимических производствах, все время будет возрастать. В связи с этим происходит интеграция нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности и формирование нефтехимических комплексов,

Комбинирование нефтепереработки (первичная переработка, каталитический крекинг, риформинг) с нефтехимическими процессами (пиролиз, синтез

мономеров, производство пластмасс и др.) значительно расширяет возможности выбора оптимальных схем глубокой переработки нефти, повышает гибкость производственных систем для получения моторных топлив или нефтехимического сырья, способствует увеличению их рентабельности. В настоящее время имеется большое число процессов и их комбинаций, которые потенциально могут обеспечить глубину переработки нефти вплоть до 100 %. Выбор структуры нефтехимического комплекса зависит от регионального и общего спроса на нефтепродукты, от природы нефти, экологических факторов.

Первичная перегонка нефти

Существуют первичные и вторичные методы переработки нефти. Первичными являются процессы разделения нефти на фракции перегонкой, вторичные процессы – это деструктивная (химическая) переработка нефти и очистка нефтепродуктов (фракции перегонки различаются интервалом температур кипения компонентов).

К первичной перегонке относят процессы атмосферной перегонки нефти и вакуумной перегонки мазута. Их назначение состоит в разделении нефти на фракции для последующей их переработки или использования как товарных продуктов. Первичную перегонку осуществляют соответственно в атмосферных трубчатых (АТ) и вакуумных трубчатых (ВТ) или атмосферно-вакуумных трубчатых (АВТ) установках.

На установках АТ осуществляют неглубокую переработку нефти с получением бензиновых, керосиновых, дизельных фракций и мазута. Установки ВТ предназначены для углубления переработки нефти. Получаемые в них из мазута газойлевые, масляные фракции и гудрон используют в качестве сырья в процессах вторичной переработки нефти для производства смазочных масел, кокса, битума и других нефтепродуктов.

В табл. 15 приведен состав продуктов перегонки западносибирской нефти на установке АВТ-6 (мощность по перерабатываемому сырью 6 млн т/год).

Углеводородный газ состоит преимущественно из пропана и бутанов, которые в растворенном виде содержатся в поступающей на переработку нефти.

Пропан-бутановую фракцию используют для производства индивидуальных углеводородов на газодистилляционных установках в качестве бытового топлива.

Таблица 15

Состав продуктов перегонки нефти

Температура, ° С	Газовые фракции								Гудрон	Потери
	До 62	62–85	85–120	120–140	140–180	180–240	240–350	350–460		
Доля, %	4,1	2,1	4,5	3,0	6,0	9,5	19,0	21,0	28,4	1,0

Бензиновые фракции (62–180 °С) служат сырьем во вторичных процессах изомеризации, каталитического риформинга с целью производства индивидуальных ароматических углеводородов (бензола, толуола, ксилолов), высокооктановых компонентов автомобильных и авиационных бензинов. Эти фракции применяют в качестве сырья при получении этилена пиролизом.

Керосиновые фракции (120–240 °С) используются как топливо для реактивных двигателей в виде осветленного керосина и для производства лаков и красок.

Дизельные фракции (140–340 °С) служат дизельным топливом и сырьем для получения жидких парафинов депарафинизацией.

Мазут – остаток атмосферной перегонки нефти – используется как котельное топливо и в качестве сырья во вторичных процессах переработки (каталитический крекинг, гидрокрекинг).

Гудрон – остаток вакуумной переработки мазута – подвергается деасфальтизации, коксованию с целью углубления переработки нефти и используется в производстве битума.

В последнее время нефть перерабатывается на комбинированных установках, сочетающих процессы первичной перегонки нефти с термическими и каталитическими процессами. Комбинированные установки требуют меньших капиталовложений, чем отдельные установки эквивалентной мощности. Они экономичнее и по эксплуатационным затратам, так как более рационально ис-

пользуют тепло потоков и вследствие этого расходуют меньше первичного тепла, воды и электроэнергии. В отечественных установках ЛК-6У комбинируется перегонка нефти с гидроочисткой, каталитическим риформингом и газофракционированием. Мощность этих установок по переработке нефти составляет 6 млн т/год.

11.2. Каталитический риформинг углеводородов

Основные цели каталитического риформинга углеводородов в нефтехимическом комплексе следующие:

- 1) переработка низкооктановых бензиновых фракций в высокооктановые компоненты бензина;
- 2) переработка бензиновых фракций в ароматические углеводороды (бензол, толуол, этилбензол, изомеры ксилола).

Каталитический риформинг проводят в среде водорода при высоких температурах (480–530 °С), сравнительно низких давлениях (2–4 МПа) и с применением специальных катализаторов. В процессе образуется избыточное количество водорода, которое выводится в виде водородсодержащего газа (до 80 % H₂) и используется для процессов гидрирования.

Каталитический риформинг – сложный химический процесс, в котором протекают реакции, приводящие к образованию ароматических углеводородов:

- дегидрирование шестичленных нафтенов;
- дегидроизомеризация пятичленных нафтенов;
- дегидроциклизация (ароматизация) парафинов;
- изомеризация парафинов и ароматических углеводородов.

Основные реакции каталитического риформинга – дегидрирование нафтенов и дегидроциклизация парафинов протекают со значительным тепловым эффектом. Теплота дегидрирования метилциклогексана в толуол при рабочей температуре 800 К составляет 2212 кДж/кг, а дегидрирования н-гептана в толуол – 2539 кДж/кг.

Основные реакции ароматизации в процессе риформинга сопровождаются изомеризацией и гидрокрекингом углеводородов. Теплота реакций изомеризации невелика, а гидрокрекинг протекает с выделением тепла, которое частично компенсирует эндотермический эффект основных реакций риформинга.

Реакции ароматизации являются высокотемпературными. Температура процесса риформинга зависит от применяемого катализатора и достигает 740–800 К.

Исходя из термодинамики, в процессе риформинга повышение давления препятствует ароматизации сырья. Однако высокое давление водорода оказывается необходимым для насыщения непредельных углеводородов в побочных реакциях крекинга. В случае низкого парциального давления водорода на поверхности катализатора происходит уплотнение ненасыщенных углеводородов с образованием кокса. Повышенное давление и избыток водорода в процессе препятствуют коксообразованию. Высокое парциальное давление водорода достигается циркуляцией водородсодержащего газа, получаемого в ходе риформинга.

Мольные соотношения циркулирующего водородсодержащего газа и жидкофазного углеводородного сырья находятся в пределах от 6:1 до 10:1. Увеличение содержания водорода за счет повышения кратности циркуляции повышает расход энергии на компримирование циркулирующего газа и расход топлива в трубчатой печи для подогрева этого газа. Оптимальная концентрация водорода в циркулирующем газе составляет 80–90 % (об.).

В каталитическом риформинге применяют гетерогенные бифункциональные катализаторы. Эти катализаторы содержат металлы (платину, платину и рений, платину и иридий), которые катализируют реакции дегидрирования и гидрирования. Носителем катализаторов служит промотированный галогенами оксид алюминия, обладающий кислотными свойствами и катализирующий реакции изомеризации и крекинга углеводородов. На катализаторах риформинга протекают также реакции дегидроциклизации парафиновых углеводородов.

В отечественной промышленности используют алюмоплатиновые катализаторы АП-56 и АП-64, которые содержат соответственно 0,65 % и 0,64 % платины, нанесенной на γ - Al_2O_3 .

Каталитический риформинг, основные реакции которого эндотермические, осуществляют в адиабатических реакторах. Реакторный блок промышленных установок риформинга обычно состоит из трех или четырех последовательно работающих реакторов с промежуточным подогревом парогазовой смеси в печи. Работа установки характеризуется следующими показателями:

– катализатор	АП-64
– температура на входе в реактор, ° С	480
– перепад температуры в реакторе, град	60
– давление, МПа	3,5
– объемная скорость, ч-1	1,5
– кратность циркуляции	1800
– содержание нафтенов в сырье, % (масс.)	36
– выход катализата, % (масс.)	77
– содержание ароматических углеводородов в катализате, % (масс.)	64

На установках риформинга с производительностью по бензолу 600 тыс. т в год адиабатический реактор с аксиальным проходом реакционной смеси имеет внутренний диаметр корпуса 3 м и высоту 9,4 м. Корпус изготовлен из углеродистой стали, внутренняя футеровка толщиной 0,15 м выполнена из жароупорного торкрет-бетона. Перепад давлений достигает 1,6 МПа. Для установок мощностью 1 млн т сырья в год снижение гидравлического сопротивления достигается использованием реакторов с цилиндрическим слоем катализатора и радиальным ходом газа. По мере работы катализатор в реакторе риформинга дезактивируется продуктами уплотнения (коксом), поэтому периодически проводится его окислительная регенерация.

В установках риформинга применяют печи различной конструкции. Наибольшей эффективностью обладают вертикальные печи с двухсторонним облучением змеевика. Циркуляцию водородсодержащего газа осуществляют с по-

мощью центробежных компрессоров с приводом от электродвигателя или паровой турбины.

Катализат процесса риформинга перерабатывают по схеме нефтехимического комплекса по двум альтернативным вариантам:

- получение автомобильного бензина;
- получение ароматических углеводородов.

При получении автомобильного бензина дополнительно проводится стабилизация бензина, связанная с удалением газов – пропана и бутана. Во втором варианте ароматические углеводороды выделяют из катализата избирательными растворителями. Наиболее часто применяют для этой цели диэтиленгликоль, триэтиленгликоль и сульфолан. В последнее время используют N-метилпирролидол, который обладает повышенной избирательностью и позволяет получить ароматические углеводороды повышенной концентрации. Освобожденная от растворителя неароматическая часть катализата называется рафинатом и представлена смесью парафиновых углеводородов нормального и изостроения: изопарафины – 51,7 %, n-парафины – 36,5 %, нафтены – 10,7 %, ароматические углеводороды – 1,1 %. Рафинат используют как сырье процесса пиролиза в производстве олефинов или при получении растворителей для различных отраслей народного хозяйства.

Смесь ароматических углеводородов разделяют ректификацией с получением товарного бензола, толуола, этилбензола и о-ксилола. Изомеры *m*- и *n*-ксилола разделить ректификацией практически невозможно, поэтому используют значительную разницу в их температуре замерзания (соответственно, –47,9 °С и +13,3 °С) для их разделения низкотемпературной кристаллизацией. Технологическая схема довольно сложная, а использование холода существенно удорожает разделение изомеров ксилола. В последнее время низкотемпературная кристаллизация заменена на десорбционное разделение на цеолитах.

В промышленности реализован процесс, именуемый «Парекс», который осуществляется в адсорбере с неподвижным слоем цеолита при 150–180 °С и

давлении 0,8–1,0 МПа. Коэффициент разделения *n*- и *m*-ксилола на цеолитах равен 3,75, что подтверждает большую способность к адсорбции *n*-ксилола.

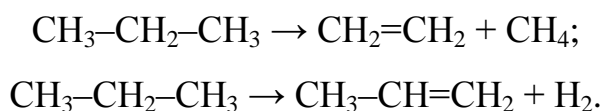
В качестве десорбента в процессе «Парекс» используют *n*-диэтилбензол. Экстракт, полученный после десорбции, представляет собой смесь *n*-ксилола и десорбента – *n*-диэтилбензола; *n*-ксилол ($T = 138\text{ }^{\circ}\text{C}$) легко отгоняется от *n*-диэтилбензола ($T_{\text{кип}} = 183,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) вследствие значительной разности температур кипения этих углеводородов. Десорбент циркулирует в замкнутом контуре: десорбция – отгонка – десорбция.

11.3. Производство низших олефинов пиролизом углеводородов

Низшие олефины (этилен и пропилен) занимают ведущее место по потреблению в нефтехимическом синтезе. Наиболее многотоннажным является производство этилена, за ним следуют пропилен, бутилены. На основе этилена производят этиловый спирт, полиэтилен, стирол, винилхлорид, этиленхлорид и др. Пропилен служит исходным сырьем в производстве изопропилового спирта, акрилонитрила, полипропилена, глицерина, изопропилбензола, *n*-бутилового спирта.

В настоящее время основным процессом получения низших олефинов является пиролиз углеводородного сырья, проводимый с целью производства этилена. Одновременно при пиролизе получают другие олефины – пропилен, бутилены и бутadiен. В этом процессе образуются жидкие продукты (смола пиролиза), которые содержат такие ценные углеводороды, как изопрен, циклопентадиен, бензол, толуол, ксилолы, стирол и нафталин.

Пиролиз представляет собой процесс глубокого расщепления углеводородного сырья под воздействием высоких температур. Парафиновые, нафтеновые и высшие олефиновые углеводороды термодинамически нестабильны при повышенных температурах. Первичные реакции расщепления парафинов могут идти в двух направлениях: разрыв цепи по связи С–С с образованием непредельного и предельного углеводородов; дегидрирование (разрыв связей С–Н). Применительно к пропану можно записать реакции образования олефинов:



Первое направление реакций термодинамически более вероятно, поскольку энергия разрыва связи С–С меньше, чем связи.

Реакции по обоим направлениям протекают с поглощением тепла и увеличением объема. Следовательно, им благоприятствуют высокие температуры и низкие давления. Понижение парциального давления углеводородов в процессе пиролиза достигается разбавлением исходного сырья водяным паром.

Вторичные реакции, протекающие при пиролизе, весьма многочисленны: изомеризация парафиновых цепей, нафтеновых циклов и алкильных групп алкилароматических углеводородов; циклизация и дегидроциклизация олефинов с шестью и более атомами углерода; циклизация диенов; полимеризация олефинов и диенов; конденсация ароматических углеводородов. В результате всех этих реакций образуются многочисленные ценные вещества, входящие в состав пиролизной смолы. Вторичные реакции в противоположность реакциям расщепления идут с выделением тепла и уменьшением объема, поэтому их протеканию благоприятствуют повышение давления и сравнительно невысокие температуры. Кроме указанных продуктов, при пиролизе образуются продукты уплотнения – кокс. Для снижения коксобразования пиролиз проводят с добавлением водяного пара.

Химико-технологическая система получения этилена включает следующие подсистемы (установки):

- пиролиз углеводородов;
- компримирование газа пиролиза;
- удаление тяжелых углеводородов;
- осушка газа пиролиза на цеолитах;
- разделение газа пиролиза (фракционирование);
- удаление сероводорода, диоксида углерода и ацетилена из газа пиролиза.

В настоящее время в качестве сырья пиролиза наиболее часто используют прямогонный бензин и бензин-рафинат. Условия проведения процесса и выходы продуктов пиролиза бензинов при наиболее благоприятных режимах приведены в табл. 16.

Таблица 16

Условия проведения процесса и состав продуктов пиролиза бензинов

Показатель	Прямогонный бен-	Бензин-рафинат
Интервал выкипания сырья, °С	52–163	58–126
Температура пиролиза, °С	840	830
Разбавление водяным паром, %	50	50
Продолжительность реакции, с	0,48	0,6
Выход, % (масс.)		
H ₂	1,1	1,0
CH ₂	15,4	13,7
C ₂ H ₂	0,4	0,4
C ₂ H ₄	26,3	26,4
C ₂ H ₆	3,8	3,1
C ₃ H ₄	0,6	0,4
C ₃ H ₆	16,1	15,2
C ₃ H ₈	0,5	0,5
C ₄ H ₆	4,6	3,8
C ₄ H ₈	4,6	7,0
C ₄ H ₁₀		0,1
Продукты глубокого распада и уплотнения (пиролизная смола), % (масс.)	26,6	28,4

Бензин и рециркулирующий этан поступают на пиролиз. Продукты пиролиза (пирогаз) направляются на стадию первичного фракционирования, где легкая и тяжелая смолы отделяются от газа пиролиза. Последний направляется на компримирование. Газ пиролиза очищают от сероводорода и диоксида углерода, одновременно отделяются тяжелые фракции (C₅ и выше). После осушки

газ пиролиза поступает на разделение. В современных установках перед разделением газ подвергают глубокому охлаждению и выделяют водород и метан. Этан-этиленовая фракция подвергается очистке от ацетиленов методом селективного гидрирования и разделения на этилен с концентрацией 99,9 % и этан. Этан возвращается на пиролиз.

Пропан-пропиленовая фракция подвергается разделению на пропан и пропилен. Пропан направляется на пиролиз или на получение сжиженного бытового газа, а пропилен с концентрацией 99,9 % поступает на производство полипропилена или других нефтехимических продуктов,

Фракция C_4 направляется на специальные установки для выделения бутиленов и бутадиена.

При пиролизе бензинов образуется до 20–30 % жидких продуктов (смолы пиролиза). На установках мощностью 300 тыс. т/год этилена (ЭП-300) жидких продуктов получается до 250–300 тыс. т/год. Вследствие этого их нельзя рассматривать как отход и важно комплексно использовать для получения ценных продуктов. В настоящее время пиролиз рассматривается как один из основных источников бензола, ксилолов, циклопентадиена, циклопентена, изопрена, стирола, нафталина, нефтеполимерных смол, сырья для производства технического углерода, растворителей. Получение ряда химических продуктов из смолы пиролиза успешно конкурирует с традиционными процессами их получения.

В настоящее время в нашей стране около 20 % бензола вырабатывается из смолы пиролиза. Себестоимость пиролизного бензола в 1,3–1,5 раза ниже, чем при получении его каталитическим риформингом. За счет этого себестоимость этилена также снижается на 20–30 %.

Легкая фракция смолы пиролиза (температура кипения менее 70 °С) содержит до 30 % циклопентадиена и 10 % изопрена. Тяжелая смола (температура кипения более 190 °С) в своем составе имеет нафталин и конденсированные ароматические углеводороды. Смолу пиролиза разделяют на фракции, каждая из которых затем подвергается переработке. Из фракции до 70 °С извлекают изопрен и циклопентадиен; фракция 70–130 °С гидрируется, после чего из нее

выделяют бензол, в том числе бензол, образовавшийся при гидродеалкилировании толуола. Из фракции 130–190 °С после предварительного гидрирования выделяют ксилолы и сольвинит. Из этой же фракции получают и светлые полимерные смолы, которые применяются для лаковых покрытий. Из тяжелой смолы можно выделить нафталин, получить мягчители для резины.

