

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

«ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ»

для студентов направления подготовки 18.04.01 Химическая технология
направленность (профиль) «Технология переработки нефти»

Ставрополь, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Практическое занятие № 1. Биогеохимическая и эколого-токсикологическая характеристика нефти.....	5
Практическое занятие № 2. Биогеохимическая и эколого-токсикологическая характеристика природного газа.....	13
Практическое занятие № 3. Расчет рассеивания выбросов из одиночного источника от сжигания топлива.....	17
Практическое занятие № 4. Очистка газов в процессе крекинга нефти.....	29
Практическое занятие № 5. Расчет элементов факельной системы.....	33
Практическое занятие № 6. Специфика очистки стоков нефтехимических производств	39
Практическое занятие № 7. Расчет аппаратов для очистки нефтесодержащих сточных вод.....	43
Практическое занятие № 8. Технология комплексной переработки серосодержащих отходов нефтеперерабатывающих предприятий.....	47
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	50

ВВЕДЕНИЕ

Целью изучения дисциплины «Экологические аспекты процессов нефтегазопереработки» является формирование набора универсальных и профессиональных компетенций УК-1, ПК-5, ПК-6 выпускника магистратуры по направлению подготовки 18.04.01 Химическая технология направленность (профиль) «Технология переработки нефти».

Основные задачи изучения дисциплины:

- развитие представлений об основных источниках и последствиях загрязнения воздуха, воды, почвы предприятиями нефтегазопереработки;
- приобретение знаний о методах мониторинга нефтяного загрязнения, об экологическом нормировании воздействия на компоненты биосферы
- ознакомление с методами очистки газовых выбросов, сточных вод, утилизации и рекуперации твердых отходов нефтегазопереработки.

Практическое занятие № 1. Биогеохимическая и эколого-токсикологическая характеристика нефти

Цель: приобретение практических навыков, необходимых для принятия технически и экономически обоснованных решений в вопросах организации и управления охраной окружающей природной среды на предприятиях нефтегазопереработки, при планировании и проведении научных исследований по проектированию средозащитных технологических схем, выбору очистного оборудования и эффективных природоохранных мероприятий.

Формируемые компетенции: готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения (ОК-2); готовность к совершенствованию технологического процесса – разработке мероприятий по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов производства, к исследованию причин брака в производстве и разработке предложений по его предупреждению и устранению (ПК-5); способность находить оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты (ПК-10); способность применять принципы рационального природопользования, энерго- и ресурсосберегающие технологии при проектировании и осуществлении производственных процессов (ППК-1).

Актуальность темы: Актуальность практического занятия состоит в том, что знания, полученные в ходе работы, будут использованы при написании магистерской диссертации и для определения оптимальных условий управления производственными процессами.

Теоретическая часть:

Нефть представляет собой сложную смесь углеводородов. Состав и физико-химические свойства нефти из разных месторождений значительно различаются. На рис. 1 приведены газовые хроматограммы нескольких сортов нефти, полученной из разных месторождений. На двух нижних хроматограммах (рис. 1, в, г) проставлены цифры, которые обозначают число атомов углерода в молекулах. Высота пика является количественной характеристикой – чем выше пик, тем большее количество компонента входит в состав смеси. На горизонтальной оси отложены температуры перехода отдельных компонентов в газовую фазу. Как следует из рис. 1 а, нефть Сураханского месторождения обогащена углеводородами, кипящими при температурах выше 210 °С. В состав углеводородов входят соединения, содержащие в молекуле 25 и более атомов углерода. Из такой нефти будет высоким выход солярового и машинного масел.

В нефти Балакбанского месторождения (рис. 1, б) одновременно с повышенным содержанием масел увеличена концентрация углеводородов, кипящих при температуре 155-175 °С. Такой температуре кипения отвечают фракции керосина и газойля. Эти же фракции преобладают в нефти Когур-Тепенского месторождения (см. рис. 1, в). Содержание высококипящих фракций в ней понижено. Нефть Самотлорского месторождения (см. рис. 1, г) имеет более многокомпонентный состав, но в ней преобладают низкокипящие фракции бензина и керосина.

При всем многообразии состава нефти выделяют три основные группы соединений:

- *алканы* – парафиновые (ациклические) насыщенные углеводороды. Они представлены растворенными в нефти газами ($C_1—C_5$), жидкими продуктами ($C_6—C_{15}$) и твердыми (выше C_{15}) гомологами метанового ряда. Их содержание в нефти составляет 30-50%;
- *нафтены* включают моно-, би- и полициклические соединения. В боковых цепях атомы водорода могут быть замещены ал-кильными группами. Содержание этой группы углеводородов в различных сортах нефти колеблется от 25 до 75%;
- *арены* – ароматические углеводороды ряда бензола. Они могут быть представлены моноциклическими (бензол, толуол, ксилол) или полициклическими (нафталин, антрацен и др.) структурами. В нефти их содержится до 10-20%, реже – до 35%.

Кроме того, нефть имеет некоторое количество углеводородов смешанного (гибридного) состава, например, парафино-нафте-новые и нафтено-ароматические соединения.

В состав нефти могут входить и соединения, содержащие серу (меркаптаны, тиофены, дисульфиды, тиофаны), азот (гомологи пиридина, акридина, гидрохинолина) и кислород (нафтеновые кислоты, асфальтены, смолы).

На рис. 2 показаны типичные представители соединений, входящих в состав сырой нефти. Подборка проведена экспертной комиссией (GESAMP) при ООН.

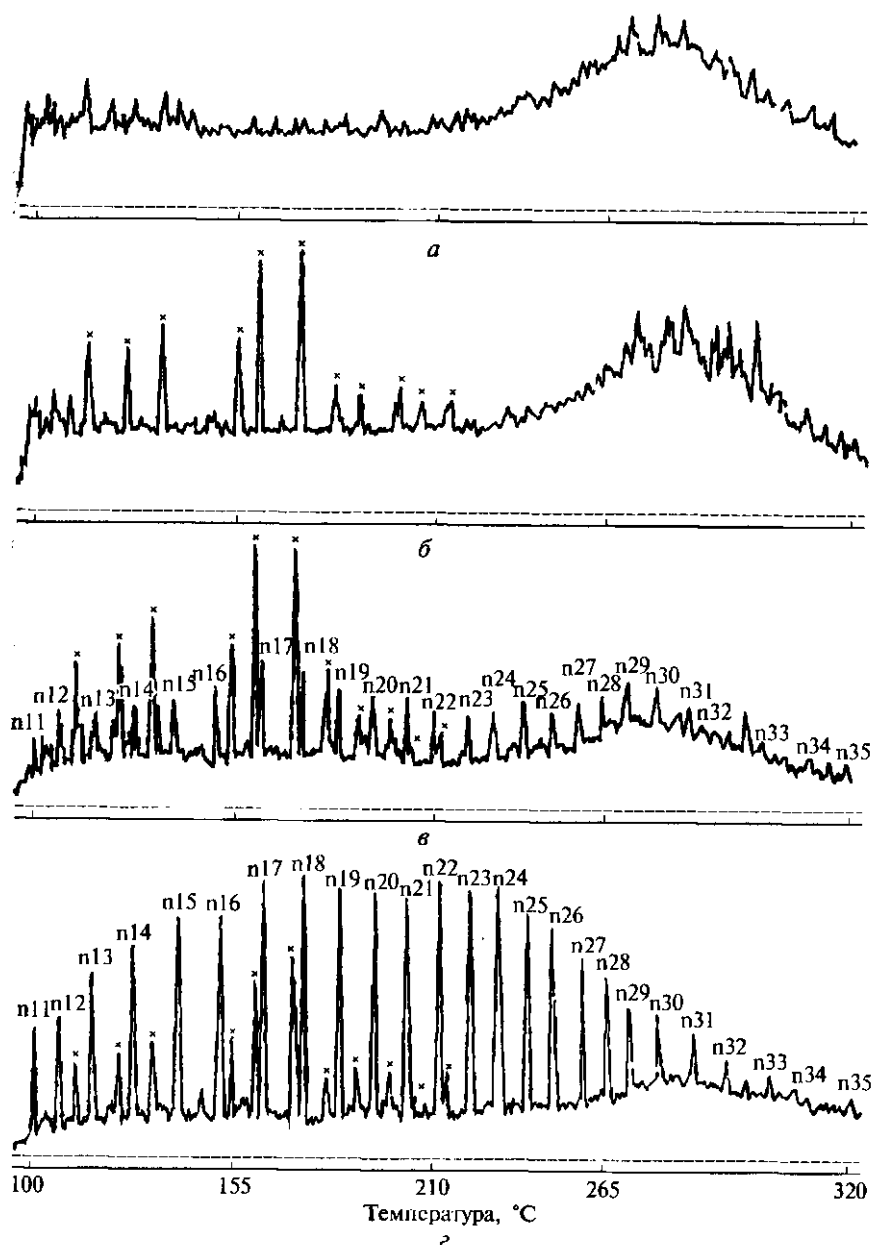


Рисунок 1 – Газовые хроматограммы образцов сырой нефти из разных месторождений

а – Суракханское; б– Балакбанское; в – Когур-Тепе; г – Самотлорское (цифры обозначают количество атомов углерода в молекулах)

При выбросе нефти в окружающую среду происходит ее контакт с атмосферой или почвенными и природными водами рек и морей.

Нефть, вступившая в контакт с окружающей средой, быстро перестает существовать в исходном виде. С компонентами нефти происходит ряд физических, физико-химических и биологических процессов и превращений.

Почти все компоненты сырой нефти имеют плотность менее 1 г/см^3 .

Часть компонентов нефти переходит в растворенное состояние. В среднем 2-5% (иногда до 15%) сырой нефти растворяется в воде.

Легколетучие фракции испаряются. В газовую фазу переходит от 10 до 40% нефти ее исходного количества. В основном идет растворение низкомолекулярных алканов, циклоалканов и бензолов.

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) типа антрацена и пирена практически не переходят в газовую фазу и подвергаются сложной трансформации в результате окисления, биodeградации и фотохимических процессов.

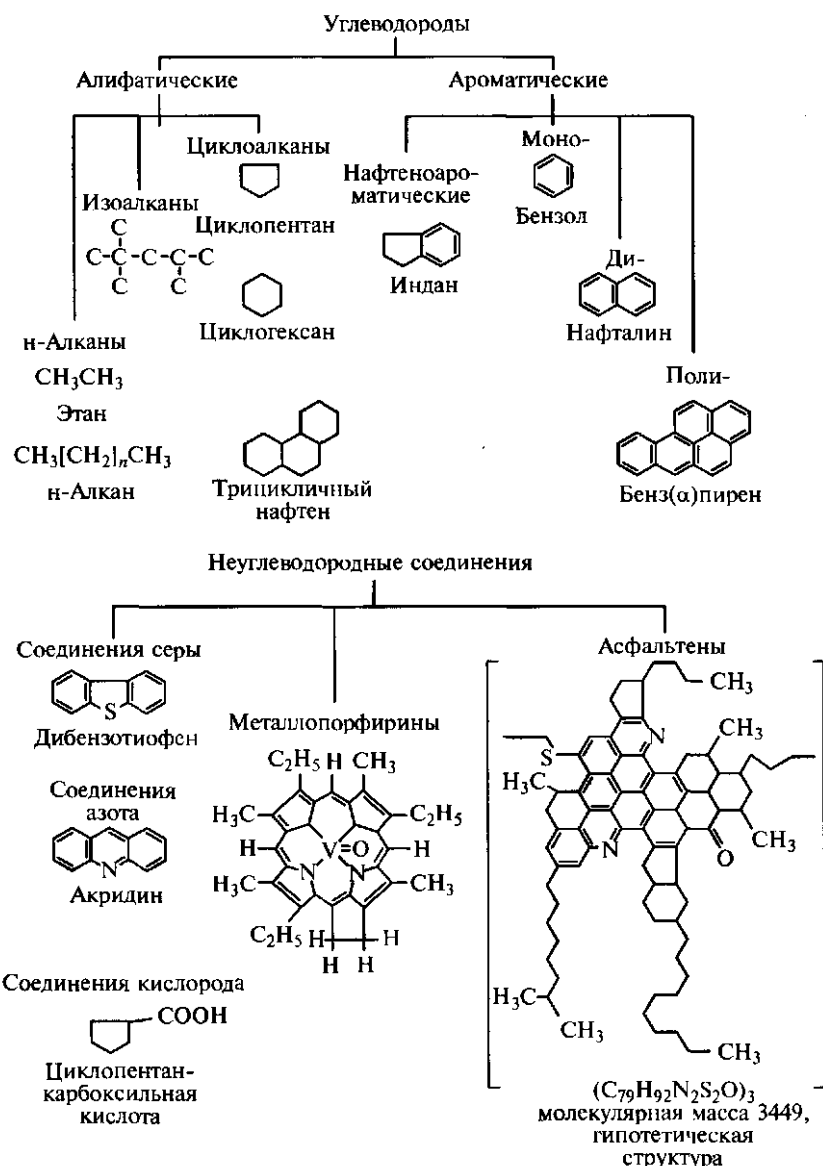


Рисунок 2 – Химическая структура типичных компонентов сырой нефти (по данным GESAMP)

В водной среде происходит фракционирование нефти и нефтепродуктов, в результате которого они могут существовать в нескольких агрегатных состояниях, в том числе:

- поверхностные пленки (слики);
- эмульсии типа «нефть в воде» или «вода в нефти»;
- взвешенные формы в виде плавающих на поверхности и в толще воды мазутно-нефтяных агрегатов;
- осажденные на дне твердые и вязкие компоненты;
- аккумулированные в водных организмах соединения.