Пиролиз углеводородов осуществляют в трубчатых печах, представляющих собой змеевиковые реакторы с внешним обогревом. Установка пиролиза включает печной блок, состоящий из печей пиролиза бензина и этана, закалоч-но-испарительных аппаратов (ЗИА), узла до закалки (дополнительное быстрое охлаждение) пиролиза циркулирующим котельным топливом в теплообменнике. Принципиальная схема печного блока представлена на рис. 22.

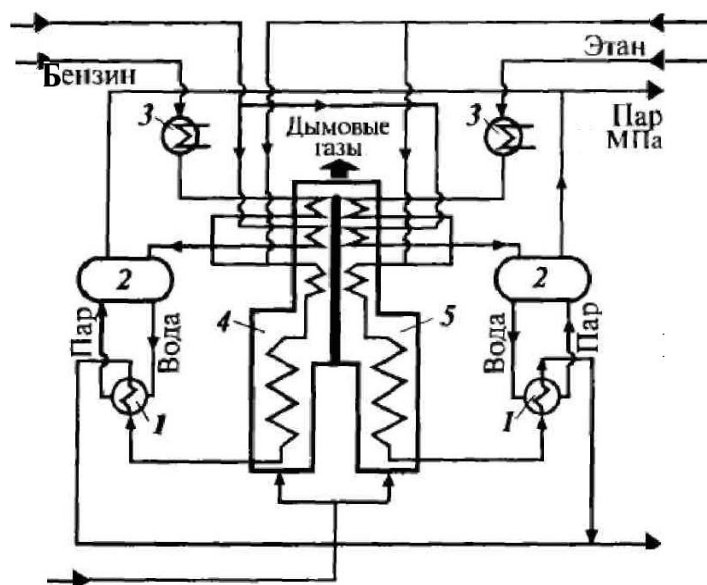


Рис. 22. Схема печного блока пиролиза бензина: 1 – закалоч-но-испарительные аппараты; 2 – паросборники; 3 – теплообменники; 4 – печь пиролиза бензина; 5 – печь пиролиза этана

Бензин из сырьевых емкостей подается в теплообменник 3, где подогревается потоком циркулирующего котельного топлива до 120 °С. Подогретое сырье поступает в змеевики верхней низкотемпературной зоны конвекции печи 4, где оно нагревается до 157 °С и частично испаряется. На выходе из верхней конвекционной зоны бензин смешивается с водяным паром (паром разбавления), смесь с температурой 185 °С поступает в зону высокотемпературной кон-

векции, где нагревается до 545 °С и затем направляется в зону радиации, где осуществляется пиролиз при 830–850 °С.

Этановая фракция, выделяемая из продуктов пиролиза в отделении газоразделения, подогревается в теплообменнике 3 водяным паром до 60 °С и поступает на пиролиз в печь 5, где смешивается с водяным паром разбавления. Количество пара разбавления составляет 50–60 % от расхода бензина и 30–40 % от расхода этана.

Современное производство этилена ЭП-300 включает 16 печей для пиролиза бензина и две печи для пиролиза этана. Печи объединены по две общим газоходом и дымовой трубой. Каждая печь имеет свою систему утилизации тепла дымовых газов и пирогаза, состоящую из экономайзера, двух закалочно-испарительных аппаратов 1 и двух паросборников 2. В ЗИА происходит закалка и охлаждение пирогаза до 350–450 °С. За счет утилизации тепла пирогаза в них вырабатывается водяной пар высокого давления (12 МПа).

Дальнейшее охлаждение пирогаза до 180 °С осуществляется в узле дозакалки при впрыске циркулирующего котельного продукта. Дозакалка проводится в смесителе непосредственно перед колонной фракционирования.

Питательная вода для ЗИА с установки химической подготовки поступает в конвекционную секцию пароперегревателя, где нагревается до 190 °С. Затем она подается в конвекционную секцию печей пиролиза и с температурой 330 °С поступает в барабан-паросборник, откуда вода поступает в ЗИА, а водяной пар с давлением 12 МПа – в радиантную секцию пароперегревателя, обогреваемую (облучаемую) непосредственно горелками, где перегревается до 540 °С, и далее – в заводской коллектор. Вырабатываемый пар используется для привода паровых турбин компрессоров пирогаза.

Печи пиролиза бензина установок ЗП-300 – четырехпоточные с вертикальным однорядным расположением змеевика двухстороннего облучения. Каждый змеевик состоит из восьми труб диаметром 125 и толщиной стенки 95 мм, общая его длина – 75 м. Материал труб – сталь Х25Н20, максимально допустимая температура стенки – 1040 °С. Производительность печи по бензи-

ну – 10,5 т/ч, теплопроизводительность печи – 62,5 ГДж/ч, в том числе радиантной секции – 29 ГДж/ч.

Экономичность этиленового производства в большой степени зависит от тепловой эффективности пиролизной установки, основными процессами в которой являются пиролиз и охлаждение пирогаза.

Тепловые затраты на пиролиз включают в себя подогрев сырья и воды от температуры окружающей среды до кипения, испарение их, нагрев парогазовой смеси до конечной температуры (температура пиролиза) и эндотермическое расщепление углеводородов. Реакция разложения углеводородов имеет тепловой эффект 1000–2500 кДж/кг сырья в зависимости от состава и глубины разложения. Общие затраты тепла составляют 3800–6300 кДж/кг сырья.

В процессе пиролиза полезным является только тепло, идущее на компенсацию эндотермического эффекта реакций разложения. Следовательно, тепловой КПД процесса (η) можно выразить так:

$$\eta = \frac{Q_p}{Q} = \frac{Q_p}{Q_p + Q_c + Q_v}, \quad (15)$$

где Q – общее количество тепла, подведенное в процессе; Q_p – теплота разложения углеводородов; Q_c – тепло, идущее на нагрев сырья; Q_v – тепло, расходуемое на нагрев воды, ее испарение и перегрев водяного пара. Значение Q зависит от вида сырья, температуры процесса и разбавления паром.

С ростом температуры пиролиза и количества разбавительного пара увеличивается удельный расход тепла. Это приводит к снижению теплового КПД процесса, что подтверждают данные табл. 17.

Таблица 17

Тепловой КПД процесса пиролиза бензина

Температура пиролиза, °С	Значения η при разбавлении паром (% масс.)			
	20	40	60	80
750	30,0	25,0	22,0	19,0
800	28,5	24,0	21,0	18,5
850	27,0	23,0	20,0	17,0

Тепловая эффективность процесса пиролиза зависит от использования

тепла (регенерации) пирогаза после трубчатой печи. В данном случае тепло пирогаза представляет собой вторичные энергетические ресурсы установки. В общем виде КПД установки ($\eta_{уст}$) можно представить следующим образом:

$$\eta_{уст} = \frac{Q_p + Q_{рег}}{Q_{общ}}, \quad (16)$$

где $Q_{рег}$ – регенерированное тепло;

$Q_{общ}$ – суммарное тепло, затраченное на нагрев всех технологических потоков установки.

Проведенный анализ тепловой схемы пиролизной установки показывает, что из подведенного тепла (7750 кДж) в печи пиролиза полезно используется 16 %, в закально-испарительном аппарате – 28 %, в котле-утилизаторе – 9 %, в масляном теплообменнике – 10 %, а 37 % тепла теряется в основном с пирогазом и дымовыми газами, а также на излучение в окружающую среду. Утилизация тепла вторичных энергоресурсов увеличивает КПД установки пиролиза в 4 раза.

Регенерация тепла позволяет получить $\eta_{уст} = 25...70$ % в зависимости от сырья и степени утилизации вторичных энергоресурсов.

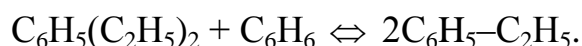
11.4. Производство этилбензола и диэтилбензола

Этилбензол ($C_6H_5C_2H_5$) используют в промышленности в основном как сырье для синтеза стирола. Большую часть этилбензола получают алкилированием бензола этиленом и значительно меньшее его количество выделяют сверхчеткой ректификацией из продуктов риформинга прямогонного бензина.

Реакция алкилирования может протекать как в газовой, так и в жидкой фазах. В настоящее время наиболее широко распространен жидкофазный процесс с хлоридом алюминия в качестве катализатора. Катализатор готовят отдельно растворением хлорида алюминия в бензоле при добавлении хлороводорода или хлорэтила (промоторы). Образуется катализаторный комплекс, который затем взаимодействует с этиленом. Катализаторный комплекс готовят в отдельном аппарате и периодически вводят в реактор алкилирования.

Алкилирование осложнено побочными реакциями (крекинг, полимеризация). В результате образуется смесь моно-, ди-, три-, тетра- и более алкилированных этилбензолов. Выбирая оптимальное соотношение бензола и этилена в исходном сырьевом потоке, можно получить максимальный выход моноэтилбензола, однако совсем исключить образование полиэтилбензолов нельзя.

Реакция алкилирования обратима, поэтому полиалкилбензолы под влиянием хлорида алюминия реагируют с бензолом, образуя этилбензол:



Эта реакция переалкилирования позволяет фактически всему этилену и бензолу, поступившим в реактор, превратиться в этилбензол. Равновесные содержания алкилбензолов представлены в табл. 16.

Таблица 18

**Термодинамически равновесный состав реакционной массы
в процессе алкилирования бензола этиленом**

Мольное соотношение $C_2H_4:C_6H_6$	Содержание в алкилате, %				
	бензола	этил- бензола	диэтил- бензола	триэтил- бензола	тетраэтил- бензола
0,2:1	75,6	22,9	1,5	0,02	–
0,4:1	56,0	38,0	5,7	0,20	–
0,6:1	40,6	46,8	11,9	0,72	0,02
0,8:1	28,6	50,1	19,4	1,77	0,09
1,0:1	19,6	49,3	27,3	3,57	0,25

На процессы алкилирования и переалкилирования оказывают влияние такие главные факторы, как концентрация катализатора (хлорида алюминия), концентрация промотора (HCl), температура, время контакта, мольное соотношение этилена и бензола, давление.

Процесс алкилирования бензола этиленом проводится в полном реакторе колонного типа в режиме барботажа (рис. 23). Одновременно с алкилированием осуществляется и реакция переалкилирования полиэтилбензолов. В реактор вводятся потоки бензола, полиэтилбензолов, свежего и рециркулирующего ка-

тализаторного комплекса, газообразного олефина. Отвод теплоты реакции осуществляют за счет испарения бензола в реакторе и отвода его паров с последующей конденсацией и рециркуляцией. Температура процесса составляет 80–130 °С, и ее поддерживают регулированием давления в реакторе (0,1–0,6 МПа), от него зависит температура испарения.

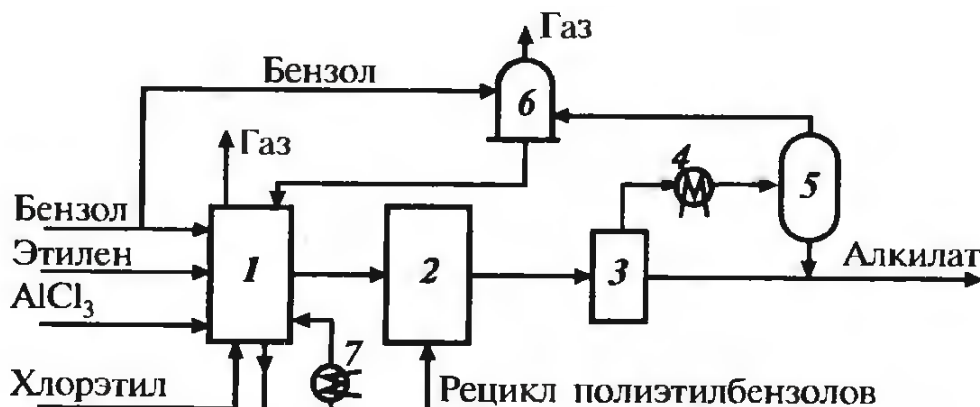


Рис. 23. Схема высокотемпературного гомогенного алкилирования бензола этиленом:

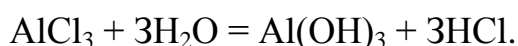
- 1 – реактор алкилирования; 2 – реактор переалкилирования; 3 – испаритель,
4 – конденсатор; 5 – сепаратор; 6 – абсорбер; 7 – котел-утилизатор (парогенератор)

Показанный в реакции катализаторный комплекс частично растворен в реакционной смеси и присутствует также в виде отдельной фазы. В ней образуются более сложные комплексы, не активные в реакции алкилирования. При недостаточно интенсивном перемешивании фазы катализаторного комплекса и реакционной смеси могут расслаиваться в реакторе (комплекс почти вдвое тяжелее алкилата), что отрицательно сказывается на процессе – ухудшается растворение активной части комплекса в реакционной смеси, большая часть активного комплекса переходит в неактивный, накапливаются полимерные образования. Поэтому барботаж этилена как способ перемешивания должен быть организован таким образом, чтобы исключить застойные зоны в реакторе и обеспечить хорошее растворение активной части катализатора в реакционной смеси.

Время контакта в реакторе при заданной температуре определяется скоростью наиболее медленного процесса – переалкилирования. При 130 °С оно составляет около 60 мин. В этих условиях обеспечивается полная конверсия

этилена и достигается равновесный состав реакционной смеси, который зависит от исходного соотношения олефин : бензол. Обычно используют мольное соотношение олефин : бензол – 1:(2–3). При этом реакционная масса имеет состав [% (масс.)]: бензол – 45–56; этилбензол – 36–41; полиалкилбензолы – 8–12. Расход бензола на тонну этилбензола составляет 0,8 т, этилена – 0,26 т, хлорида алюминия – 4–6 кг. Съем этилбензола с единицы реакционного объема достигает 200 кг/(м³·ч).

При рециркуляции катализаторного комплекса происходит снижение его активности ввиду накопления тяжелых углеводородов и смол. Это не только снижает выход этилбензола, но и повышает расход катализатора AlCl₃. В результате с установки вынуждены выводить большое количество катализаторного комплекса. Отводимый из системы отработанный катализаторный комплекс разлагают водой:



Углеводородный слой, образовавшийся после обработки катализаторного комплекса водой, смешивают с кислым алкилатом и направляют на разделение продуктов, а водный слой выводят из системы.

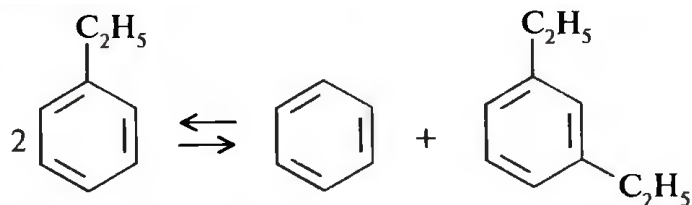
Обработка продуктов реакции описанным способом приводит к образованию большого количества сточных вод (10–12 м³ на 1 т этилбензола). Кроме того, образовавшийся хлороводород вызывает коррозию аппаратуры и трубопроводов и приводит к необходимости использования дорогостоящих сплавов.

Для очистки сточных вод сначала проводят отправку органических примесей, затем добавляют к воде известковое молоко и полиакриламид. Коагулированный осадок обезвоживают на фильтр-прессах и передают на утилизацию. Осветленную воду выводят на установку биохимической очистки или передают на восполнение потерь воды в других производствах (например, в производстве стирола).

Разделение алкилата осуществляют на трехколонном ректификационном агрегате. Первая колонна, предназначенная для отгонки бензола, имеет около 20 тарелок и работает при атмосферном давлении. Во второй колонне (60 тарелок)

лок) получается концентрированный этилбензол (99,8 %). Третья колонна служит для отделения полиалкилбензолов от смолы, она снабжена 40–50 тарелками и работает при остаточном давлении 5,3 кПа (40 мм рт. ст.).

Диэтилбензол $C_6H_4(C_2H_5)_2$ получают диспропорционированием этилбензола:

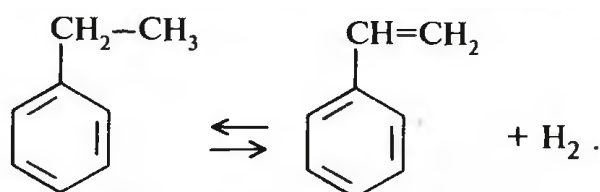


Положение второй метильной группы в диэтилбензоле показано в скобках, так как образуется равновесная смесь изомеров: *o*-, *m*- и *n*-диэтилбензола в соотношении при 400 К 0,28:0,51:0,21. Равновесное превращение диэтилбензола равно 0,37. Образуются также полиалкилбензолы.

11.5. Производство стирола

Стирол $C_6H_5CH=CH_2$ – один из важнейших продуктов нефтехимии, сырье для получения полимеров (полистирол, синтетический каучук) и сополимеров (ударопрочный полистирол на основе акрилонитрила и бутадиена). Производство стирола – крупнотоннажное, единичная мощность современных агрегатов составляет 150–300 тыс. т стирола в год. Основным промышленным способом производства стирола является в настоящее время дегидрирование этилбензола. Перспективным может быть получение стирола из фракции C_8 пиролизной смолы.

Дегидрирование этилбензола в стирол протекает по реакции:



Реакция эндотермическая и протекает с увеличением объема. Соответственно с повышением температуры и снижением парциального давления углеводорода увеличивается степень превращения этилбензола в стирол. При дав-

лении 0,1 МПа эта зависимость выглядит так:

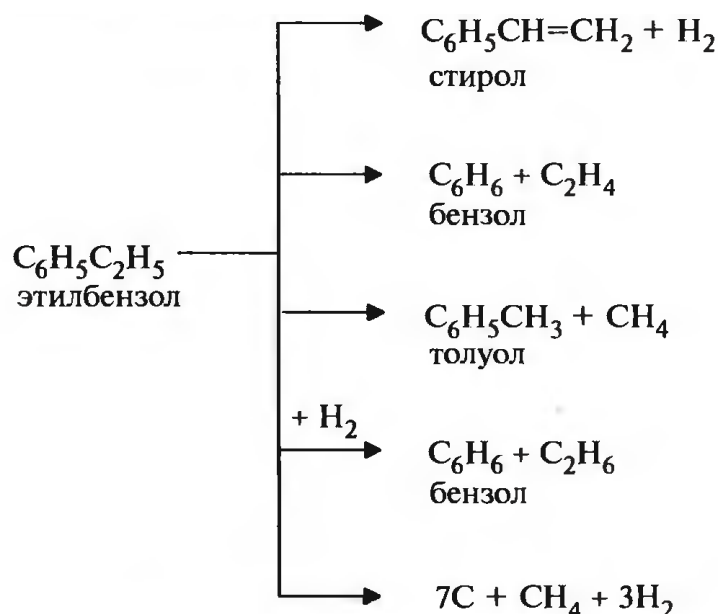
Температура дегидрирования, К	700	800	900	1000
Равновесная степень превращения	0,55	0,21	0,53	0,83

Для увеличения глубины превращения сырье разбавляют водяным паром, что эквивалентно снижению давления реагирующей смеси. Так, при 900 К равновесная степень дегидрирования этилбензола в стирол в зависимости от разбавления водяным паром возрастает следующим образом:

Мольное соотношение $\text{H}_2\text{O} : \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$	0	5	10	20
Равновесная степень дегидрирования	0,53	0,77	0,85	0,90

В промышленности используют разбавление водяным паром в соотношении пар : газ = (15–20):1 и реакцию проводят при температуре 830–900 К.

Катализаторы готовят на основе оксида железа с добавками калия и хрома. На них протекают также побочные превращения, так что реакцию дегидрирования можно представить такой схемой:



Избирательность по стирулу составляет около 98 %. Кроме реакции распада, на катализаторе образуются углистые отложения. Водяной пар, подаваемый на разбавление, не только сдвигает равновесие, но и газифицирует углистые отложения на поверхности катализатора. Протекает непрерывная регенерация катализатора, и срок его службы составляет 1,5–2 года.

На рис. 24 приведена технологическая схема дегидрирования этилбензола.

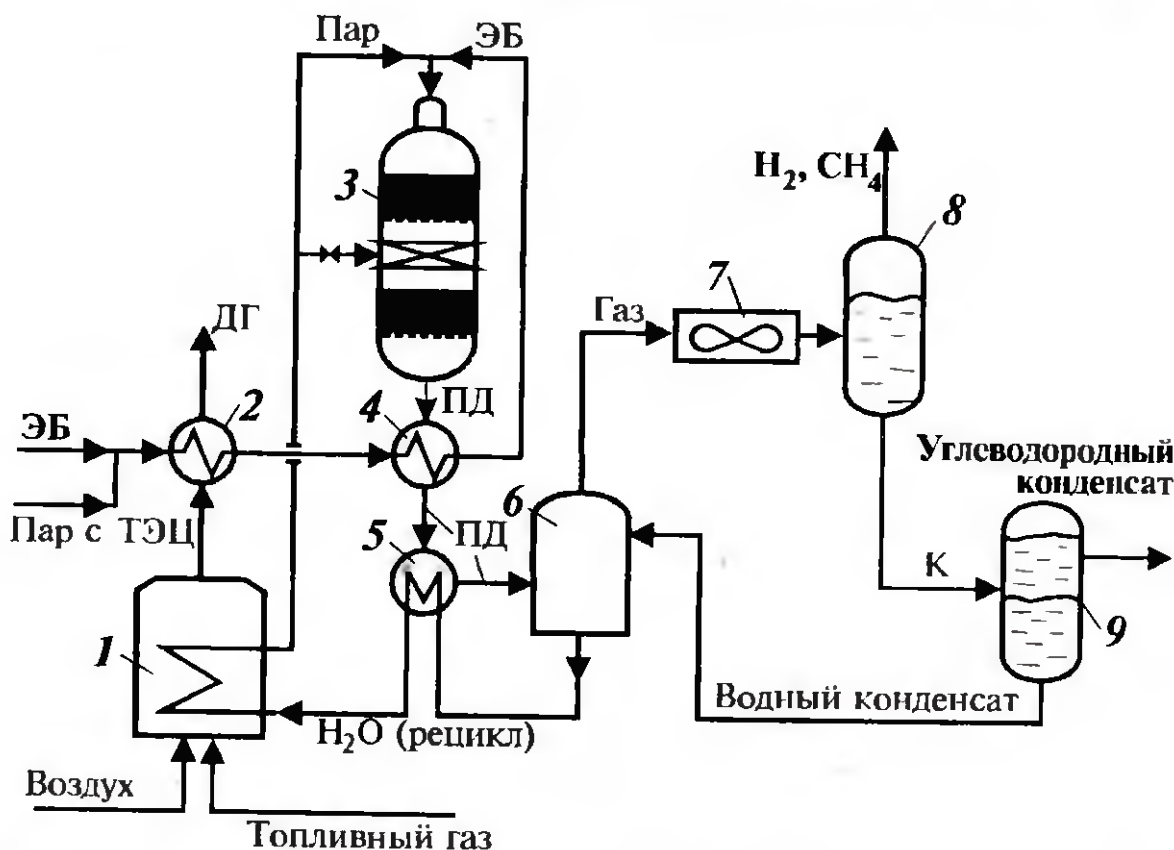


Рис. 24. Схема дегидрирования этилбензола в стирол: 1 – паронагревательная печь; 2 – испаритель этилбензола; 3 – реактор дегидрирования; 4 – подогреватель этилбензола; 5 – подогреватель воды; 6 – пенный аппарат; 7 – воздушный холодильник; 8 – сепаратор; 9 – разделитель фаз. Потoki: ЭБ – этилбензол (свежий и рецикл); H_2 , CH_4 – горючие газы в топливную сеть; ДГ – дымовые газы; К – конденсат; ПД – продукты дегидрирования

Исходный этилбензол смешивается с рецикловым с установки ректификации и с водяным паром и испаряется в теплообменнике 2. Пары перегреваются в теплообменнике 4 до 500–520 °С. Испаритель 2 обогревается дымовыми газами, а перегреватель 4 – контактным газом, выходящим из реактора 3. Пары алкилбензола и воды смешивают перед реактором с перегретым водяным паром с температурой 700–730 °С. Перегретый пар генерируется в пароперегревательной печи 1, где сжигаются топливо из заводской сети и водородсодержащий газ из отделения дегидрирования.

Температура смеси на входе в слой катализатора 600–640 °С, на выходе она понижается на 50–60 °С вследствие протекания эндотермической реакции дегидрирования. Тепло контактных газов последовательно рекуперировано в

теплообменнике **4** и котле-утилизаторе **5**. Насыщенный водяной пар из котла-утилизатора используется для разбавления этилбензола. Контактный газ поступает в пенный аппарат **6**, где дополнительно охлаждается до 102 °С и очищается от катализаторной пыли. Охлаждение и конденсация воды и углеводородов из контактного газа проходит в воздушном холодильнике **7** и далее – в водяном и рассольном конденсаторах (на схеме не показаны). В сепараторе **8** отделяются газообразные продукты реакции как горючие ВЭР. Углеводороды отделяют от воды в разделителе фаз **9** и направляют на ректификацию. Водный слой поступает в пенный аппарат **6** и после очистки от растворенных углеводородов (она не показана) подается на питание котла-утилизатора **5** и далее – в рецикл. Избытки воды направляют на биологическую очистку.

Углеводородный конденсат содержит следующие продукты реакции:

Продукты	Содержание, %	T _{кип.} , °С
Бензол (Б)	~2	80,1
Толуол (Т)	~2	110,6
Этилбензол (ЭБ)	38	136,2
Стирол (Ст)	58	146,0

В промышленных агрегатах дегидрирования этилбензола тепловой КПД, как правило, не превышает 28–33 %. Анализ показывает, что главная причина низкой тепловой эффективности связана с отсутствием рекуперации тепла низкотемпературного контактного газа. Действительно, в традиционных схемах теплота конденсации паров воды и углеводородов не используется и теряется в окружающую среду с потоком воздуха в воздушных конденсаторах и с оборотной водой. Распределение тепловых потоков в агрегате дегидрирования этилбензола (рис. 25) подтверждает, что значительная доля подведенного с топливом тепла теряется в окружающую среду при охлаждении и конденсации контактного газа в холодильнике-конденсаторе **7** и сепараторе **8**.

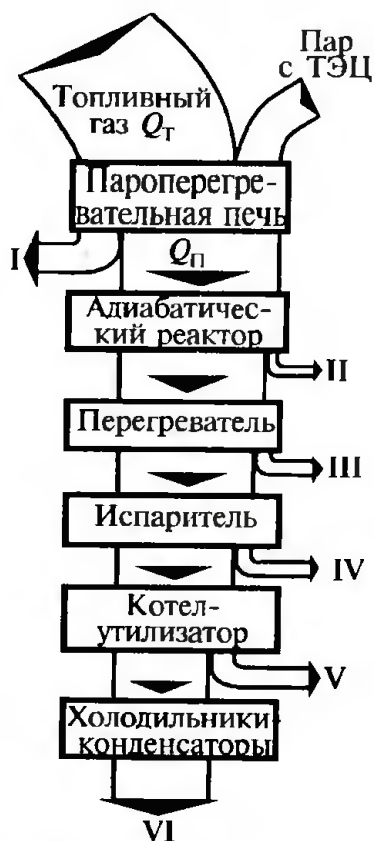


Рис. 25. Диаграмма тепловых потоков в агрегате дегидрирования этилбензола: I – потери с дымовыми газами пароперегревательной печи; II – компенсация эндотермической реакции дегидрирования; III – нагрев этилбензольной шихты; IV – генерирование водяного пара; V – генерирование водяного пара; VI – потери с охлаждающим воздухом и хладагентом

Значительно улучшить использование энергетического потенциала процесса можно в энерготехнологической системе. Как отмечено выше, разбавление этилбензола водяным паром преследует две цели: сдвинуть равновесие реакции вправо и создать условия непрерывной регенерации катализатора. Сам же водяной пар в реакции не участвует; его приходится получать испарением воды и потом отделять от продуктов реакции конденсацией. Несмотря на регенерацию тепла потоков, испарение и нагрев, охлаждение и конденсация – процессы в производстве термодинамически необратимые, и энергетический потенциал используется далеко не полностью.

Такое же влияние на процесс, как и водяной пар, может оказать и другой компонент, например CO_2 . Он инертен в реакции, т. е. может быть разбавителем, и способствует регенерации катализатора, взаимодействуя с углистыми отложениями. Получают CO_2 сжиганием топливного газа. Продукты горения являются энергоносителем. Это дополнительное свойство разбавителя позволяет создать энерготехнологическую схему производства стирола (рис. 26).

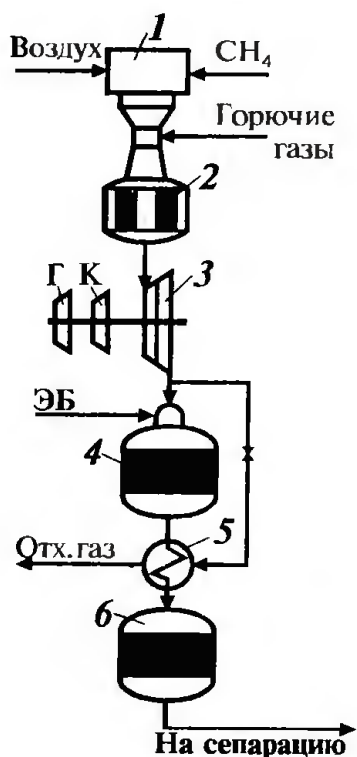


Рис. 26. Энерготехнологическая схема производства стирола: 1 – топка; 2 – реактор-окислитель; 3 – газовая турбина; 4,6 – реакторы дегидрирования; 5 – теплообменник; К – компрессор; Г – генератор

Природный газ сжигают в печи, а горючие газы, образующиеся в технологическом процессе, – в каталитическом реакторе-окислителе. Образующаяся смесь газов с температурой 1050 °С направляется в газовую турбину 3 для привода компрессора и выработки энергии. Далее газы с температурой 750 °С смешиваются с этилбензолом и направляются в реакционный узел, состоящий из двух реакторов. Разбавление этилбензола такое же, как в традиционном процессе с паром. Промежуточный нагрев реагирующей смеси осуществляют в теплообменнике горячими газами. Образующиеся продукты направляются в систему сепарации. Ее схема отлична от ХТС с использованием водяного пара, поскольку различаются компоненты разделяемой смеси. Но в данном случае это не принципиально. В системе сепарации горючие газы возвращаются в энергоузел системы, а углеводородная смесь направляется на ректификацию. В энерготехнологической схеме есть еще ряд узлов – для нагрева этилбензола, воздуха, топливного газа, использующих тепло нагретых потоков. Последние необходимы, чтобы сбалансировать тепловые потоки всей ХТС. Приведенная схема дегидрирования этилбензола позволяет увеличить энергетический КПД почти вдвое – до 70 %.

11.6. Производство полиолефинов и полистирола

Среди выпускаемых промышленностью полимерных материалов большое значение имеют полиолефины – полиэтилен и полипропилен. Удачное сочетание в полиолефинах механической прочности, химической стойкости, хороших диэлектрических показателей, низкой газо- и влагопроницаемости, а также легкость переработки в изделия всеми известными способами, низкая стоимость и доступность сырья позволили полиолефинам занять первое место в мире среди продуктов химической промышленности.

Производство полиолефинов в большинстве развитых стран начало развиваться с середины 50-х годов и к настоящему времени достигло больших масштабов. Ниже приведена структура потребления полиэтилена и полипропилена в промышленности США (%).

Таблица 19

Структура потребления полиэтилена и полипропилена в промышленности

Виды продукции	Полиэтилен низкой плотности	Полиэтилен высокой плотности	Полипропилен
Формованные изделия	1,0	40,0	4,0
Экструзионные изделия	6,5	0,5	0,1
Волокна	–	–	31,0
Литые изделия	10,0	24,5	36,0
Трубы	2,0	9,5	0,1
Пленки и листы	65	6,5	5,0
Провод и кабель	6,0	3,5	2,0
Прочие изделия	9,5	15,5	21,8

Полиэтилен $[-CH_2-CH_2-]_n$ представляет собой карбоцепной полимер этилена. Молекулярная масса полиэтилена в зависимости от метода и режима полимеризации колеблется от десятков тысяч до нескольких миллионов. Поли-

этилен – кристаллический полимер: при температуре 20 °С степень кристалличности полимера достигает 50–90 % в зависимости от метода получения.

В настоящее время существует три основных промышленных метода получения полиэтилена.

1) *полимеризация этилена при высоком давлении (100–350 МПа)* протекает при температуре 200–300 °С в расплаве в присутствии инициаторов (кислорода, органических пероксидов). Такой полиэтилен называют полиэтиленом высокого давления (ПЭВД), или полиэтиленом низкой плотности (ПЭНП);

2) *полимеризация этилена при низком давлении (ниже 2,0 МПа) с использованием металлоорганических катализаторов* протекает при температуре около 80 °С в суспензии (в среде органического растворителя). Такой полиэтилен называют полиэтиленом низкого давления (ПЭНД), или полиэтиленом высокой плотности (ПЭВП);

3) *полимеризация этилена при давлении 3–4 МПа и температуре 150 °С в растворе с использованием в качестве катализаторов оксидов металлов переменной валентности*. Получаемый в этом случае полиэтилен называют полиэтиленом среднего давления (ПЭСД).

Полиэтилен низкого давления получают в присутствии катализаторов Циклера–Натта по аналогии с технологией полипропилена (рис. 27). Наибольшее распространение получил каталитический комплекс на основе диэтилалюминийхлорида $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$ и тетрахлорида титана TiCl_4 .

Полимеризация этилена осуществляется в реакторе емкостного типа при давлении 0,2–0,5 МПа и температуре 60–80 °С. Концентрация катализатора в бензине примерно 1 кг/м³, степень конверсии этилена достигает 98 %, а содержание полимера в суспензии на выходе из реактора – около 100 кг/м³. Отвод выделяющегося тепла реакции полимеризации (3600 кДж/кг) затруднен по сравнению с производством полипропилена, а поэтому осуществляется за счет частичного испарения растворителя, который после конденсации и охлаждения вновь возвращается в реактор. Реакторы изготавливаются из нержавеющей стали или углеродистой стали с защитным (лаковым) покрытием. Химико-

технологическая система при производстве ПЭНД включает в себя функциональные подсистемы, подобные тем, которые имеются и в случае получения полипропилена. Применяемая аппаратура и режимы обработки суспензии полимера после реактора в производстве полипропилена (описаны выше) и полиэтилена низкого давления практически не отличаются друг от друга.



Рис. 27 Схема полимеризации этилена при низком давлении:

1 – реактор; 2– холодильник; 3– циклон; 4 – насос; 5 – газодувка

Полиэтилен высокого давления получают в технологическом процессе, состоящем из стадий смешения свежего этилена с возвратным газом и кислородом, двухступенчатого сжатия газа, полимеризации этилена, разделения полиэтилена и непрореагировавшего этилена, поступающего в рецикл, и грануляции продукта. Для окраски, стабилизации и наполнения полиэтилен-гранулят поступает на стадию конфекционирования, где осуществляется его сухое смешение с добавками, последующее плавление и повторная грануляция.

На рис. 28 приведена принципиальная технологическая схема установки синтеза полиэтилена при высоком давлении. Этилен с установки газоразделения под давлением 1–2 МПа и при температуре 10–40 °С подается в ресивер **1**, где в него вводится возвратный этилен низкого давления и кислород, используемый в качестве инициатора. Смесь сжимается компрессором промежуточного давления **2** до 25–30 МПа, соединяется с потоком возвратного этилена промежуточного давления, сжимается компрессором реакционного давления **3** до 150–300 МПа и направляется в трубчатый реактор **4**. В реакторе происходит полимеризация этилена при температуре 200–320 °С.