Многолетние наблюдения за состоянием Балтийского моря показали, что 3,6% суммарного количества нефти находится в виде пленки, в донных осадках аккумулировано 15%, в эмульгированном и растворенном состоянии находится соответственно 64 и 17 % нефти.

При попадании в морскую акваторию 1 т нефти, она уже через 10 мин распространяется по поверхности в радиусе 50 м и толщиной слоя до 10 мм. Затем происходит ее быстрое последующее растекание до площади 12 км² с образованием пленки толщиной менее 1 мм. Далее следует ряд процессов, описанных выше и отображенных на рис. 3.

В течение первых нескольких суток после разлива нефти значительная ее часть переходит в газовую фазу. Улетучивается до 75% легкой фракции и до 40% и 5-10% средних и тяжелых фракций соответственно.

Нефть в виде пленки дрейфует по направлению ветра со скоростью, составляющей 3-4% скорости ветра. По мере утончения пленки и при достижении ею критической толщины около

0,1 мм она начинает разбиваться на отдельные фрагменты, которые распространяются затем на более обширные площади. Часть нефти растворяется – концентрация нефти под пленкой составляет 0,1-0,4 мг/л.

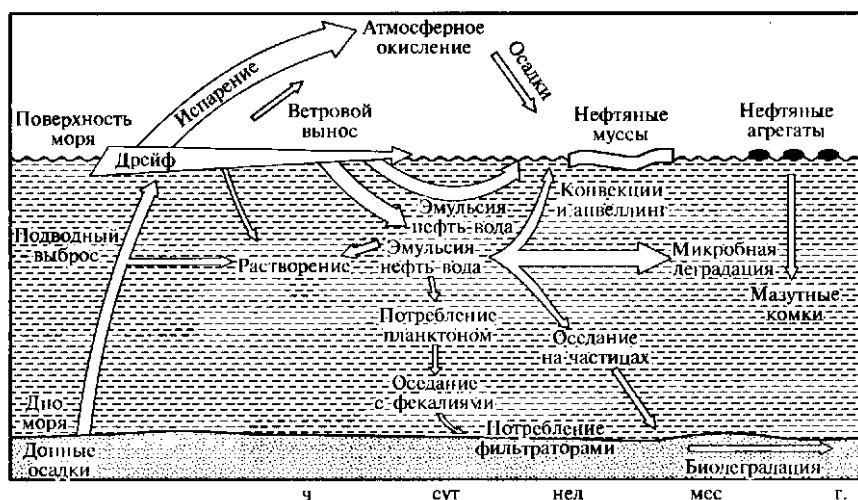


Рисунок 3 – Биогеохимические процессы трансформации и переноса нефти в море

Образование нефтяных эмульсий определяется составом нефти. Наиболее устойчивые эмульсии типа «вода в нефти» содержат от 30 до 80% воды и могут существовать в морской акватории более 100 сут.

Эмульсии типа «нефть в воде» представляют собой диспергированные в воде капельки нефти. Они малоустойчивы, во времени происходит их дальнейшее диспергирование вплоть до образования микроскопических капель. При этом ускоряются процессы разложения.

Химические превращения нефти на поверхности и в толще воды начинают проявляться не ранее чем через сутки после поступления ее в море. Они носят окислительный характер и часто сопровождаются фотохимическими реакциями. Конечные продукты окисления – гидроперекиси, фенолы, карбоксильные кислоты, кетоны и альдегиды – имеют повышенную растворимость в воде и высокую токсичность.

Часть нефти (до 10-30%) сорбируется на твердых частицах взвесей, присутствующих в воде, и осаждается на дно. Эти процессы происходят в большей степени в узкой прибрежной полосе и на мелководье. Одновременно протекает процесс биоседimentации, т.е. извлечения эмульгированной нефти планктонами и осаждение ее на дно с остатками организмов. Аккумулированные на дне тяжелые фракции нефти могут сохраняться в течение многих месяцев и лет.

Известно около 100 видов бактерий и грибов, способных использовать компоненты нефти для роста и развития. Способность углеводородов к биодegradации зависит от строения их молекул. Соединения парафинового ряда обладают этой способностью в большей степени, чем ароматические и нафтеновые соединения.

Нефтяные агрегаты в виде смолисто-мазутных композиций образуются из сырой нефти после испарения и растворения ее легких фракций и химической и микробной трансформации. На образование этих агрегатов уходит 5-10% разлитой нефти и до 20-50% отстоянной нефти из балластных и промывочных вод. Основу мазутных композиций составляют асфальтены и тяжелые фракции нефти. Время жизни нефтяных агрегатов исчисляется от месяца до года, после чего они разрушаются.

Итогом рассмотренных процессов является то, что нефть в водной среде быстро теряет свои первоначальные свойства. Происходит рассеивание и распад ее компонентов вплоть до исчезновения исходных и промежуточных соединений и образования углекислого газа и воды.

Таким образом, происходит самоочищение водной экосистемы от углеводородов, если токсическая нагрузка на нее не превышает допустимые пределы.

Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) того или иного фактора является одним из ведущих механизмов обеспечения экологической безопасности во многих странах мира. Способы проведения этой процедуры предусмотрены в международных законодательствах или в законах отдельных стран. В России такое требование отражено в ряде законов, в том числе в законе Российской Федерации «Об экологической экспертизе» (1995 г.) и в Водном кодексе

Российской Федерации (2006 г.), где зафиксирован принцип учета предельно допустимых вредных воздействий (ПДВВ) на окружающую среду при обосновании и осуществлении технических проектов, сопряженных с вторжением в природу.

Существует много определений ОВОС, а также законов и правил осуществления этой процедуры. Все они сводятся к оценке, измерению или прогнозу появления тех или иных показателей природной среды для описания ее состояния. Задача состоит в выявлении реальных или потенциально возможных нарушений природной среды под влиянием деятельности человека. Конечная цель ОВОС – служить инструментом для нормативно-правового законодательного ограничения вредных воздействий на природу.

Основным является *принцип превентивности*, который активно используется в методологии экологических оценок и природоохранной практике. Этот принцип требует при оценке воздействия на природные системы отдавать предпочтение наихудшей из возможных ситуаций (пессимистический сценарий).