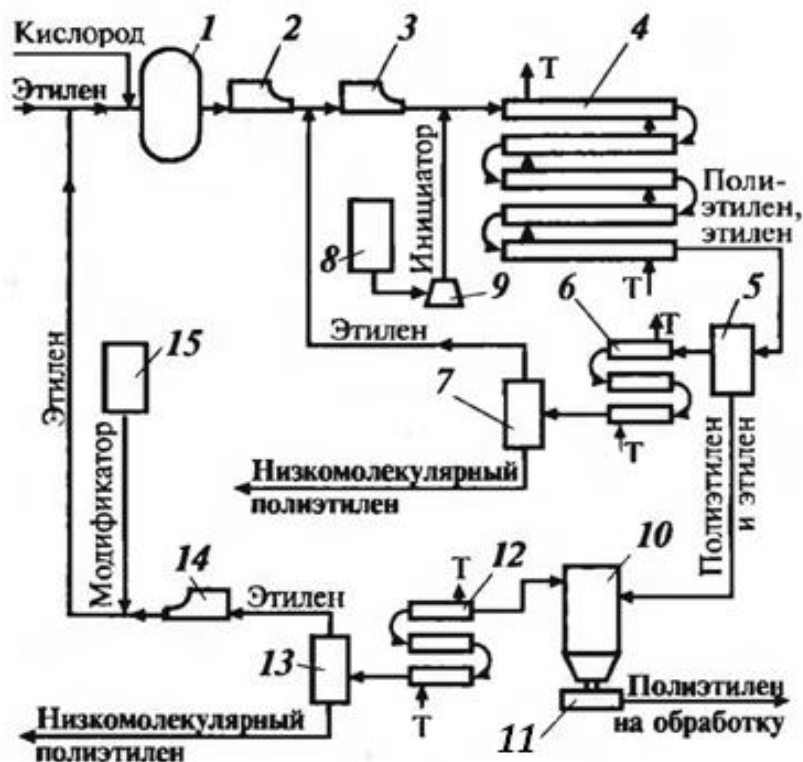


Рис. 28. Схема полимеризации этилена при высоком давлении:

- 1 – ресивер; 2 – компрессор промежуточного давления; 3 – компрессор реакционного давления; 4 – трубчатый реактор; 5 – отделитель промежуточного давления; 6, 12 – холодильники; 7, 13 – циклоны; 8 – емкость для инициатора; 9 – дозировочный насос; 10 – отделитель низкого давления; 11 – экструдер; 14 – компрессор для рециркулирующего этилена; 15 – емкость для модификатора; Т – теплоноситель

Образовавшийся в реакторе расплавленный полиэтилен с непрореагировавшим этиленом (конверсия этилена в полимер 10–30 %) непрерывно выводится из реактора через дросселирующий клапан и поступает в отделитель низкого давления **10**. Этилен возвратный промежуточного давления из отделителя **5** проходит аппараты охлаждения **6** и сепарации **7**, где охлаждается до 30–40 °С и где отделяется низкомолекулярный полиэтилен, и затем подается на всасывание компрессора **3**. В отделителе низкого давления **10** при давлении 0,5 МПа и температуре 200–250 °С из полиэтилена выделяется растворенный этилен (возвратный газ низкого давления), который через аппараты охлаждения **12** и сепарации **13** поступает в компрессор **14** и далее на смешение со свежим этиленом. Расплавленный полиэтилен из отделителя низкого давления **10** по-

стует в экструдер **11**, а из него в виде гранул – на конфекционирование (окраску и дополнительную обработку).

Расходы этилена и энергоресурсов на 1 т гранулированного ПЗВД составляют:

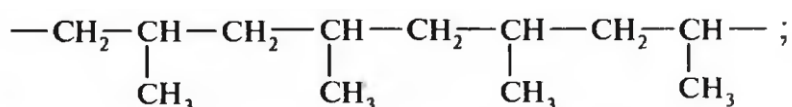
– этилен, кг	1030
– охлаждающая вода, м ³	160–180
– пар водяной, т	0,65
– электроэнергия, кВт·ч	1000–1200

Трубчатые реакторы-полимеризаторы, используемые в установках большой производительности, состоят из последовательно соединенных теплообменников типа «труба в трубе» с диаметром труб 50–100 мм; длина реакционной зоны в трубчатом реакторе достигает 1000–1200 м. В качестве теплоносителя для подогрева этилена и отвода тепла реакции применяют перегретую воду с температурой 190–230 °С, которая поступает в межтрубное пространство противотоком к этилену и потоку реакционной массы.

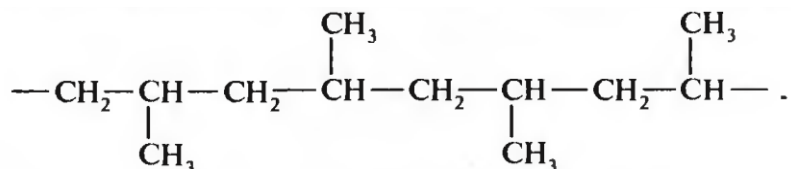
Полипропилен представляет собой продукт полимеризации ненасыщенного углеводорода пропилена. $\left[\begin{array}{c} \text{—CH}_2\text{—CH} \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$

Макромолекула полипропилена состоит из элементарных звеньев, регулярно чередующихся вторичных и третичных атомов углерода. Каждый третичный атом углерода является асимметрическим. Макромолекула полипропилена может иметь одну из двух возможных конфигураций:

а) изотактическая структура – все группы CH₃ находятся по одну сторону от плоскости цепи



б) синдиотактическая структура – группы CH₃ располагаются строго последовательно по разные стороны от плоскости цепи



Изотактические и синдиотактические полимеры объединяются под общим названием стереорегулярных полимеров. Кроме того, в полипропилене имеются участки цепи со стереоблочной, или атактической, структурой, при которой группы CH_3 располагаются беспорядочно.

Стереизомеры полипропилена существенно различаются по механическим, физическим и химическим свойствам. Полипропилен, выпускаемый в промышленности, представляет собой смесь различных структур, соотношение которых зависит от условий проведения процесса. Наиболее ценным материалом является полимер с молекулярной массой 80 000–200 000 и содержанием изотактической части 80–95 %.

Содержание в полимере изотактической части зависит от применяемых для полимеризации катализаторов. На практике полимеризацию пропилена, как правило, проводят в присутствии каталитического комплекса, который состоит из диэтилалюминийхлорида $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$ и трихлорида титана TiCl_3 (катализатор Циглера–Натта).

Соотношение компонентов в каталитической системе влияет как на скорость полимеризации, так и на стереоспецифичность. При мольном соотношении $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl} : \text{TiCl}_3 = 2:1$ проявляется максимальная активность катализатора, а при соотношении, превышающем 3:1, – наибольшая стереоспецифичность.

С повышением температуры увеличивается скорость реакции полимеризации, молекулярная масса при этом понижается. Полимеризацию проводят обычно в области температур 50–100 °С, когда образующийся полимер не растворяется в реакционной среде.

Продолжительность процесса зависит от количества вводимого катализатора и концентрации мономера. Время проведения процесса сокращается с повышением концентрации мономера и содержания катализатора. Изменение времени полимеризации не оказывает влияния на молекулярную массу полимера и соотношение аморфной (атактической) и кристаллической (изотактической) фаз.

При полимеризации пропилена в качестве растворителей обычно применяют насыщенные углеводороды, например гексан, гептан, бензин и др. Растворители в процессе служат одновременно осадителями для образовавшегося полипропилена.

Полимеризация пропилена протекает с выделением тепла, тепловой эффект составляет около 58,7 кДж/моль. Тепло полимеризации отводится через водяную рубашку реактора без применения специальных методов отвода тепла (кипение растворителя, циркуляция газа и др.).

Производство полипропилена может осуществляться как периодическим, так и непрерывным способами. Экономически более выгодными являются непрерывные процессы получения полипропилена.

Химико-технологическая система производства полипропилена (рис. 29) состоит из следующих функциональных подсистем: приготовление катализаторного комплекса из диэтилалюминийхлорида и треххлористого титана; полимеризация пропилена; удаление непрореагировавшего мономера из реакционной массы; разложение катализаторного комплекса; промывка полимера от остатков катализатора; отжим растворителя; сушка полипропилена; окончательная обработка полипропилена; регенерация растворителя.

Приготовление катализаторного комплекса осуществляется смешением 5-процентного раствора $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$ в бензине с порошкообразным TiCl_3 в смеси-теле **1**. Суспензия катализатора поступает в промежуточную емкость **2**, из которой дозируется в полимеризатор **3**. Полимеризатор представляет собой аппарат с мешалкой объемом 10 м^3 , снабженный рубашкой для охлаждения и обогрева (во время запуска) и холодильником-конденсатором **4**. В полимеризатор при работающей мешалке непрерывно подаются жидкий пропилен, катализаторный комплекс и бензин.

Продолжительность пребывания реакционной смеси в полимеризаторе при температуре $70 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении 0,1 МПа составляет около 6 ч. Степень конверсии пропилена достигает 98 %.

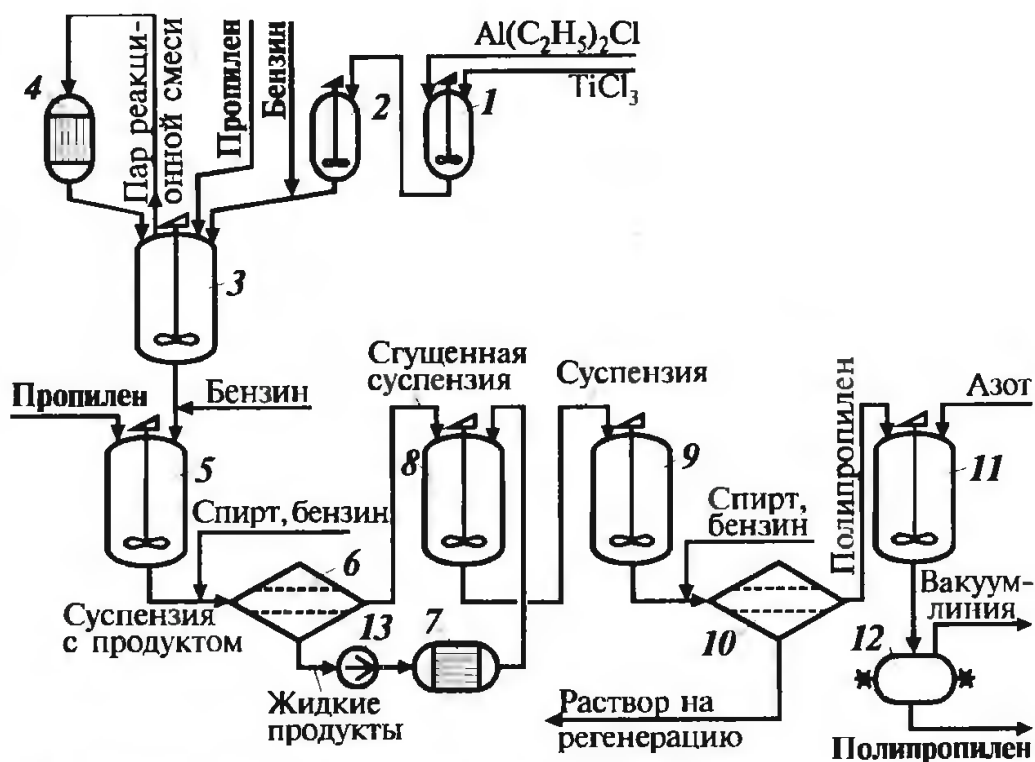


Рис. 29. Схема производства полипропилена:

- 1 – смеситель катализаторного комплекса; 2, 11 – промежуточная емкость;
 3 – полимеризатор; 4 – холодильник; 5, 9 – сборник суспензии; 6, 10 – центрифуга;
 7 – подогреватель; 8 – аппарат разложения катализатора;
 12 – вакуум-гребковая сушилка

В полимеризатор дозируются реагенты в следующем соотношении (в масс. ч.):

– пропилен	100
– катализатор ($AlCl_3 : TiCl_3 = 3 : 1$)	9
– бензин	255

Из полимеризатора продукт в виде суспензии выгружается в сборник суспензии **5**, при этом уровень в полимеризаторе поддерживается постоянным. В сборнике за счет снижения давления до атмосферного происходит сдвиг растворенного в бензине непрореагировавшего пропилена и разбавление суспензии бензином до соотношения полимер : бензин = 1:10 (масс. ч.).

Разбавленная суспензия обрабатывается на непрерывно действующей центрифуге **6** раствором изопропилового спирта в бензине [концентрация 25 % (масс.)]. При этом происходит частичное разложение компонентов катализа-

торного комплекса спиртом с переводом их в форму алкоголятов. Разложение катализатора завершается в аппарате 8 при интенсивном перемешивании суспензии подогретым в подогревателе 7 до 60 °С раствором изопропилового спирта в бензине (фугатом). Суспензия полимера через сборник 9 подается на вторичную промывку и отжим в центрифугу 10.

Отмытый полипропилен подают в емкость 11 и сушилку с кипящим слоем 12, в которой при температуре 95 °С горячим азотом высушивают до остаточного содержания бензина 0,1 %. Высушенный полипропилен поступает на грануляцию и упаковку.

Непрореагировавший пропилен, растворитель, промывные растворы поступают на регенерацию и возвращаются в цикл. Во всех аппаратах после реактора поддерживается инертная атмосфера путем подачи азота. Азот рециркулирует по контуру, подвергаясь регенерации.

Обобщенные расходные показатели производства полипропилена в расчете на 1 т гранулированного полимера приведены ниже:

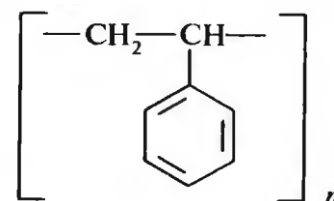
– пропилен, кг	1125
– растворитель (бензин), кг	25
– изопропиловый спирт, кг	4
– диэтилалюминийхлорид, кг	2,4
– трихлорид титана, кг	1,2
– водяной пар, кг,	3200
– охлаждающая вода, м ³	400
– азот, м ³	70
– электроэнергия, кВт·ч	500

В производстве полипропилена на 1 т товарного изотактического полимера образуется около 8 кг атактического полипропилена.

Одним из основных направлений совершенствования технологии полипропилена является разработка более активных каталитических комплексов, которые можно было бы вводить в малом количестве. При этом отпадает необходимость в стадиях промывки полимера и регенерации промывного раствора,

что значительно сокращает энергозатраты, упрощает схему и повышает экономичность производства.

Полистирол получают полимеризацией ненасыщенного углеводорода – стирола. По объему производства полистирольные пластики занимают третье место после полиэтилена и поливинилхлорида. Выработка поли-



стирола превышает 10 млн. т в год. Полистирол находит применение практически во всех основных отраслях народного хозяйства, включая производство электрооборудования, радиоаппаратуры, мебели, упаковки, предметов домашнего обихода.

Полистирол – термопластичный материал с высокими диэлектрическими показателями. Он химически стоек, водостоек, бесцветен. Однако полистирол имеет низкую механическую прочность и невысокую теплостойкость. В связи с этим проводят модификацию свойств полистирола, которая направлена на улучшение его перерабатываемости, повышение ударопрочности, огне- и атмосферостойкости, прозрачности. Улучшение качества и придание требуемого комплекса свойств полистиролу достигается путем введения различных добавок, а также способом химической модификации (блочная и привитая сополимеризация). Получение полистирольных пластиков с новыми качественными характеристиками расширяет сферу их применения в промышленности.

В промышленности полимеризацию стирола осуществляют главным образом в блоке, эмульсии и суспензии:

- 1) блочная полимеризация стирола с неполной конверсией мономера (непрерывный способ);
- 2) суспензионная полимеризация стирола (периодический способ);
- 3) блочно-суспензионная (эмульсионная) полимеризация стирола (периодический способ).

В настоящее время используется несколько вариантов блочной полимеризации стирола с неполной конверсией мономера. На рис. 30 представлена схема процесса с неполной конверсией стирола в каскаде реакторов с переме-

шиванием. Химико-технологическая система состоит из следующих функциональных подсистем: полимеризация стирола; удаление и ректификация непрореагировавшего мономера; грануляция полистирола.

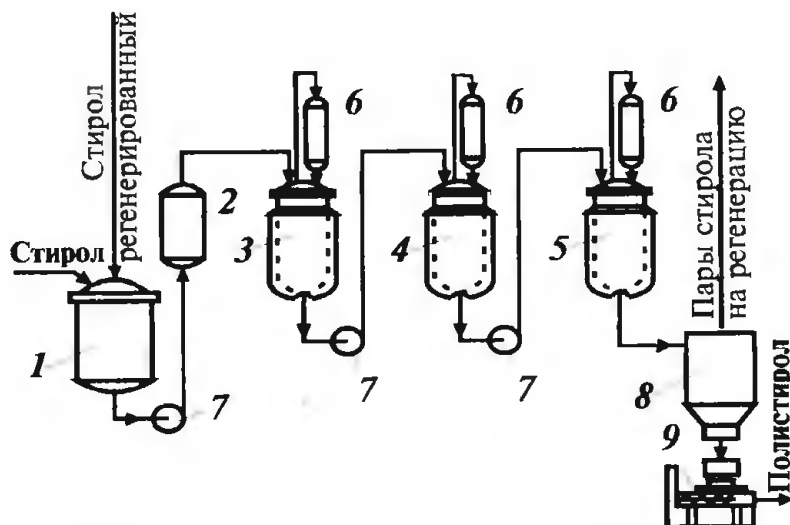


Рис. 30. Схема блочной полимеризации полистирола в каскаде реакторов с перемешиванием: 1 – емкость для стирола; 2 – теплообменники; 3–5 – полимеризаторы (реакторы); 6 – холодильники; 7 – насосы; 8 – вакуум-камера; 9 – экструдер с гранулятором

Из емкости **1** стирол дозировочным насосом **7** подается через теплообменник предварительного подогрева **2** на полимеризацию. Полимеризация стирола происходит последовательно в трех реакторах, В первом реакторе **3** процесс протекает при 110–120 °С, и реакционная смесь выходит с содержанием около 30 % полимера; во втором реакторе **4** процесс полимеризации проходит при 125–135 °С до конверсии мономера 60 %; заканчивается процесс в третьем реакторе каскада **5** при 140–150 °С при суммарной конверсии 80–85 %. Тепло реакции полимеризации снимается через рубашку реактора, испарением мономера и охлаждением конденсата в обратном холодильнике **6**.

Передача реакционной массы из одного полимеризатора в другой и далее в вакуум-камеру **8** осуществляется насосами **7** В вакуум-камере удаляется при остаточном давлении 2,0–5,3 кН/м² (15–40 мм рт. ст.) непрореагировавший стирол. Пары стирола поступают на регенерацию, и затем мономер вновь возвращается в емкость **1** и смешивается с исходным сырьем. Расплав полистирола из вакуум-камеры **8** поступает в экструдер **9** и на грануляцию.

Одним из существенных недостатков процесса с неполной конверсией мономера является образование стирального конденсата при отгонке непрореагировавшего стирола.

Утилизация конденсата осуществляется по одному из вариантов:

- 1) очистка ректификацией с получением стирола со стандартными показателями качества;
- 2) полимеризация стирола с получением полистирола для изделий менее ответственного назначения.

Производство полистирола в рассматриваемом случае входит в состав нефтехимического комплекса, поэтому имеется возможность совместить стадию очистки конденсата с ректификацией массы дегидрирования стирола (см. разд. 11.5). Такое совмещение процессов обеспечивает снижение энергетических затрат на очистку и исключает установку дополнительного оборудования в ХТС по производству полистирола.

11.7. Переработка нефтяного попутного газа (НПГ)

Классификация способов разделения

Основные способы выделения целевых углеводородов из НПГ или природных газов – это низкотемпературная конденсация (НТК), низкотемпературная ректификация (НТР) и низкотемпературная абсорбция (НТА).

Процесс низкотемпературной конденсации (НТК) наиболее широко распространен в газовой промышленности при обработке конденсатосодержащих газов. Установки, предназначенные для извлечения из газа тяжелых углеводородов процессом НТК на промыслах, на практике принято называть установками низкотемпературной сепарации (НТС). Процессы НТК (НТС) используются также в схемах установок низкотемпературной абсорбции (НТА) как их предварительная стадия.

Процессы НТК и НТР состоят из следующих стадий:

- компримирование газа до относительно высоких давлений: 3,5; 5,7 и 7,5 МПа;

- осушка газа жидкими или твердыми поглотителями влаги;
- последующее охлаждение сжатого и осушенного газа до низких температур в пределах от -10 до -100 °С;
- разделение образовавшейся газожидкостной смеси углеводородов на деэтанализированный конденсат (нестабильный газовый бензин или ШФЛУ) и несконденсировавшийся газ. Такое разделение может быть осуществлено на одноколонной или двухколонной установке;
- разделение ШФЛУ на необходимые товарные углеводородные составляющие.

Три первоначальные стадии процесса – общие как для НТК, так и для НТР. Отличие между ними заключается в четвертой стадии. Если в схеме НТК в первую ректификационную колонну поступает только отсепарированный конденсат, то в схеме НТР в колонну поступает вся газожидкостная смесь.

В установках НТА осуществляется поглощение газов и/или паров из газовых смесей жидкими поглотителями при отрицательной температуре (от -10 до -40 °С), причем газ и абсорбент подвергаются предварительному охлаждению обратными потоками газа и абсорбента, а также специальными хладоагентами.

Абсорбцию проводят в вертикальном цилиндрическом аппарате – абсорбере. Контакт между газом и абсорбентом происходит на барботажных тарелках, смонтированных внутри абсорбера, причем газ поднимается снизу вверх, а абсорбент стекает сверху вниз.

Общая схема переработки нефтяных попутных газов

Наиболее распространенной практикой в утилизации попутного газа является доставка его по существующим трубопроводам на газоперерабатывающие заводы (ГПЗ). На ГПЗ производится разделение НПГ на углеводородные составляющие и переработка в ценное сырье для химической и нефтехимической промышленности.

Переработка нефтяных попутных газов схематично изображена на рис. 31. Получаемый таким образом ШФЛУ и стабильный конденсат являются, в свою очередь, исходным сырьем для производства следующих продуктов:

- сжиженных газов для коммунально-бытового потребления;
- пропановой, изобутановой, бутановой, изопентановой, пентановой фракций, используемых в качестве сырья для нефтехимического сырья;
- дизельного топлива, авиакеросина, автомобильного бензина, растворителей, флотореагентов и котельного топлива.

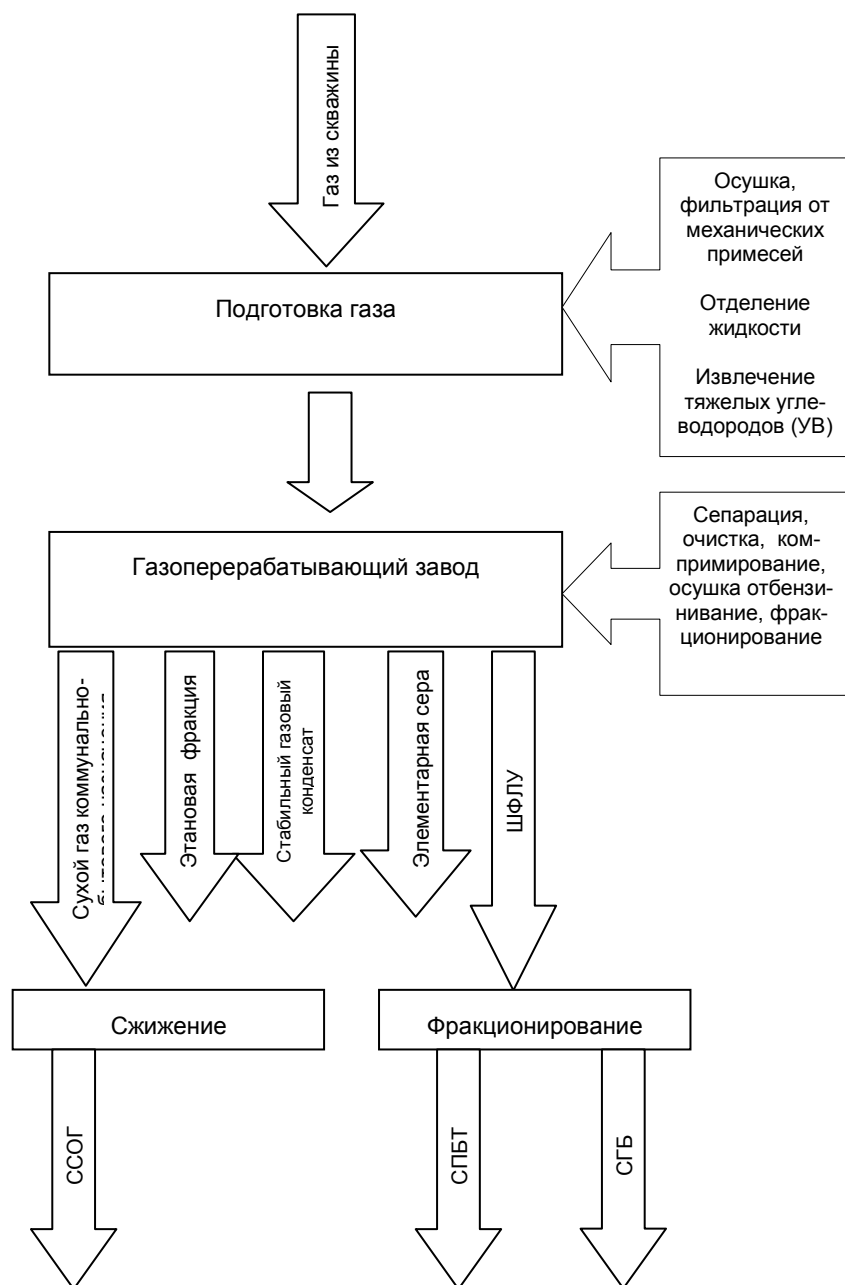


Рис. 31. Обобщенная схема переработки нефтяных попутных газов

Так перерабатывается до 40 % российских НПГ. Большие объемы перерабатываемого газа и сосредоточение в одном месте нескольких технологических процессов позволяют добиться неплохих показателей по энергозатратам на

единицу вырабатываемой продукции. Однако далеко не со всех источников можно доставить по трубопроводу НППГ до ближайшего ГПЗ или ближайшего уже существующего трубопровода в силу того, что строительство газопроводов для перекачки сырья сравнительно небольших объемов экономически нецелесообразно. На сегодняшний день единственной альтернативой трубопроводной транспортировке НППГ является сжижение и разделение попутного газа на углеводородные составляющие прямо в месте добычи.

Для этих целей необходимо легко транспортируемое и монтируемое оборудование в блочно-модульном исполнении. Стоимость оборудования и его эксплуатационные затраты должны обеспечить окупаемость оборудования и получение прибыли за время жизни источника попутного газа.

Разработанные много лет назад способы разделения попутных газов используются как на ГПЗ, так и (в модернизированном виде) на малогабаритных установках переработки газа. Оценка эффективности инвестиционного проекта по утилизации попутного нефтяного газа в Кондинском районе (ХМАО-Югра, Россия) представлена в Приложении.

Низкотемпературная абсорбция (НТА)

Физическая сущность процесса абсорбции заключается в достижении равновесия между взаимодействующими потоками газа и жидкости за счет диффузии (переноса) вещества из одной фазы в другую. Движущая сила диффузии определяется при прочих равных условиях разностью парциальных давлений извлекаемого компонента в газовой и жидкой фазах. Если парциальное давление компонента в газовой фазе выше, чем в жидкой, то происходит процесс абсорбции (поглощение газа жидкостью). И наоборот: если парциальное давление компонента в газовой фазе ниже, чем в жидкой, происходит процесс десорбции (выделение газа из жидкости).

Процесс разделения газа методом абсорбции производят в абсорбционных и ректификационных аппаратах тарельчатого и насадочного типа. При наличии технологического контура абсорбер – десорбер можно организовать поглощение из газа соответствующих компонентов в абсорбере и выделение их в

десорбере. Извлеченные из насыщенного абсорбента углеводороды отводят из верхней части десорбера и направляют на следующую ступень переработки. Регенерированный абсорбент отводят с низа десорбера и подают в абсорбер для повторного использования.

В настоящем разделе приводятся технологические схемы процессов, которые используются для выделения целевых углеводородных продуктов из нефтяных и природных газов:

- низкотемпературной абсорбции (НТА);
- низкотемпературной конденсации (НТК);
- низкотемпературной ректификации (НТР).

На рис. 32 приведена типичная схема блока НТА для выделения из состава исходного газа ШФЛУ.

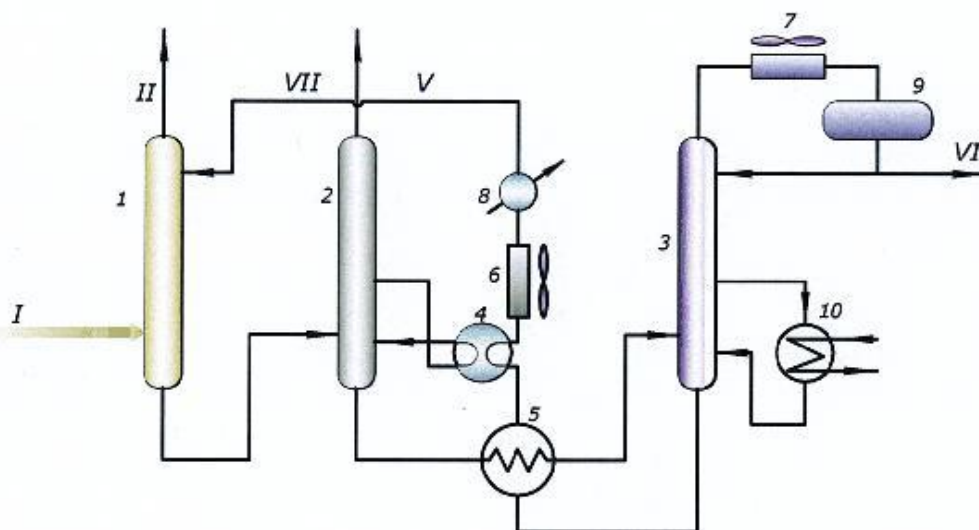


Рис. 32. Типичная схема блока НТА:

1 – абсорбер; 2 – абсорбционно-отпарная колонна; 3 – десорбер; 4, 5 – регенеративные теплообменники; 6, 8 – холодильники; 7 – воздушный (или водяной) холодильник; 9 – рефлюксная емкость; 10 – подогреватель

Исходный газ после предварительной очистки от капельной (свободной) жидкости и механических примесей компримируется, осушается до необходимой точки росы и подается под нижнюю тарелку абсорбера 1 (узлы сепарации, компримирования и осушки на схеме не показаны), на верхнюю тарелку пода-

ют регенерированный абсорбент. В этом аппарате из газа извлекают целевые компоненты некоторое количество нежелательных углеводородов (метан, этан).

С верха абсорбера **1** отводят сухой газ, с низа – насыщенный абсорбент, который представляет собой смесь тощего абсорбента с извлеченными углеводородами. Сухой газ направляют потребителю, насыщенный абсорбент подают в питательную секцию абсорбционно-отпарной колонны (АОК) **2** (узел деметанизации и деэтанзации). В АОК из насыщенного абсорбента удаляют легкие углеводороды (метан, этан). Для сокращения потерь пропана с сухим газом и обеспечения наиболее полной деэтанзации насыщенного абсорбента на верхнюю тарелку АОК подают регенерированный абсорбент, а в нижнюю кубовую часть АОК подводят тепло.

С верха АОК выводят сухой газ (метан + этан), с низа – насыщенный абсорбент, который нагревают в теплообменнике **4** и подают в питательную секцию десорбера **3**. С верха десорбера получают смесь пропан + высшие углеводороды.

ШФЛУ конденсируется в воздушном или водяном холодильнике **7** и поступает в рефлюксную емкость **9**, из которой часть ШФЛУ подают в качестве орошения на верхнюю тарелку десорбера **3**, а избыток направляют на дальнейшую переработку (выделение необходимых фракций). Тепло в нижнюю часть десорбера **3** подводят за счет циркуляции абсорбента, стекающего с нижней тарелки десорбера через подогреватель **10**. Регенерированный абсорбент выводят с низа десорбера **3**, охлаждают в регенеративных теплообменниках **4, 5** и в холодильниках **6, 8**, после чего подают в абсорбер **1** и АОК **2**.

Далее ШФЛУ может быть разделено на необходимые углеводородные составляющие.

Низкотемпературная конденсация (НТК)

Технологические схемы переработки попутного нефтяного газа по способу низкотемпературной конденсации (сепарации) могут классифицироваться по числу основных ступеней сепарации, виду источников холода, виду выпускаемого целевого продукта.

По числу ступеней сепарации современные схемы (НТК) можно разделить на одно-, двух- и трехступенчатые. На каждой ступени обязательно выводится жидкая фаза.

По виду источников холода схемы НТК можно разделить на схемы с внешним холодильным циклом; с внутренним холодильным циклом; схемы, в которых источником холода являются и внешний, и внутренний холодильные циклы. Внешний холодильный цикл не зависит от технологической схемы и имеет собственный хладагент. В зависимости от вида хладагента внешние холодильные циклы можно разделить на две группы: с однокомпонентным хладагентом, с многокомпонентным (смешанным) хладагентом, которым обычно является смесь легких углеводородов. Внешние холодильные циклы с применением двух и более однокомпонентных хладагентов называются каскадными холодильными циклами.

Во внутренних холодильных циклах холод получают за счет технологических потоков самой схемы переработки газа. Внутренний холодильный цикл можно разделить на группы:

- с дросселированием технологических жидких потоков;
- с узлом детандирования; холод и низкие температуры получают за счет термодинамически эффективного процесса изоэнтропийного расширения газа.

В схемах НТК по переработке нефтяных попутных газов на первой ступени газ охлаждается до температуры порядка $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, здесь применяют обычно пропановый холодильный цикл. На второй ступени для получения более низких температур – дросселирование жидких потоков, получаемых в самом процессе, или детандирование частично отбензиненного газа.

На рис. 33 приводится технологическая схема процесса НТК.