Схема решения задач ОВОС применительно к рассматриваемой отрасли предполагает выполнение следующих пунктов:

- фоновое описание физических, химических и биологических параметров в пределах района, где могут проявиться те или иные экологические нарушения;
- описание характерных изменений в атмосфере, водной среде, донных осадках и биоте качественных и количественных показателей, которые происходят под действием технического воздействия;
- оценка допустимости или недопустимости прогнозируемых нарушений с учетом нормативных экологических и рыбохозяйственных требований.

В качестве окончательного критерия допустимости вторжения человеческой деятельности в природу принят *принцип устойчивости природных систем и биоресурсов* как одно из выражений концепции устойчивого развития.

Для водной среды, где загрязнение нефтепродуктами наиболее опасно, принята шкала градаций для оценки масштабов воздействия углеводородов на организмы, обитающие в водной среде (табл. 1).

Таблица 1 – Шкала масштабов воздействия токсикантов при осуществлении проектов освоения нефтегазовых месторождений в шельфовой зоне

Масштабы воздействия и характер эффектов	Показатели воздействия и нарушений
Незначительные (зона толерантности)	Изменение среды и биоты отсутствует или неразличимо на фоне природной изменчивости
Слабые	Возможны нарушения кратковременного или обратимого характера
Умеренные	Наблюдаются нарушения без признаков деградации и утраты способности системы к самовосстановлению
Значительные (зона сублетальных эффектов)	Появляются устойчивые структурные или функциональные перестройки системы
Остро активные (летальная зона)	Антропогенные воздействия приводят к гибели представителей флоры или фауны

Одним из основных эколого-токсических подходов при решении ОВОС является построение шкалы токсичности и выделение характерных диапазонов концентраций (уровней) загрязняющих веществ, при которых может проявляться вся гамма возможных биологических реакций от острых поражений до отсутствия регистрируемых эффектов.

На рис. 4 представлены данные по сопоставлению концентраций нефтепродуктов, при которых проявляются те или иные биологические эффекты, и фактически измеренных уровней нефтяного загрязнения морской среды.

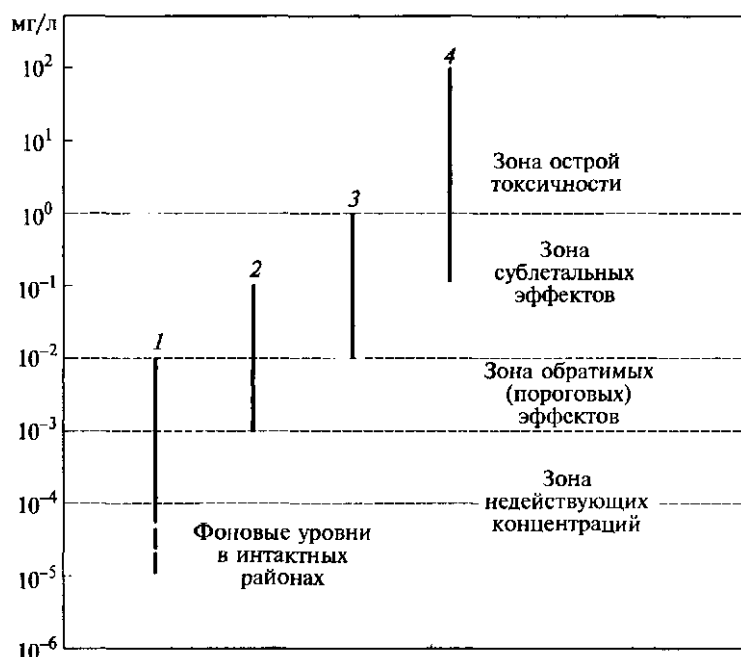


Рисунок 4 - Ориентировочные данные уровней биологического воздействия характерных концентраций углеводородов нефти в морской воде:

1– зона открытых морей и океанов; 2– прибрежные районы; 3 – заливы, эстуарии, лиманы; 4– районы локального загрязнения (при нефтяных разливах, сбросах)

Как следует из представленных данных, верхняя граница недействующих (безвредных) концентраций растворенных углеводородов нефти находится примерно на уровне 0,001 мг/л. Такая концентрация наблюдается в открытом океане и некоторых прибрежных районах. Диапазон 0,001-0,01 мг/л отвечает зоне обратимых пороговых эффектов. Здесь возможны первичные реакции организмов на присутствие нефтепродуктов, но они компенсируются на клеточном уровне и не вызывают биологических последствий.

Выше по шкале концентраций (0,01-1 мг/л) расположены зоны проявления сублетальных и летальных эффектов. Эти концентрации типичны для заливов, портовых гаваней и бухт с замедленным водообменом и повышенными уровнями хронического нефтяного загрязнения, а также для акваторий в ситуациях аварийных разливов, сбросов сточных вод и пр.

В донных осадках минимальные недействующие концентрации составляют 10-100 мкг/кг. Установленное ПДК для нефти равно 0,05 мг/л.

С экологической точки зрения нефть представляет собой токсикант неспецифического действия, основу которого составляет группа наиболее растворимых и токсичных ароматических углеводородов. Высокомолекулярные ПАУ (с числом бензольных колец 5 и выше) способны оказывать канцерогенное и мутагенное воздействие.

Сырая нефть. Это горючая маслянистая жидкость темно-коричневого цвета со специфическим запахом. Цвет нефти зависит от содержания смолистых и асфальтовых соединений. Чем больше смол и асфальтов содержит нефть, тем она темнее. Запах нефти определяется компонентным составом. По химическому составу нефть - сложное соединение углерода и водорода в жидком состоянии. Такие соединения называются углеводородами. Нефть содержит в основном парафиновые (метановые), нафтеновые и ароматические углеводороды, а также некоторое количество кислород-, серо- и азото-содержащих соединений.

Нефть, заключенная в залежи, называется пластовой нефтью. Под этим термином понимается смесь углеводородных компонентов и растворенных в них неуглеводородных примесей, которые находятся в залежи в естественных условиях при пластовом давлении и пластовой температуре в жидком состоянии.

В условиях пластового давления в нефти всегда растворено определенное количество газа, достигающее иногда 300-400 м³ на 1 м³ нефти.

При извлечении пластовой нефти из недр изменяются ее давление и температура, в результате чего нефть из однофазного жидкого состояния переходит в двухфазное – разгазированной нефть и нефтяной газ.

Жидкая фаза в пласте может, в свою очередь, состоять из нефти и пластовой воды, содержание которой в потоке может быть значительным, нередко во много раз превышающим содержание самой нефти, особенно в конце эксплуатации месторождения.