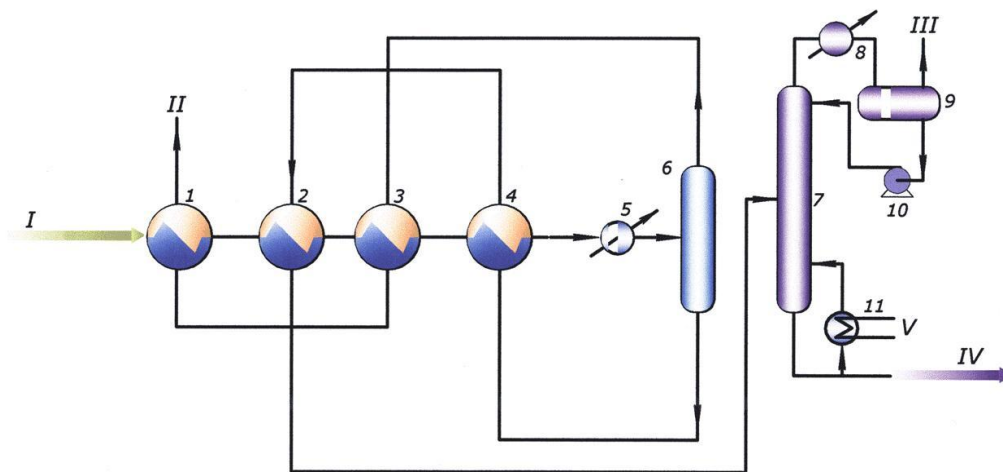


Рис. 33. Технологическая схема процесса НТК:

I – сырьевой газ; II – отбензиненный газ; III – этановая фракция;

IV – деэтанованный бензин; V – водяной пар

Жирный газ, поступающий на установку НТК под давлением 3–4 МПа, сначала охлаждается в последовательной цепочке рекуперативных теплообменников 1–4 обратными потоками газа и конденсата, а затем дополнительно (испаряющимися пропаном или аммиаком) в испарителе 5 до температуры $-20\dots-35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Образовавшийся в результате умеренного охлаждения углеводородный конденсат отделяется от остаточного газа в сепараторе 6. Газ направляется в газопровод, а конденсат – в деэтаннизатор 7. В конденсате будут преобладать высококипящие углеводороды (C_{3+}).

Однако в его составе будут метан и этан. Они отгоняются из углеводородного конденсата в деэтаннизаторе 7.

Пары орошения конденсируются в пропановом холодильнике 8, откуда газожидкостная смесь поступает в емкость 9. Жидкость орошения подается в колонну насосом 10, а продукт из верхней части колонны отводится в газовой фазе в магистральный этанопровод.

Тепло подводится в нижнюю часть деэтаннизатора через кипятыльник 11. Теплоносителем является водяной пар. Деэтаннизированный нестабильный газовый конденсат из нижней части колонны направляется потребителю.

Метан и этан, если их концентрация (молярная) в выпавшем из нефтяного

газа конденсате невелика (в сумме около 10 %), могут быть удалены в деэтаннаторе, работающем на холодном сырье без орошения. В этом случае холодный углеводородный конденсат непосредственно из сепараторов **6**, минуя теплообменники **2** и **4**, подается на вторую или третью (считая сверху) тарелку деэтаннатора. Режим колонны (деэтаннатора) в зависимости от состава углеводородного конденсата регулируется изменением давления, температуры верхней и нижней частей колонны.

Низкотемпературная ректификация (НТР)

Процесс ректификации термодинамически более выгодный, чем процесс абсорбции. Схема НТР эффективнее НТА, а аппаратная реализация проще. Принципиальное отличие схемы НТР от схемы НТК – сырье, поступающее на установку, после охлаждения (всего или части сырьевого потока) без предварительной сепарации подается в ректификационную колонну, где происходит квалифицированное разделение сырого газа на сухой газ (уходит с верха колонны) и ШФЛУ (уходит с низа колонны). В зависимости от принципиальной схемы процесса НТР основной узел технологической схемы – ректификационные колонны – подразделяют на ректификационно-отпарные и конденсационно-отпарные.

Ректификационно-отпарной называется колонна, в среднюю часть которой подается предварительно охлажденный поток сырого газа. Энергетически схемы с ректификационно-отпарными колоннами выгоднее схем НТК.

Конденсационно-отпарная колонна отличается от ректификационной тем, что разделяемая смесь подается в ней на верхнюю тарелку. Верхней укрепляющей частью в ней служит конденсатор-холодильник орошения внешнего холодильного цикла.

На рис. 34 представлена схема установки НТР.

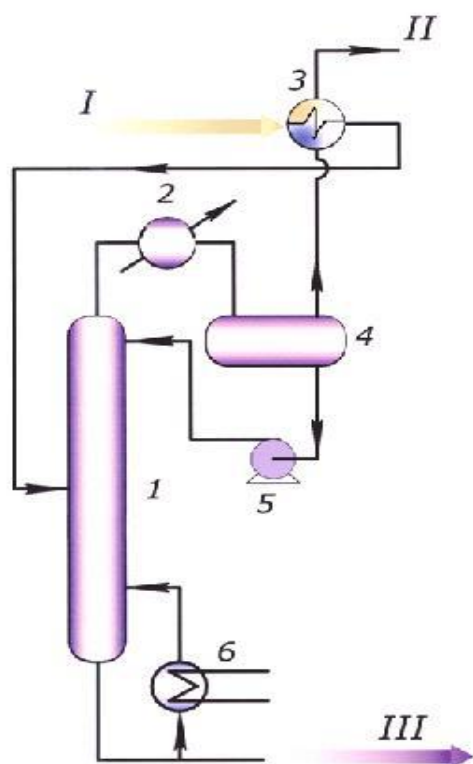


Рис. 34. Технологическая схема процесса НТР:

1 – деэтанализатор; 2 – пропановый холодильник; 3 – теплообменник;

4 – рефлюксная емкость; 5 – насос; 6 – кипятильник;

I, II – сырьевой и отбензиненный газы; III – деэтанализированная ШФЛУ

Процесс НТК по сравнению с процессом НТР имеет следующие преимущества:

- после сепаратора из системы выводится основная масса несконденсировавшихся газов, которые в дальнейшем процессе на этой установке не участвуют, поэтому ректификационная колонна и другие аппараты имеют относительно небольшие размеры;
- вследствие относительно небольшого содержания метана и этана в сырье деэтанализатора конденсацию паров орошения в холодильниках можно проводить при сравнительно высоких температурах (от -5 до -30 °С).

К недостаткам схемы НТК следует отнести то, что сепарация конденсата от газа происходит только после однократной конденсации, поэтому часть целевых компонентов теряется с остаточным газом.

Для глубокого извлечения пропана и более тяжелых углеводородов по способу НТК приходится вести процесс при относительно низких температурах, при которых в жидкую среду переходят большее количество целевых компонентов.

При понижении температуры процесса конденсации выход конденсата повышается. Прежде всего, повышается степень извлечения из газа целевых углеводородов: пропана, изобутана и н-бутана. При понижении температуры в конденсате также увеличиваются концентрации метана и этана. Необходимо учитывать, что в процессах НТК и НТР максимального извлечения пропана можно достигнуть при одновременной конденсации значительного количества этана и метана.

Для поддержания заданной температуры конденсации важно обеспечить нормальную работу теплообменной и холодильной аппаратуры. Прежде всего, необходимо, чтобы температура газа, поступающего из предыдущей стадии процесса (в частности, с установок осушки и очистки), не превышала значения, заданного по технологической карте. Кроме того, газ должен быть осушен до определенной точки росы. При недостаточной осушке газа работа установок НТК и НТР может быть нарушена в результате образования гидратов, закупорки труб, забивки аппаратуры, арматуры и т.д. Для разрушения уже образовавшихся гидратов в систему НТК вводится метанол, который, вступая в контакт с гидратом, образует спиртоводный раствор с низкой температурой застывания. Должен быть тщательно осушен и пропан, циркулирующий в системе охлаждения.

Нормальная работа установки НТР зависит от устойчивости теплового режима деметанизатора. Недостаточное выпаривание метана в деметанизаторе (вследствие чрезвычайно низкой температуры в кубе колонны) и превышение заданной температуры верхней части дедетанизатора могут быть причиной уноса значительного количества пропана с несконденсировавшимися парами, отходящими с верхней части дедетанизатора. К этому может привести и повышение температуры в нижней части дедетанизатора. При понижении температуры в нижней части дедетанизатора увеличивается содержание этана в ШФЛУ.

Способы разделения нефтяных попутных газов на целевые продукты

Выбор технологии обработки газа определяется, в первую очередь, требуемой глубиной извлечения целевых компонентов (см. табл. 20).

Другим определяющим фактором является состав обрабатываемого газа.

При содержании в газе углеводородов C_{3+} до 3 % мол. преимуществом обладает процесс НТА; при их содержании до 12,6 % оба процесса равнозначны.

Для газа, содержащего 12,64 % углеводородов C_{3+} по приведенным затратам установки, НТА с трехступенчатой абсорбцией и НТК примерно одинаковы.

Чем беднее газ по содержанию C_{3+} , тем эффективнее процесс НТА по сравнению с НТК. Для более жирных газов процесс НТС неоспоримо выгоднее.

Таблица 20

Предпочтительные области применения различных технологических процессов

Наименование процесса	Глубина охлаждения, °С	Степень извлечения, %		
		C_2	C_3	C_4
Абсорбция без применения искусственного холода	10–45	25–30	40–60	60–80
НТА	–40	30–40	90	97
НТС с использованием дроссель-эффекта	–25	25–30	40–60	60–80
НТК с пропановым холодильным циклом	–40	35–40	90	97
НТК с пропан-этановым холодильным циклом	–80	60–80	95	99
НТК с пропановым и детандерным холодильным циклом	–(80–90)	60–90	95	99
НТК с этан-этиленовым и детандерным холодильным циклом	–120	85	95	99

11.8. Производство метанола

Метанол – метиловый спирт, химическая формула CH_3OH , бесцветная ядовитая жидкость с запахом, подобным запаху этилового спирта, один из основных продуктов на мировом и региональных рынках нефтехимической продукции.

Метанол является одним из важнейших по значению и масштабам производства органическим продуктом, выпускаемым химической промышленностью. Транспортируется метанол в железнодорожных цистернах.

Таблица 21

Основные характеристики метанола

Характеристика	Значение
Внешний вид	Бесцветная прозрачная жидкость без нерастворимых примесей
Массовая доля метанола, %, не менее	99,95
Массовая доля воды, %	0,02–0,05
Массовая доля этанола, %	0,001–0,01
Испытания с перманганатом калия, мин., не менее	75

Описание технологии производства

Способы получения метилового спирта могут быть различны:

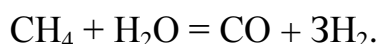
- сухая перегонка древесины;
- термическое разложение формиатов;
- гидрирование метилформиата;
- омыление метилхлорида;
- каталитическое неполное окисление метана, каталитическое гидрирование окиси и двуокиси углерода.

До промышленного освоения каталитического способа метанол получали в основном сухой перегонкой древесины. «Лесохимический метиловый спирт» загрязнен ацетоном и другими трудноотделимыми примесями. В настоящее

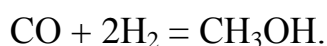
время этот метод получения метанола практически не имеет промышленного значения.

По причинам технического и главным образом экономического характера промышленное развитие получил метод синтеза метанола из окиси углерода и водорода. Сырьем для производства метанола служил водяной газ, полученный газификацией кокса. В настоящее время основное количество метанола вырабатывается на базе природного газа.

Технология получения метанола достаточно хорошо опробована на действующих производствах и не несет в себе каких-либо технологических рисков. В промышленности метанол получают из окиси углерода (CO) и водорода (H₂). В свою очередь, окись углерода и водорода получают путем каталитической конверсии природного газа. После очистки от механических примесей и сероводорода природный газ поступает в реактор риформинга, где в присутствии никелевого катализатора и водяного пара происходит следующая реакция:



Образовавшийся в реакторе конверсии синтез-газ охлаждается и поступает в реактор синтеза метанола, где в присутствии медного катализатора происходит следующая реакция:



Процесс синтеза осуществляется при 250–300 кгс/см² и 380 °С.

После реактора синтеза метанол поступает в колонну ректификации, где его концентрация доводится до 95–96 %. Метанол, доведенный до требований ГОСТ 2222-95, направляется в товарно-сырьевой парк и далее отгружается потребителям.

Процесс получения бензина осуществляется по технологии «Цеосит». Метанол поступает в реактор синтеза бензина, где в присутствии фирменного катализатора происходит реакция образования бензина из метанола.

Суммарный выход бензина составляет ~40 % от массы поданного метанола. Выделившаяся в ходе технологического процесса вода проходит очистку и вновь направляется на технологию. В процессе производства бензина и мета-

нола образуются газообразные побочные продукты, состоящие из смеси H_2 , CO , CO_2 и углеводородов C_1-C_4 , которые используются на газотурбинной установке (ГТУ). Полученная электроэнергия позволяет обеспечить до 80 % потребностей в энергопотреблении технологической установки.

Сферы применения метанола

Бурный рост производства метанола обусловлен постоянно возрастающим количеством многообразных сфер его применения. Основные отрасли промышленности, применяющие метанол:

- химическая и нефтехимическая промышленность;
- газо- и нефтедобывающая промышленность;
- газо- и нефтеперерабатывающая промышленность.

Метанол является сырьем для получения таких продуктов, как формальдегид (около 50 % от всего выпускаемого метанола), синтетический каучук (~11 %), метиламин (~9 %), а также диметилтерефталат, метилметакрилат, пентаэритрит, уротропин. Его используют в производстве фотопленки, аминов, поливинилхлоридных, карбамидных и ионообменных смол, красителей и полупродуктов, в качестве растворителя в лакокрасочной промышленности. В большом количестве метанол потребляют для получения различных химикатов, например хлорофоса, карбофоса, хлористого и бромистого метила и различных ацеталей.

В газовой промышленности метанол применяется для предупреждения гидратообразования в технологических трубопроводах при добыче и подготовке природного газа. Сырьем для получения метанола является природный газ.

Сырье для производства метанола

Технологический исходный газ для синтеза метанола получается в результате конверсии (превращения) углеводородного сырья: природного газа, синтез-газа после производства ацетилена, коксового газа, жидких углеводородов (нефти, мазута, легкого каталитического крекинга) и твердого топлива (угля, сланцев).

Исходный газ для синтеза метанола можно получить почти из всех видов сырья, которые используют при получении водорода, например, в процессах синтеза аммиака и гидрирования жиров. Поэтому производство метанола может базироваться на тех же сырьевых ресурсах, что и производство аммиака.

Использование того или иного вида сырья для синтеза метанола определяется рядом факторов, но, прежде всего, его запасами и себестоимостью в выбранной точке строительства.

Природный и попутный газы представляют наибольший интерес как с экономической точки зрения, так и с точки зрения конструктивного оформления процесса подготовки исходного газа (конверсия, очистка и компримирование). Кроме того, они содержат меньше нежелательных примесей, чем газы, полученные газификацией твердого топлива.

Состав природного газа в зависимости от месторождения различен. Основным компонентом природного газа является метан; наиболее значительно меняется содержание гомологов метана (этан, пропан, бутан) и инертных газов. Большинство крупных производств метанола базируется на использовании природного газа. Для получения исходного газа углеводородное сырье подвергают конверсии различными окислителями: кислородом, водяным паром, двуокисью углерода и их смесями.

В зависимости от используемых видов окислителей или их смесей различают следующие способы конверсии:

- паро-углекислотная при атмосферном или повышенном давлении;
- паро-углекислотная с применением кислорода;
- высокотемпературная и паро-углекислородная газификация жидких или твердых топлив.

Выбор окислителя или их комбинации определяется назначением получаемого исходного газа (для синтеза метанола на цинк-хромовом или медьсодержащем катализаторах) и технико-экономическими факторами.

В качестве сырья для производства метанола используют также синтез-газ после производства ацетилена методом окислительного пиролиза (на 1 т

ацетилена обычно образуется до 10 000 м³ газа). Этот газ содержит водород и окись углерода в соотношениях, близких к стехиометрическому для реакции синтеза метанола. Остаточный метан является нежелательной примесью, поэтому до поступления в отделение синтеза газ проходит и каталитическую конверсию.

Выпуск метанола

Предприятия по выпуску метанола размещены в различных экономических районах страны, поэтому и виды используемого сырья различны. Наиболее дешевый метанол получают при использовании в качестве сырья природного газа (рис. 35). Это и стимулирует перевод предприятий по производству метанола на природный газ.

Выпуск метанола значительно превышает темпы роста производства многих продуктов химической промышленности. Увеличение выпуска метанола проводится путем интенсификации процесса, расширения существующих и строительства новых производств. Строительство крупных однолинейных установок с использованием турбоциркуляционных компрессоров вместо поршневых машин и применение новых катализаторов позволяет проводить процесс при относительно низком давлении (50–150 кгс/см²).

Несмотря на достигнутые успехи, производство метанола продолжает совершенствоваться. Разрабатываются более активные и селективные катализаторы, совершенствуются цинк-хромовые катализаторы, методы получения и подготовки исходного технологического газа, аппаратурное оформление процесса. Более полно используется тепло, выделяющееся при синтезе метанола.

Разрабатываются технологические схемы на основе прогрессивной техники. Новые мощные агрегаты синтеза метанола производительностью до 30 тыс. т/г в энергетическом отношении будут автономны – для ведения процесса практически не потребуется подводить извне энергию и пар.