Как загрязнитель нефть представляет особую опасность для ОС и ее обитателей. При утечках, разливах нефти и попадании ее на поверхность воды и почвы нарушается закономерность самоочищения. Так, например, при разливе одной тонны нефти на воде образуется сплошная пленка площадью $2,6 \text{ км}^2$, а одной капли - около $0,25 \text{ м}^2$. Пленочная нефть менее токсична, однако вызывает изменения обменных процессов между поверхностным слоем воды и воздушной средой, нарушает первичные биохимические процессы, происходящие в поверхностном слое воды. Кислородный, углекислотный и другие виды газового обмена препятствуют проникновению солнечных лучей в глубокие слои воды, пагубно воздействуют на планктон, морскую, речную, озерную фауну и флору. Содержание нефти в воде выше 100 мг/м^3 придает рыбе специфический запах и привкус, который невозможно устранить при термической обработке.

Токсичность нефти зависит от ее химического состава, в первую очередь от количества нафтеновых кислот. Окисление нафтеновых кислот в водной среде происходит очень медленно, что делает их опасными загрязнителями водоемов. Наибольшей токсичностью обладает растворенная и эмульгированная в воде нефть. Концентрация ее выше $0,05 \text{ мг/л}$ приводит к значительным нарушениям биологического равновесия водоемов.

Действие на организм паров сырой нефти не постоянно и зависит от ее состава. Нефть, бедная ароматическими углеводородами, по действию приближается к бензинам. Пары сырой нефти малотоксичны, однако соприкосновение жидкой нефти с кожей человека может вызывать заболевания (дерматиты, экземы).

Сильное воздействие на почвы оказывают разливы нефти: физико-химические свойства почвы, впитавшей в себя нефть, изменяются. Это влечет за собой гибель земных микроорганизмов, бактерий, резкое снижение плодородия. Для приведения почв в первоначальное состояние требуется проведение большого объема восстановительных работ, материальные и финансовые затраты.

Бензин. Попадает в организм человека через дыхательные пути с воздухом и затем поступает в кровь и желудочно-кишечный тракт; через кожу всасывается слабо. В основе действия бензина на организм лежит его способность растворять жиры. Особенно сильное воздействие бензин оказывает на центральную нервную систему и кожный покров. Он может вызывать острые и хронические отравления. Острые отравления наступают при концентрации паров бензина в воздухе $0,005-0,01 \text{ мг/м}^3$. Состояние человека напоминает состояние алкогольного опьянения. Концентрация $0,040 \text{ мг/м}^3$ смертельна для человека. При частых повторных отравлениях парами бензина развиваются острые нервные расстройства. Многократные воздействия небольших количеств формируют привыкание, которое не означает меньшее воздействие яда, а характеризует опасное понижение чувствительности к нему. ПДК паров бензина - $0,003 \text{ мг/м}^3$.

Керосин. Общее действие керосина сходно с действием бензина, но раздражающее действие его паров на слизистые оболочки выражено сильнее. По токсическим концентрациям пары керосина близки к парам бензина. Действуют на кожу, вызывая дерматиты и экземы.

Мазут. Имеет сложный химический состав. Представляет собой вязкую жидкость от светло-коричневого до темно-коричневого цвета. Мазут легче эмульгируется, в стойких эмульсиях содержится до 170 мг/л мазута. Содержание мазута в воде лимитируется: ПДК - $0,3 \text{ мг/л}$.

Бензол. Бесцветная жидкость. Встречается как примесь в составе некоторых нефтяных бензинов, а также получается при перегонке нефти. ПДК - до $0,19 \text{ мг/л}$. Бензол - яд, влияющий прежде всего на нервную систему и кровь. При хроническом воздействии низких концентраций бензола на животных и рыб изменения обнаруживаются в первую очередь в составе крови. Бензол хорошо растворим в воде. ПДК в воде - $0,5 \text{ мг/л}$.

Толуол. Бесцветная жидкость с характерным запахом. Летучесть в 2 раза меньше, чем у бензола. Содержание толуола в водоеме хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного водопользования лимитируют по вредности. ПДК - $0,5 \text{ мг/л}$.

Ксилол. Бесцветная жидкость, в воде растворяется слабо ($0,13 \text{ мг/л}$). На организм человека оказывает прежде всего наркотическое действие. При длительном воздействии в малых концентрациях вызывает раздражение кровеносных органов; действие его сходно с действием

бензола и толуола. В водоемах, используемых для питьевых и хозяйственно-бытовых целей, содержание ксилола лимитируется по органолептическому показателю вредности (ПДК - 0,05 мг/л); в водоемах, используемых для рыбохозяйственных целей, ПДК - 0,5 мг/л.

Нафтеновые кислоты. Содержатся главным образом в нефтях южных месторождений. В сточных водах они присутствуют в виде солей, образующихся при щелочной очистке нефтепродуктов. Неочищенные нафтеновые кислоты представляют собой бурую маслянистую жидкость с резким неприятным запахом. Окисление нафтеновых кислот в водной среде идет крайне медленно, что делает их опасными загрязнителями водоемов. По вредности близки к нефти (пороговые концентрации - 0,2-0,3 мг/л).

Меркаптаны. Это легколетучие бесцветные жидкости с плотностью ниже единицы, плохо растворимые в воде, хорошо - в спирте и эфире. Обладают специфическим запахом и обнаруживаются в воздухе при концентрации до 2,09 мг/л. Растворяются в щелочах, образуя меркаптиды. В малых концентрациях пары вызывают тошноту, головную боль из-за отвратительного запаха. Более высокие концентрации влияют на центральную нервную систему. Обладают наркотическим действием, вызывают мышечную скованность, судороги.

Одно из перспективных направлений в природоохранной деятельности связано с использованием концепции риска и опасности. Под термином «опасность» подразумевают совокупность свойств и характеристик какого-либо объекта, которые способны привести к повреждению и ущербу экологического характера. Понятие «риск» означает вероятность реализации данной опасности в конкретных условиях и за определенное время.

Главное достоинство практических приложений теории риска состоит в том, что она позволяет избежать явления неопределенности и субъективизма при анализе экологических ситуаций. В некоторых странах эту методику используют для оценки опасности и риска сброса химических веществ в составе пластовых вод. Теория риска успешно реализуется для анализа острых рисков, связанных с экстремальными ситуациями, например, при аварийных разливах нефти, разрывов трубопроводов и т.д.

Вопросы и задания:

1. Охарактеризуйте химический состав нефти.
2. Поясните биогеохимическое поведение нефти в водной среде.
3. Дайте токсикологические характеристики нефти и нефтепродуктов.
4. Опишите токсикологические и пороговые концентрации нефти.
5. В чем состоит концепция риска и опасности?

Практическое занятие № 2. Биогеохимическая и эколого-токсикологическая характеристика природного газа

Цель: приобретение практических навыков, необходимых для принятия технически и экономически обоснованных решений в вопросах организации и управления охраной окружающей природной среды на предприятиях нефтегазопереработки, при планировании и проведении научных исследований по проектированию средозащитных технологических схем, выбору очистного оборудования и эффективных природоохранных мероприятий.