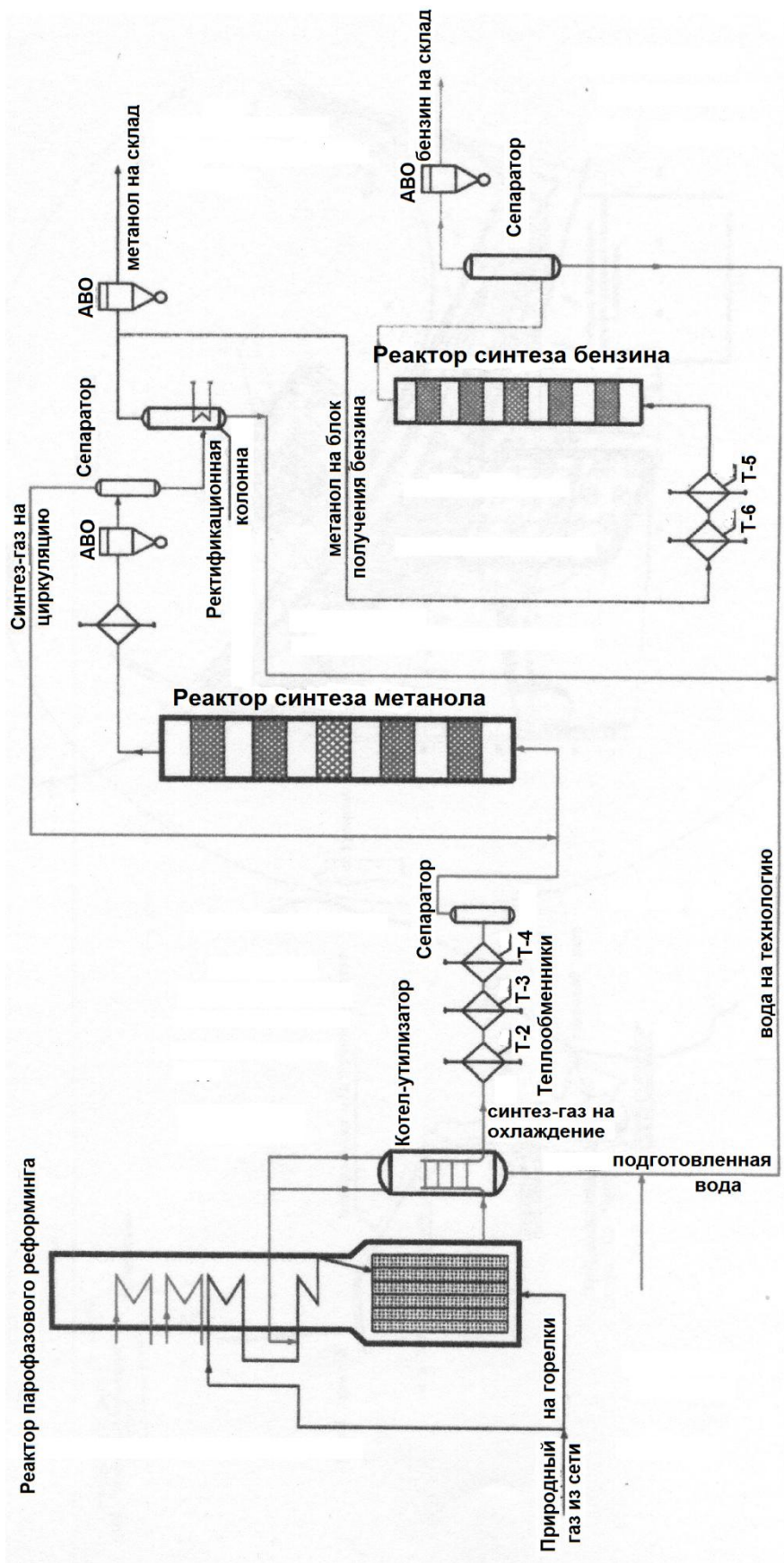


Рис. 35. Принципиальная схема получения метанола и бензина из природного газа

12. ПРОБЛЕМЫ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ПОЛИТИКИ В РОССИИ

Бесценный опыт получен многими, особенно развитыми энергодефицитными странами после повышения в разы стоимости нефти арабскими поставщиками в 70-е годы XX века. Был дан старт повсеместному энергосбережению как индикатору конкурентоспособности, значимость которого растет с ростом цен на топливно-энергетические ресурсы (ТЭР). Беды развитых стран, небогатых энергоресурсами, практически не коснулись тогдашнего СССР, естественно, как и резкий рост потребности в энергоэффективных технологиях, механизмах финансирования энергосбережения и пр. Проблемы энергоэффективности и энергосбережения в РФ имеют ряд причин. Остановимся лишь на некоторых.

1. На фоне масштаба российских ресурсов сложилась твердая уверенность в том, что у нас в России всего много, в том числе и ископаемых углеводородов.

2. Наличие мощного российского ТЭКа и, главное, соответствующего могучего лобби, желающего сохранить свои прибыли и влияние, породило непринятие энергосбережения и возобновляемых источников энергии. Был запущен такой термин, как нетрадиционные источники энергии (при этом к ним отнесли энергию солнца, ветра и воды).

3. Присутствующая в энергосбережении коррупционная составляющая, например, при проведении тендеров на энергетические обследования. Когда выигрывают не профессионализм и знание, а демпинг и сговор. Удивительно, что это срабатывало при ФЗ № 94 от 21 июля 2005 года, сохранилось и при введении ФЗ № 44 от 5 апреля 2013 года. Даже «победители» тендеров те же.

4. Отсутствие стройной системы управления энергосбережением как на национальном, так и на региональном уровне. Классика энергосбережения подразумевает наличие следующих четырех составляющих: закон по энергосбережению, программа по энергосбережению, механизм финансирования энергосбережения и создание управляющей структуры (организации) с правами ми-

нистерства, отвечающей за энергосбережение рублем. Если на сегодня в РФ существуют вполне современные закон и программа по энергосбережению и энергоэффективности, то с финансированием нет ясной картины, всем правит тендер, не учитывающий ни региональную составляющую, ни качество выполнения работ по энергоэффективности. Не до конца понятна роль Российского энергетического агентства. Видимо, нужна стратегическая программа энергоэффективности России, по значимости соответствующая ГОЭЛРО.

5. Недостаточное понимание глобальности и комплексности энергосбережения и сопутствующих ему эффектов, его роли в снижении нагрузки на окружающую среду и изменение климата при реализации проектов энергосбережения (энергоэффективности).

На рис. 36 представлена схема комплексного экономического эффекта от энергосбережения. Он предполагает к рассмотрению, кроме экономического вклада от экономии энергоресурсов, экологическую, и подход является базой низкоуглеродной (зеленой) экономики – той, в которой экономический рост сопровождается повышением энергоэффективности, снижением нагрузки на окружающую среду и климат за счет предотвращенного экологического ущерба и сокращения выбросов парниковых газов. То есть, занимаясь энергосбережением, мы улучшаем экологическую и климатическую ситуацию своего региона, нашей страны, планеты.

6. Ну, и еще одна беда нашей современности – это воинствующий дилетантизм и безответственность в энергосбережении и энергоэффективности. Так, заказчики выполнения энергоаудита или схемы теплоснабжения объекта бюджетной сферы и ЖКХ очень отдаленно представляют ту работу, которую заказывают и будут принимать у исполнителя. А 70 % исполнителей располагают аналогичным, с позволения сказать, опытом и знаниями. И здесь, конечно же, главным мерилом выступают цена и демпинг. Огромный вред наносят электронные торги. К примеру, в ходе электронных торгов на проведение энергетического обследования объектов УМВД России по Тюменской области в апреле 2013 года цена была снижена с 2 500 000 до 11 750 рублей, после чего

аукцион развернулся на повышение. В итоге победившая в аукционе контора должна была заплатить 11 000 предприятию за право бесплатно выполнить работы. В такой ситуации, естественно, профессионалы-энергоаудиторы чувствуют себя лишними.



Рис. 36. Синергетический эффект энергосбережения

7. По словам Председателя Правительства Д.А. Медведева, ежегодно только из федерального бюджета тратится на энергосбережение 7 млрд рублей, а результата нет. По классике энергосбережения, каждый вложенный рубль должен давать 3–4 рубля. Надо попытаться с научной точки зрения разобраться, почему не идет в России энергосбережение? Видимо, необходимо выполнить серьезное социологическое исследование на эту тему по разным направлениям с точки зрения поставщика и потребителя, ученого, чиновника и бизнесмена, студента, рабочего, фермера, домохозяйки. И многое станет ясным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ануфриев, В.П. Теория и практика энерго-ресурсосбережения: учебное пособие / В.П. Ануфриев, Ю.В. Лебедев, Ф.М. Черномуров ; под общей ред. Ф.М. Черномурова. – Екатеринбург, 2006. – 405 с.
2. Ануфриев, В.П. Энергоэффективность и экономическое развитие. Книга 1 / В.П. Ануфриев, В.Д. Кулик, Ф.М. Черномуров [и др.]. – Екатеринбург, 2002. – 203 с.
3. Ануфриев, В.П. Региональная стратегия низкоуглеродного развития на примере Свердловской области: монография / В.П. Ануфриев, А.Ю. Галенович, А.П. Кулигин [и др.]. – Екатеринбург : УРФУ, 2012. – 135 с.
4. Ануфриев, В.П. Региональная стратегия низкоуглеродного развития на примере Свердловской области: монография / В.П. Ануфриев, А.Ю. Галенович, А.П. Кулигин [и др.]. – Екатеринбург : УРФУ, 2012. – 135 с.
5. Ануфриев, В.П. Держим курс на энергоэффективность / В.П. Ануфриев, В. Лобанов // ЭнергоStyle. – 2014. – № 3 (28). – С. 18–24.
6. Башмаков, И. Региональная политика повышения энергетической эффективности: от проблем к решениям / И. Башмаков. – М. : ЦЭНЭФ, 1996.
7. Бесков, В.С. Общая химическая технология и основы промышленной экологии: учебник / В.С. Бесков, В.С. Сафронов. – М. : Химия, 1999. – 472 с.
8. Гуреева, М.А. Экономика нефтяной и газовой промышленности: учебник / М.А. Гуреева. 2-е изд. – М. : Академия, 2012. – 240 с.
9. Данилов, Н.И. Энергосбережение – от слов к делу / Н.И. Данилов. 2-е изд. – Екатеринбург : Энерго-пресс, 2000. – 305 с.
10. Кулик, В.Д. Управление энергетикой города / В.Д. Кулик, В.П. Ануфриев, Ф.М. Черномуров. – Екатеринбург, 2001. – 144 с.
11. Степанов, В.С. Анализ энергетического совершенства технологических процессов / В.С. Степанов. – Новосибирск : Наука, 1984. – 217 с.
12. Черномуров, Ф.М. Элементы энерготехнологических комплексов в цветной металлургии / Ф.М. Черномуров. – М. : Изд. Красноярского Университета, 1984. – 175 с.

13. Эдди, Патрик Т. РИТЭК гасит факелы и обеспечивает промыслы энергией / Патрик Т. Эдди // Нефть и газ ЕВРАЗИЯ, декабрь – январь, 2003–2004 г.

Утилизация попутного нефтяного газа (ПНГ) в Кондинском районе (ХМАО-Югра, Россия)

Владелец проекта: ОАО «Юкон-Газ»

Разработчик PIN: ОАО «Уральский центр энергосбережения и экологии»

1. Резюме

Цель проекта:

- утилизация ПНГ путем сжижения и разделения на фракции;
- поставка продуктов разделения ПНГ для нужд Кондинского и Октябрьского районов (коммунальное теплоснабжение, замещение топлива на промышленных котельных, бытовые нужды);
- снижение стоимости теплоснабжения для жителей Кондинского района ХМАО-Югра.

Описание проекта и предлагаемой деятельности

На сегодняшний день очень остро стоит вопрос обеспечения объектов ЖКХ тепловой энергией и горячим водоснабжением в Кондинском районе. Основным топливом для котельных Кондинского района являются твердое топливо (уголь, дрова) и жидкое (нефть). Себестоимость тепловой энергии велика и составляет от 750 до 4000 руб./Гкал. Это обусловлено малоэффективным оборудованием котельных, большими потерями в тепловых сетях, низкой эффективностью использования топлива. В результате расходы на выработку тепловой энергии в 1,5 раза превышают нормативные.

В то же время в Кондинском районе ХМАО-Югра важной проблемой является сжигание ПНГ в факелах. В районе ежегодно сжигается на факелах около 130 млн. м³ нефтяного попутного газа. В связи с этим ОАО «Юкон-Газ» совместно с Администрацией Кондинского района и при поддержке Департамента инвестиций, науки и технологий ХМАО инициировал проект, который предусматривает утилизацию ПНГ с помощью криогенных технологий и перевод системы теплоснабжения района на ССОГ.

Деятельность по проекту:

1. Установка на Даниловском месторождении криогенной установки и разделение с ее помощью попутного нефтяного газа на три фракции: – метан-этановая смесь (ССОГ), сжиженное пропан-бутановое топливо (СПБТ) и стабильный газовый бензин (СГБ).
2. Поставка ССОГ от криогенной установки для нужд коммунального теплоснабжения тягачами в криогенных танках.
3. Поставка СПБ для нужд ООО «Лесопромышленная компания МДФ».

2. Участники проекта

2.1. Владелец проекта: ОАО «Юкон-Газ».

Основной бизнес организации: снабжение предприятий и населения Кондинского и Октябрьского районов Ханты-Мансийского автономного округа пропаном. ОАО «Юкон-Газ» покрывает 39 % потребности рынка в сжиженном пропане. Объем производства – 556 тонн пропана в год.

Основные производственные единицы: газонаполнительная станция, автогазозаправочные станции (3 шт.), эстакада по сливу и заполнению железнодорожных цистерн, кислорододобывающая станция.

2.2. Разработчик проекта: Ural Centre for Energy Efficiency and Environment (UCEE).

3. Детальная информация о проекте

3.1. Общая информация

В настоящее время районные система централизованного теплоснабжения используют низкокалорийное местное топливо (дрова), либо топливо, транспортируемое издалека (уголь – 3 тыс. км, нефть). Кроме того, используемые котельные установки имеют низкую эффективность, наблюдаются большие потери тепла в тепловых сетях. В результате стоимость поставляемой тепловой энергии превышает установленные нормативы в 1,5 раза и составляет от 750 до 4000 руб./Гкал. Администрация района вынуждена предоставлять населению субсидии на частичную оплату тепла. Общая численность населения,

обслуживаемого централизованными системами теплоснабжения, – 11 100 человек.

В то же время в Кондинском районе ежегодно сжигается в факелах более 130 млн. м³ нефтяного попутного газа.

УЦЭЭ подготовил бизнес-план для Администрации Кондинского района с техническим и экономическим обоснованием возможности использования продуктов переработки попутного нефтяного газа Даниловского месторождения для коммунального теплоснабжения в 9 населенных пунктах Кондинского района. Для переработки ПНГ предложена криогенная технология. В качестве оператора установок Администрация района выбрала ОАО «Юкон-Газ».

В настоящее время:

1. Достигнута договоренность о внесении дополнения к лицензионному соглашению между ОАО «Лукойл-Западная Сибирь» (Oil company) и территориальным агентством Югра-Недра на передачу попутного нефтяного газа ОАО «Юкон-Газ». В настоящее время заканчивается оформление документов на использование ПНГ.

2. Подписаны соглашения о намерениях по реализации продуктов переработки ПНГ:

- ССОГ – администрация Кондинского района;
- СПБТ – ООО «Лесопромышленная компания МДФ»;
- ГБ – газоперерабатывающий завод (г. Нягань).

3.2. Место реализации проекта

Российская Федерация, Тюменская область, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Кондинский район, п. Мортка.

Проект будет выполняться на Даниловском месторождении.

Конкретная площадка расположена:

- в 50 км от Урая – центра Кондинского района;
- 220 км от Мортки – места расположения офиса ОАО «Юкон-Газ»;
- 450 км к северо-востоку от Екатеринбурга.

3.3. Категория деятельности по проекту

Категория проекта:

- Энергоэффективность на ТЭЦ и ГРЭС.
- Энергоэффективность в промышленности.
- √ Замена топлива (например, в промышленности или строительной отрасли.)
- Энергоэффективность передающих и распределительных систем.
- Совместное производство тепловой и электрической энергии.
- Энергоэффективность в строительстве.
- Возобновляемые источники энергии.
- Улавливание биогаза на полигонах, метана в шахтах.
- Обращение с отходами.
- √ Другое: прекращение сжигания ПНГ в факелах.

Тип проекта:

- √ Модернизация существующих структур (retrofit).
- Расширение существующего производства (brownfield).
- Строительство нового завода (greenfield).

3.4. Технические аспекты

В рамках проекта ОАО «Юкон-Газ» планирует закупить и установить следующее оборудование для утилизации попутного нефтяного газа:

- криогенная установка сжижения и разделения ПНГ (1 шт.);
- цистерны хранения ССОГ, СПБТ, СГБ (всего 12 шт.);
- агрегат насосный криогенный для выдачи ССОГ (ACD-Cryo, 2 шт.);
- агрегат насосный для СУГ (2 шт., Польша);
- насос для выдачи СГБ (2 шт.);
- транспортные цистерны для перевозки ССОГ, СПБТ, СГБ (11 шт.);
- седельные тягачи (9 шт.), автокраны.

Все вышеперечисленное оборудование российского производства.

Объем утилизируемого попутного нефтяного газа составляет 45 млн $\text{нм}^3/\text{год}$. При разделении этого количества получают следующие фракции (исходя из состава ПНГ и выхода фракций):

- ССОГ – 28 800 т, из них 3400 т используется криогенной установкой на собственные нужды, 25 400 т используется для отопления поселков Кондинского района (7000 т для замещения централизованных систем отопления и 18 400 т – для использования вместо печного отопления);
- СПБТ – 8230 т, из них 7300 т будет использовано ООО «Лесопромышленная компания МДФ» в качестве топлива для промышленной котельной (в настоящее время в качестве топлива используется щепа), 930 т – на собственные нужды криогенной установки;
- СГБ – 3600 т будет направлено в г. Нягань на газоперерабатывающий завод, где он будет использован для производства пропана и пиролизного газа.

Продукция до места назначения будет доставляться в криогенных или теплоизолированных цистернах седельными тягачами. Среднее плечо перевозок ССОГ и СПБТ – 250 км, СГБ – 350 км. На месте назначения ССОГ будет перекачиваться в приемные емкости.

Для работы установки (подогреватели регенераторного газа, питание системы управления, освещения, воздушного компрессора, электродвигатели насосов, электронагреватели ректификационных колонн) требуется электрическая энергия: 1,159 млн кВтч/год.

Расход газа на собственные нужды (газовые приводы циркуляционного компрессора, компрессора смешанного хладагента, компрессора аммиачного холодильника и пр.) – 4320 т/год.

Потребление воды при запуске – 1470 т, пополнение запаса воды – 0,1 т/сутки.

Риски, связанные с реализацией проекта

1. Организационные риски.

Функционирование криогенной установки возможно только при наличии постоянного сбыта продукции. Поэтому параллельно с реализацией рассматриваемого проекта запланирован проект по переоборудованию систем коммунального теплоснабжения, установке приемных емкостей ССОГ в населенных пунктах, установке индивидуальных газовых котлов на объектах социального назначения и в жилых домах. Эта программа финансируется Администрацией Кондинского района из собственного бюджета, что значительно снижает риск.

2. Технические риски.

Установки ожижения не являются стандартным видом оборудования, поскольку принципиальная схема и состав оборудования определяются в зависимости от целого ряда параметров, характерных для конкретного объекта: давление газа, его состав, содержание ценных и вредных примесей, наличие влаги и твердых примесей. В то же время имеется договоренность с организацией (ЗАО «Нефтегазтоп»), имеющей соответствующий опыт, о проектировании, изготовлении и шеф-монтаже установки.

3. Финансовые риски.

Затраты на выполнение проекта достаточно высоки (14,5 млн. долларов). Но в то же время проект обладает хорошими финансовыми показателями (период окупаемости – 5,2 лет, IRR – 33 %, NPV – 188,7 млн руб.). Финансовые риски снижаются за счет обеспечения Администрацией района благоприятных условий по проекту и погашения процентов по кредиту ОАО «Юкон-Газ».

3.5. График выполнения проекта

Текущий статус проекта:

√ Концептуальная фаза.

√ Разработан бизнес-план.

□ Разработано ТЭО.

□ Объявлен тендер.

□ Идут переговоры по оборудованию / контракту с Поставщиком и пр.

Статус финансирования: идет поиск инвесторов. Имеется договоренность с Правительством ХМАО о финансировании 30 % от стоимости проекта.

Статус получения согласований:

- Ростехнадзор – требуется получить;
- Росприроднадзор – требуется получить.

Ключевые договоры и даты их подписания:

- договор на поставку ПНГ с Даниловского месторождения;
- договор на покупку ССОГ с УЖКХ Кондинского района;
- договор на покупку СПБТ с ООО «Лесопромышленная компания МДФ»;
- договор на покупку СГБ ГПЗ г. Нягань;
- кредитный договор с инвесторами;
- договор на проектирование;
- договор с поставщиком оборудования.

Разработка проекта: 1 июня 2007.

Поставка оборудования: 1 октября 2007.

Окончание строительно-монтажных работ: 31 декабря 2007. Заключено соглашение с ЗАО «Нефтегазтоп» на комплектацию комплекса по утилизации попутного нефтяного газа, осуществление шеф-монтажных и пуско-наладочных работ (строительство «под ключ» комплекса по утилизации ПНГ).

Окончание пуско-наладочных работ: 01 января 2008.

Выход на полную мощность: 2008.

4. Сокращение выбросов парниковых газов

4.1. Парниковые газы

Парниковые газы, сокращение выбросов которых намечается по проекту:

CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆

√ √ √ □ □ □

Оценка относящихся к проекту сокращений выбросов парниковых газов

Год	Эмиссии по базовой линии, тонн CO ₂ -eqv.	Эмиссии по проекту, тонн CO ₂ -eqv.	Утечки (внеплощадочные эмиссии), тонн CO ₂ -eqv.	Сокращение эмиссий ПГ, тонн CO ₂ -eqv.
2008	212 377,29	15 403,9	100 938,6	96 034,85
2009	212 377,29	15 403,9	100 938,6	96 034,85
2010	212 377,29	15 403,9	100 938,6	96 034,85
2011	212 377,29	15 403,9	100 938,6	96 034,85
2012	212 377,29	15 403,9	100 938,6	96 034,85
Итого				480 174

Ожидаемый период генерации сокращений выбросов 2008–2012.

4.2. Базовая линия

В качестве базового сценария выбрано продолжение существующей ситуации, включая непрерывную добычу нефти и сжигание высвобождающегося ПНГ на площадке Даниловского месторождения, частичное обеспечение централизованным теплоснабжением населения и организаций Кондинского района от районных котельных за счет сжигания местного (дрова, щепа) и привозного (уголь, нефть) топлива, потребление районными котельными электроэнергии из сети.

Такой сценарий выбран по следующим причинам:

1) отсутствие четкой политики на федеральном уровне относительно утилизации ПНГ, в 2003 году проект Закона РФ «О регулировании утилизации ПНГ» был отозван из Государственной Думы;

2) нефтедобывающие компании не соблюдают условий лицензионных соглашений, в соответствии с которыми требуется утилизация 95 % ПНГ. Несоблюдение условий вызвано отсутствием мер ответственности и штрафов за превышение норм сжигания;

3) не определен статус ПНГ: он не обозначен как отдельный вид продукции, в связи с чем на него не установлен налог при добыче; с другой стороны,

он не определен как отход, в связи с чем к нему не применяются экологические платежи;

4) в России не распространена практика использования небольших и средних заводов по переработке ПНГ.

В отсутствие проекта (базовый сценарий) происходят выбросы от следующих источников:

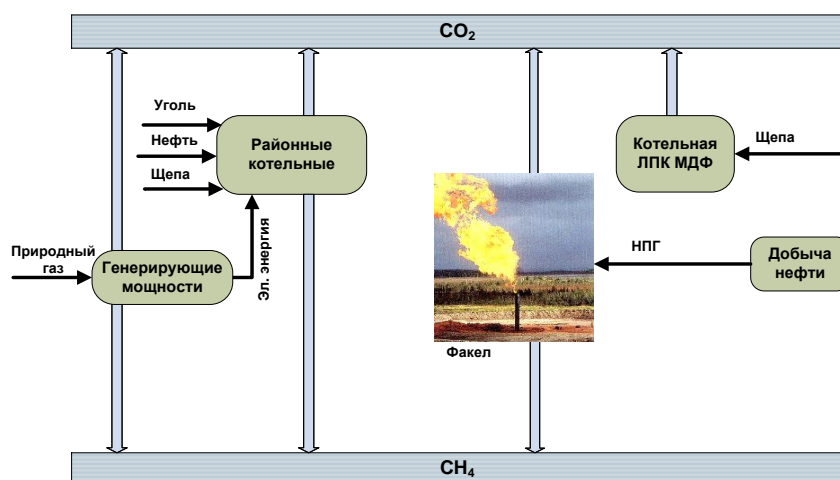
1. Факельная установка с дебетом по ПНГ 45 млн м³/год.

2. Котельные установки систем централизованного теплоснабжения 16 населенных пунктов Кондинского района в объеме 118 260 Гкал/год. Интегральный годовой расход топлива котельными составляет: нефть – 14 925 т, уголь – 3 027 т, щепа – 7 368 м³.

3. Эмиссии при выработке электрической энергии, потребляемой котельными установками в количестве 14 040,26 тыс. кВтч/год. Потребление происходит из сети Тюменьэнерго. В качестве топлива генерирующими мощностями используется природный газ.

4. Эмиссии котельной ООО «Лесопромышленная компания МДФ», использующей в качестве топлива щепу в количестве 193 248 м³/год.

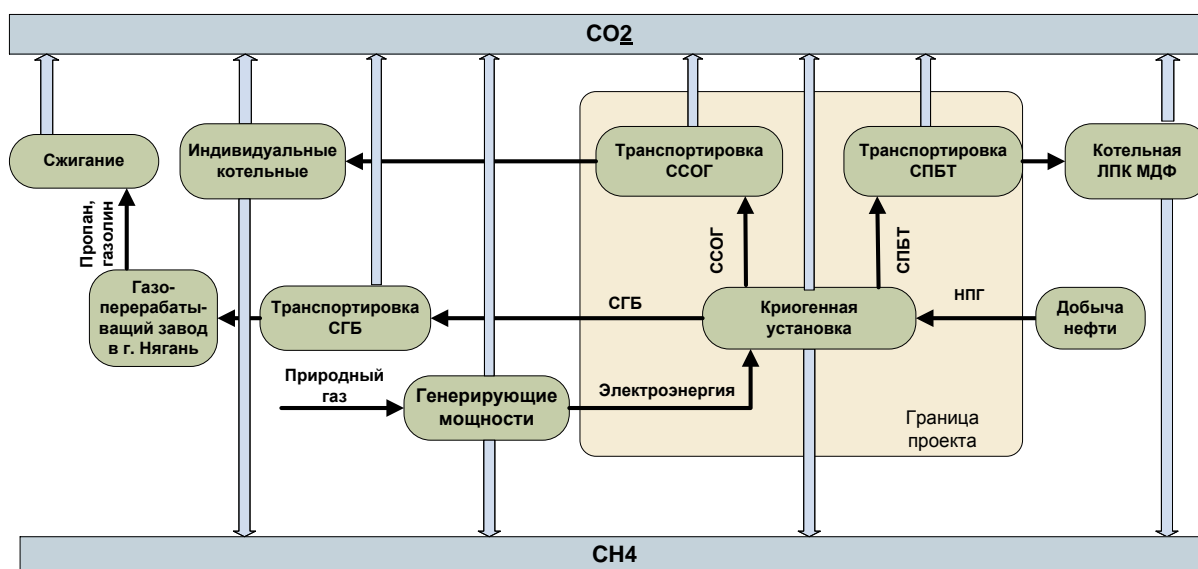
При расчете эмиссий по базовому сценарию не учитывались эмиссии от сжигания дров в частном жилом секторе, поскольку после вырубki деревьев на этом месте будет вырастать новые деревья, обеспечивая сток углерода в этом же объеме.



4.3. Границы проекта

В границы проекта включены следующие источники эмиссии парниковых газов:

- использование ССОГ и СПБТ на собственные нужды криогенной установки – 4320 т/год;
- эмиссии при перевозке ССОГ автотранспортом. (Доставку осуществляет ОАО «Юкон-Газ».) Потребление дизельного топлива составит 782,87 тыс. л/год;
- эмиссии при перевозке СПБТ автотранспортом. (Доставку осуществляет ОАО «Юкон-Газ».) Потребление дизельного топлива составит 186,65 тыс. л/год.



4.4. Утечки

К утечкам (внеплощадочным неконтролируемым эмиссиям) отнесены:

- эмиссии при сжигании ССОГ в индивидуальных котельных – замещение системы централизованного теплоснабжения (7000 т/год);
- эмиссии при сжигании ССОГ в индивидуальных котельных – замещение печного отопления (18 400 т/год);
- эмиссии при сжигании СПБТ в котельной ООО «Лесопромышленная компания МДФ» в количестве 7300 т/год;
- эмиссии при перевозке СГБ потребителям автотранспортом;

- эмиссии при производстве электрической энергии, потребляемой криогенной установкой из сети, в объеме 43,35 тыс. кВтч/год;
- эмиссии при использовании (сжигании) продукции (пропана и пиролизного газолена) газоперерабатывающего завода в Нягани, куда направляется СГБ.

5. Эффекты дополнителности и устойчивости

5.1. Дополнителность

В Российской Федерации не существует строгой нормативной базы для прекращения сжигания попутного нефтяного газа в факелах. Во многих случаях утилизация ПНГ является экономически невыгодной. Поэтому в случае реализации сценария обычного развития бизнеса сокращения эмиссии парниковых газов не будет. Таким образом, сокращение эмиссии парниковых газов по проекту будет дополнительным к тому, что требуется законодательством принимающей страны.

Сокращение эмиссии загрязняющих веществ также будет дополнительным к тому, что требуется Российским законодательством.

Не обнаружены барьеры для реализации базового сценария. в то же время существуют технические, финансовые и рыночные барьеры для реализации проекта.

5.2. Эффекты устойчивости

Проект вносит вклад в устойчивое развитие по следующим причинам:

- рациональное использование углеводородного сырья, сбережение ископаемого топлива;
- использование местного топлива;
- сокращение потребления электрической энергии;
- улучшение состояния окружающей среды;
- развитие и диверсификация местной экономики.

6. Природоохранные, социально-экономические эффекты и эффекты развития

6.1. Природоохранные эффекты

Прямое негативное воздействие на окружающую среду самой криогенной установки и устанавливаемого криогенного оборудования (приемные емкости, газораспределительные системы и пр.) является незначительным. Все оборудование монтируется на существующих площадках.

Будет наблюдаться некоторое увеличение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при транспортировке продукции автотранспортом. В то же время будут снижены эмиссии при транспортировке топлива на районные и промышленную котельные, а также при доставке дров населению.

требуется

не требуется

6.2. Социально-экономические эффекты и эффекты развития

Ожидаемое социальное и экономическое влияние проекта:

1. Использование продуктов утилизации ПНГ в системах индивидуального отопления позволит улучшить экологическую ситуацию и условия проживания.

2. Создание дополнительных рабочих мест (56).

3. Внедрение систем автономного теплоснабжения приведет:

– к снижению стоимости тепловой энергии с 32 до 17 евро/Гкал.

– экономии средств на теплоснабжение до 2 млн евро/год.

Проект охватывает индивидуальные дома, объекты социальной сферы, административные здания.

Структура занятости по проекту:

Работники младше 14 лет.

Работники старше 14 лет.

Имеют ли место следующие эффекты, возникающие в результате выполнения проекта?

- Переселение.
- Ограничение доступа к существенным ресурсам.

Обязательная покупка земли.

7. Стоимость и финансирование

7.1 Таблица производственных затрат

Показатель	Наименование статьи	Сумма, руб.	Сумма, евро
Ожидаемая стоимость выполнения проекта (общие инвестиции, 2007 г.)	Всего,	498 000 000	14 561 404
	в т.ч.		
	• кап. затраты;	378 000 000	11 052 632
	• материалы;	15 750 000	460 526
	• производственные издержки;	5 634 820	164 761
	• персонал;	10 668 000	311 930
	• прочие расходы (налоги, проектирование, проценты по кредиту)	87 947 180	2 571 555
Годовой доход после реализации проекта (2008–2016 гг.)		182 966 102	
Ожидаемые ежегодные издержки (2008–2016 гг.)	Всего,	88 154 493	2 577 617
	в т.ч.		
	• стоимость сырья, материалов;	15 750 000	460 526
	• налог на имущество;	6 660 551	194 753
	• зарплата;	10 668 000	311 930
	• социальные отчисления;	2 773 680	81 102
	• производственные издержки;	4 775 271	139 628
	• амортизация;	17 586 644	514 229
• налог на прибыль	29 940 347	875 449	

Чистая ежегодная прибыль (2008–2016 гг.)		94 811 609	2 772 269
Финансовые показатели проекта	Срок окупаемости, лет IRR, NPV	5,25 33% 188 700 000	5,25 33 % 5 517 544

7.2 Финансирование

Источники финансирования (собственный/заемный капитал, финансовые институты)

Бюджет ХМАО-Югра	€ 4 368 421 (30,0%)
Заемные средства (Банк ХМАО, лизинговые компании)	€ 7 792 983 (53,5%)
Углеродные инвестиции:	€ 2 400 000 (16,5%)
Предлагаемая стоимость ЕСВ	€ 5,0 / tCO ₂

Рассмотрение условий дополнительности проекта

Для проектов по снижению сжигания газа (ССГ) используется следующий инструментарий для определения дополнительности. Перечень этих инструментов был опубликован в Отчете № 6 Глобального партнерства между частными и государственными секторами по сокращению объемов сжигания попутного газа в 2005 году.

Будут исследованы следующие инструменты:

- сокращение опций базовой линии;
- анализ барьеров;
- ссылка на обычную практику.

1. Сокращение опций базисной линии

Опции базовой линии	Требования законодательства*	Техническая выполняемость
1. Существующая опция: ПНГ сжигание	Наиболее правдоподобный сценарий	Наиболее правдоподобный сценарий
2. Предложения проекта	Наименее правдоподобный сценарий	Наименее правдоподобный сценарий
3. Альтернативная технология – информация отсутствует	Наименее правдоподобный сценарий	Информация отсутствует, однако появится, если проектно-техническая документация будет подробно проработана

* проект Федерального закона «О регулировании утилизации попутного нефтяного газа» был отозван из Государственной Думы в 2003 году.

2. Анализ барьеров

Опции базовой линии	Технологические барьеры	Инвестиционные барьеры	Рыночные барьеры
1. Существующая опция – рПНГ сжигание	Нет барьеров	Нет барьеров	Нет барьеров
2. Реализация проекта	Технология, которую предлагается использовать по проекту, еще не используется в России. Не хватает квалифицированного персонала для управления оборудованием и тренировочных программ	Из-за нехватки средств выполнение проекта может быть отложено	Установлены ценовые ограничения на теплопроизводительность, так как передача тепла регулируется государством. В свою очередь, это сдерживает цены на разжиженный сухой очищенный газ после применения ПНГ процесса
3. Альтернативная технология – информация отсутствует	Информация отсутствует	Из-за нехватки средств выполнение проекта может быть отложено	

3. Ссылка на обычную практику

Опции базисной линии	Обычная практика
1. Существующая опция – ПНГ сжигание	Нефтедобывающие компании не соблюдают условий лицензионных договоров, в соответствии с которыми требуется утилизация 95 % НПГ. Это обусловлено отсутствием ответственности и штрафов за превышение установленных норм сжигания. Там, где это выгодно*, возможно осуществление частичной утилизации. Необходимо отметить недавние инициативы правительства по значительному увеличению штрафов за сжигание, что будет стимулировать утилизацию ПНГ как обычную практику в будущем
2. Реализация проекта	
3. Альтернативная технология – информация отсутствует	

* «Выгодно» в этом контексте означает не только положительную величину. Компания-инвестор стремится к тому, чтобы ее норма прибыли соответствовала ее стратегическим целям и политике управления рисками. Таким образом, учитывая, что утилизация ПНГ ассоциируется с повышенными рисками, для того чтобы компания могла компенсировать эти высокие риски, ей необходимо иметь норму прибыли выше средней.

Учебное электронное текстовое издание

Черномуров Федор Максимович

Ануфриев Валерий Павлович

Теслюк Людмила Михайловна

**ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ
В НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ**

Редактор

А.В. Ерофеева

Подготовлено к изданию

А.В. Ерофеевой

Рекомендован учебно-методическим советом

Разрешено для публикации 14.11.2014

Электронный формат – pdf

Объем 13,72 уч.-изд. л.



620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Информационный портал УрФУ

<http://www.urfu.ru>