Формируемые компетенции: готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения (ОК-2); готовность к совершенствованию технологического процесса – разработке мероприятий по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов производства, к исследованию причин брака в производстве и разработке предложений по его предупреждению и устранению (ПК-5); способность находить оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты (ПК-10); способность применять принципы рационального природопользования, энерго- и ресурсосберегающие технологии при проектировании и осуществлении производственных процессов (ППК-1).

Актуальность темы: Актуальность практического занятия состоит в том, что знания, полученные в ходе работы, будут использованы при написании магистерской диссертации и для определения оптимальных условий управления производственными процессами.

Теоретическая часть:

Природные горючие газы представляют собой газообразные углеводороды, которые образовались в земной коре в результате разложения органических веществ в осадочных породах под действием высоких температур и давлений. Месторождения газов встречаются в виде обособленных скоплений или совместно с нефтяными месторождениями.

В последнем случае такие месторождения называются *газонефтяными или газоконденсатными*. В них газы частично или полностью растворены в нефти или обогащены жидкими, низкокипящими углеводородами нефти.

Попутные газы в месторождениях нефти находятся в растворенном состоянии, но в процессе добычи они выделяются по мере снижения давления. При добыче 1 т нефти выделяется 30-300 м³ газа. Эти газы составляют около 30% валовой добычи горючих газов в мире. Однако более 25% этого количества сжигается в факелах из-за отсутствия оборудования по сбору и переработке газов.

Состав газа локального подземного месторождения зависит от расположения, глубины залегания, геологической характеристики местности. Однако всегда основу химического состава природного газа составляют предельные углеводороды алифатического ряда, т. е. метан и его гомологи.

В некоторых случаях, например, на Оренбургском и Астраханском газоконденсатных месторождениях из-за высокого пластового давления и большого количества конденсата резко возрастает содержание сероводорода (до 6 и 30 % соответственно), а также углекислого газа и меркаптана. Однако подобные явления относятся к числу редко встречающихся аномалий.

Газогидраты представляют собой твердые соединения природного газа и воды, образующиеся при сочетании высокого давления и низких температур. Термодинамические условия устойчивого образования газогидратов охватывают 25% суши, расположенной в приполярных районах, и около 90% площади Мирового океана. Газогидраты обнаружены в толще донных отложений на глубинах 480-5 500 м. Они формируются за счет подтоков глубинного нефтеобразования, а также в результате возникновения биогенного метана. Газогидраты следует рассматривать как одну из разновидностей льда с высоким содержанием газа. Они представляют собой твердые кристаллические вещества, напоминающие по внешнему виду спрессованный снег.

Известно около 20 крупных районов накопления газогидратов. Оценки ресурсов этого уникального природного сырья колеблются в широких пределах – от 10¹⁵ до 10¹⁸ м³, что на порядок превышает запасы газа из подземных месторождений.

Техника и технология освоения морских газогидратных залежей пока не разработаны. Тем не менее, в перспективном плане газогидратные залежи представляют собой уникальный и грандиозный резерв углеводородов.

Газогидраты обладают способностью к образованию тонкодисперсных взвесей. При определенных условиях эти фракции могут разноситься в водных массах на большие расстояния и выступать в виде источников вторичного отравления и загрязнения морей и океанов. Взвешенные газогидраты могут аккумулироваться зоопланктоном и впоследствии приводить к их отравлению.

Газогидраты могут образовываться также при транспортировке углеводородов и в системах циркуляции рабочих растворов при эксплуатации скважин. Для предотвращения этого явления используют метанол, который добавляют в рабочие жидкости.

При освоении крупных месторождений (например, Штокмановского газоконденсатного месторождения) количество метанола, хранимого в подводных резервуарах и транспортируемого танкерами, исчисляется тысячами тонн. Метиловый спирт является токсичным веществом и относится к ядам наркотического и нервно-паралитического действия. Его ПДК равна 0,1 мг/л.

Таким образом, при оценке токсичности углеводородного сырья нужно учитывать свойства веществ, применяемых при его добыче и транспортировке.

Газовый конденсат представляет собой жидкую смесь высококипящих углеводородов различного строения и растворенных газов метановой фракции. В состав жидкой фракции входят низкомолекулярные парафины и нафтенy (32 -33 %), высокомолекулярные парафины и нафтенy (54-56%), ароматические моно- и полициклические соединения (6,5-7,5%).

При контакте с окружающей средой происходит быстрое, в течение нескольких часов, испарение легколетучих фракций газоконденсата и снижение его токсичности. Оставшиеся соединения частично растворяются в воде и подвергаются процессам физико-химической и биологической деструкции. Эти процессы аналогичны тем, которые были описаны для сырой нефти. Растворимость газоконденсата в морской среде равна 1 г/л.

Токсические свойства газоконденсата сопоставимы с аналогичными показателями для легких сортов нефти. Его попадание в морскую среду в случаях разлива или аварий имеет более серьезные экологические последствия, чем при утечках газа.

Природный газ так же, как и нефть, состоит из смеси углеводородов, только в газообразном состоянии. Он для ОС практически безвреден. Негативное воздействие на атмосферу газ оказывает при использовании его человеком в качестве топлива в газомоторкомпрессорах, котельных, автомобилях. Использование жидких продуктов перегонки нефти в ДВС, в приводе БУ в авиации, автомобилях влияет на атмосферу в виде отработанных газов. Основная часть продуктов сгорания нетоксична, имеет такой же химический состав, как и атмосферный воздух, отличаясь от него значительно большим содержанием углекислого газа и водяных паров при более низкой концентрации кислорода. Остальную объемную долю отработанных газов (0,02-1,0%) составляют продукты неполного сгорания, окисления примесей и присадок к топливу, а также оксиды азота, углерода, серы, альдегиды, сажа. Эти вещества являются вредными.

Рассмотрим некоторые токсичные загрязнители.

Оксид углерода (окись углерода) CO. Газ без цвета, запаха и вкуса. Плотность по воздуху - 0,967. Горюч. С воздухом образует взрывчатую смесь. В воде практически не растворяется. Обладает токсическим действием. Поступление CO в организм подчиняется закону диффузии газов. ПДК оксида углерода в воздухе рабочей зоны - 20 мг/м³. Концентрацию 300 мг/м³ человек переносит без заметного действия в течение 2-5 часов; 600 мг/м³ вызывает легкое отравление; 1800 мг/м³ приводит к тяжелому отравлению через 10-30 мин; при 3600 мг/м³ через 1-5 мин наступает смерть.

Диоксид углерода (двуокись углерода, углекислый газ) CO₂. Бесцветный, тяжелый, малореакционноспособный газ. При низких и умеренных температурах обладает слегка кисловатым запахом и вкусом. При содержании в воздухе до 1% нетоксичен; при концентрации 4-5% раздражающе действует на дыхательную систему, значительно учащая дыхание; при 10% вызывает сильное отравление.

Углекислый газ оказывает наркотическое воздействие на человека и может изменять его поведение (походку, реакцию зрачков и др.), раздражать слизистые оболочки. В воздухе, вдыхаемом человеком, содержится примерно 0,04% CO₂. ПДК CO₂ в воздухе составляет 1%.

В относительно малых количествах CO₂ стимулирует дыхательный центр, в больших - угнетает его и вызывает повышение содержания адреналина в крови. Привыкание людей к CO₂ признается возможным, но связано с тренировкой органов дыхания и кровообращения.

Оксид азота (NO). Бесцветный газ, быстро окисляется до NO₂. NO - кровяной яд, оказывает прямое действие на центральную нервную систему. ПДК - 5 мг/м³.

Диоксид азота (NO_2). Газ бурого цвета с удушливым запахом. Диоксид азота оказывает сильное влияние на легкие человека. При работе в течение 3-5 лет в среде с концентрацией NO_2 0,8-5 мг/м³ развиваются хронический бронхит, эмфизема легких, астма и некоторые другие заболевания. ПДК NO_2 - 5 мг/м³, при более высоких концентрациях поражается нервная система человека.

При одновременном присутствии в воздухе оксидов азота и углерода рекомендуется снизить ПДК обоих соединений.

Сернистый ангидрид (SO_2). Бесцветный газ с острым запахом. Хорошо растворяется в воде, образуя сернистую кислоту. Оказывает общее токсическое действие, нарушает углеводный и белковый обмен. При концентрации 20-60 мг/м³ раздражает слизистые оболочки дыхательных путей и глаз (чихание, кашель, покалывание в носу); при 200 мг/м³ вызывает одышку, синюшность, человек переносит эту концентрацию только 3 мин. При концентрации 300 мг/м³ происходит расстройство сознания, и через 1 мин человек теряет сознание. SO_2 вызывает изменения костной ткани. ПДК - 10 мг/м³.

Токсичность SO_2 резко возрастает при одновременном воздействии с сероводородом, окисью углерода, аммиака и окислами азота.

Сероводород (H_2S). Бесцветный газ с резким неприятным запахом, ощутимым даже при незначительных концентрациях (запах тухлых яиц). Плотность сероводорода по отношению к воздуху 1,19, поэтому он может скапливаться в низких местах ямах, колодцах, траншеях, тоннелях, ящиках конденсаторов, холодильниках и т.п. Сероводород легко растворяется в воде и очень легко переходит из растворенного состояния в свободное.

В организм человека сероводород поступает главным образом через органы дыхания и в небольших количествах через кожу и желудок. При вдыхании сероводород задерживается преимущественно в верхних дыхательных путях. В небольших количествах он угнетает центральную нервную систему, в умеренных - возбуждает, а в больших вызывает паралич, в частности, дыхательной и сосудистой систем. После перенесенного острого отравления часто отмечают заболевания пневмонией, менингитом, энцефалитом т.д.

Сероводород - наиболее токсичный компонент. Присутствие его ощущается следующим образом: при концентрации 1,4-2,3 мг/м³ - незначительный запах; 3,3-4,6 мг/м³ - явно ощутимый запах, для привыкших к нему нетягостный; 4,0 мг/м³ - сильный запах; 7,0-11,0 мг/м³ - запах, тягостный даже для привыкших к нему; 100 мг/м³ - запах уже не чувствуется; 140-150 мг/м³ - раздражение слизистой оболочки; 260 мг/м³ - погибают хвойные деревья; 700 мг/м³ человек теряет сознание; 1000 мг/м³ и выше - мгновенная смерть.

ПДК сероводорода - 10 мг/м³, в смеси с углеводородами C1-C5 - 5 мг/м³.

Этилен. Бесцветный газ, способный растворяться в воде. По характеру токсического действия - сильный наркотик. При длительном воздействии водных растворов этилена отмечается поражение печени, изменения в составе крови. Порог токсического действия - 1,5 мг/л; в концентрациях выше 0,5 мг/л этилен придает воде запах, выше 10 мг/л - нарушает процессы самоочищения водоема от органических веществ хозяйственно-бытовых сточных вод.

ПДК этилена в водных объектах хозяйственно-питьевого назначения - 0,5 мг/л.

Формальдегид. Газ с резким неприятным запахом, хорошо растворяется в воде. 40%-й водный раствор носит название формалина, который широко используется в медицине. Формальдегид - раздражающий газ, вызывает регенеративные процессы в органах, sensibilizует кожу, действует на нервную систему, особенно на зрительные бугры и слизистые оболочки глаз, вызывает першение в горле, насморк, кашель, удушье.

Бенз(а)пирен. Типичный химический канцероген ОС. Присутствует в атмосфере воздуха, растениях, почве, воде. Поступает в организм через кожу, органы дыхания, пищеварительный тракт.

Сажа. Ее условно называют твердым фильтратом отработанных газов. Сажа - продукт неполного сгорания и термического разложения углеводородных веществ. Сажа состоит в основном из частиц углерода, содержит в своем составе канцерогенные, полициклические ароматические углеводороды, токсичные соединения металлов. Сажа обладает хорошей летучестью, долго держится в воздухе, образуя устойчивое облако в местах выделения. Если содержание сажи в воздухе превышает 8%, ее рассматривают как взрывчатое вещество.

Воздействие сажи выражается в ухудшении видимости и появлении неприятного запаха. Контакты с сажей вызывают конъюнктивит, при вдыхании сажи появляется опасность пневмонии. ПДК - 0,15 мг/м³.

Установлены различные уровни ПДК одного и того же вещества для различных объектов внешней среды:

ПДК_{СС} - ПДК в воздухе населенных мест, среднесуточная в течение суток;

ПДК_{РЗ} - в рабочей зоне в течение рабочего дня;

ПДК_{МР} - ПДК в воздухе населенных мест, максимально-разовое значение в течение 30 мин;

ПДК_{почв} - в почве.

Среднесуточное значение ПДК устанавливается для предупреждения общетоксического, канцерогенного, мутагенного и sensibilizing действия вещества на организм человека. Предельной концентрацией для рабочей зоны считают такую концентрацию вредного вещества, которая при ежедневной работе в течение всего рабочего периода не может вызвать заболевание в процессе работы или в отдельные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Максимально-разовое значение ПДК устанавливается для предотвращения рефлекторных реакций человека при кратковременном действии примесей. Например, диоксид азота имеет следующие значения ПДК: ПДК_{СС} - 0,04 мг/м³, ПДК_{МР} - 0,2 мг/м³, ПДК_{РЗ} - 2 мг/м³.

Для воздуха различают ПДК_{СС} и ПДК_{МР}. В зависимости от значения ПДК химические вещества в воздухе классифицируют по степени опасности. Для чрезвычайно опасных веществ (пары ртути, сероводород, хлор) ПДК в воздухе рабочей зоны не должна превышать 0,1 мг/м³.

Вопросы и задания:

1. Дайте характеристику природных горючих газов.
2. Опишите токсичные соединения, содержащиеся в природном газе и продуктах его сгорания.
3. Перечислите виды ПДК.

Практическое занятие № 3. Расчет рассеивания выбросов из одиночного источника от сжигания топлива

Цель: приобретение практических навыков, необходимых для принятия технически и экономически обоснованных решений в вопросах организации и управления охраной окружающей природной среды на предприятиях нефтегазопереработки, при планировании и проведении научных исследований по проектированию средозащитных технологических схем, выбору очистного оборудования и эффективных природоохранных мероприятий.

Формируемые компетенции: готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения (ОК-2); готовность к совершенствованию технологического процесса – разработке мероприятий по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов производства, к исследованию причин брака в производстве и разработке предложений по его предупреждению и устранению (ПК-5); способность находить оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты (ПК-10); способность применять принципы рационального природопользования, энерго- и ресурсосберегающие технологии при проектировании и осуществлении производственных процессов (ППК-1).

Актуальность темы: Актуальность практического занятия состоит в том, что знания, полученные в ходе работы, будут использованы при написании магистерской диссертации и для определения оптимальных условий управления производственными процессами.

Теоретическая часть:

Для обеспечения приземных концентраций вредных веществ ниже их ПДК используют различные методы в том числе многочисленные виды очистки газовых выбросов. Распространенным технологическим приемом является и рассеивание газовых выбросов с помощью дымовых и вентиляционных труб. Чем больше высота трубы, тем лучше происходит рассеивание вредных веществ и меньшее их количество попадает в приземный слой.

Если газ выходит из дымовой трубы с температурой выше температуры окружающего воздуха, то вследствие разности плотностей воздуха и газа образуется подъемная сила и газ поднимается над устьем трубы на определенную высоту.

На газовый поток действует ветер. Если скорость ветра будет меньше скорости газа в устье трубы, он поднимется на высоту, которая будет тем больше, чем больше разность скоростей газа и ветра. Достигнув определенной высоты над устьем трубы, газ теряет скорость и под действием ветра разворачивается в горизонтальном направлении. Струя газа за счет диффузии расширяется и концентрация вредных веществ в ней уменьшается. При скорости ветра, большей скорости газа на выходе из трубы, струя газа отклоняется от первоначального направления движения и начинает двигаться параллельно земле на уровне устья дымовой трубы. Вредные вещества быстро достигают приземного слоя атмосферы, вызывая ее загрязнение. При высокой дымовой трубе загрязняющие вещества достигают приземного слоя атмосферы на значительном расстоянии от трубы (рис. 1), а содержащиеся в газе вредные вещества успевают рассеяться в атмосфере и их концентрация при достижении приземного слоя будет незначительной.

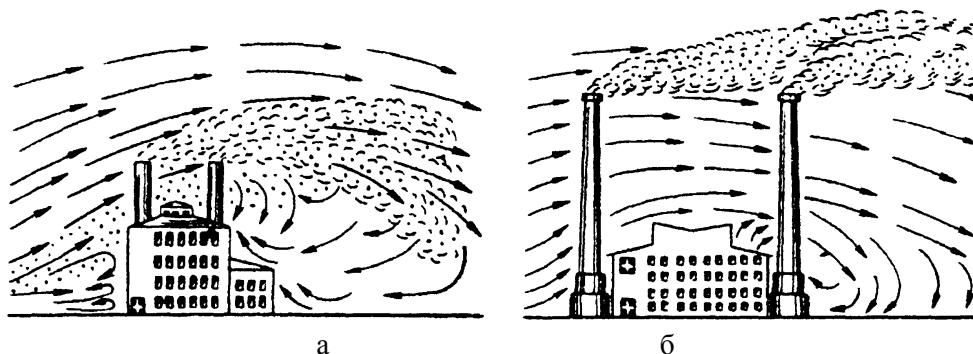


Рисунок 1 – Распределение дымовых газов в атмосфере под действием ветра
а – при низких трубах; б – при высоких трубах

На рисунке 2 показано распределение вредных веществ в приземном слое. Как видно непосредственно под трубой загрязнение воздуха отсутствует, а начинается от точки, в которой дымовой факел при неблагоприятных метеоусловиях касается земли, приземная концентрация вредных веществ быстро возрастает и на расстоянии равном 10-40 высотам трубы достигает максимальной величины.

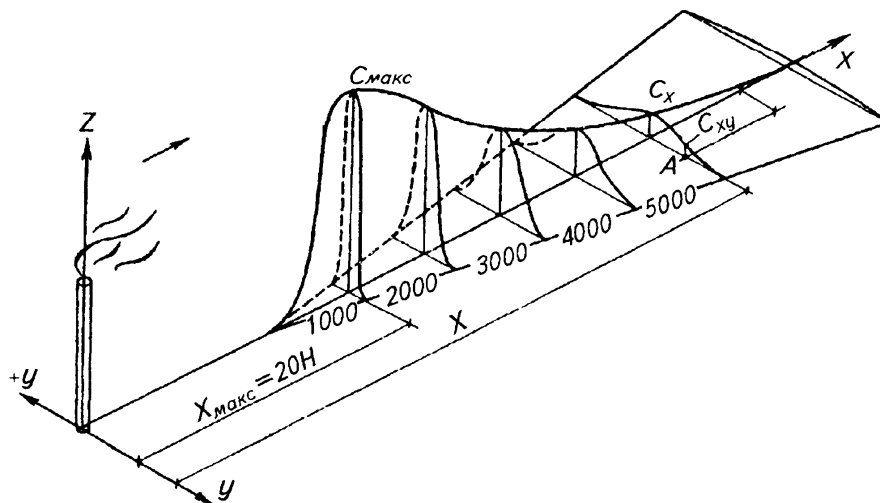


Рисунок 2 – Аксонометрическая схема приземной концентрации от одного источника (стрелкой показано направление ветра)

Для средних условий эта величина равна 20H. После точки максимального загрязнения приземная концентрация медленно убывает вдоль ветровой оси. При этом происходит рассеивание ветрового факела.

1. Расчет выбросов вредных веществ от сжигания топлива

Основными вредными веществами в газовых выбросах при сжигании топлива являются: твердые частицы (пыль, зола), оксиды серы, азота, монооксид углерода.

1.1 Твердые частицы

Расход выброса твердых частиц и несгоревшего топлива в атмосферу (г/с, т/год) проводят по уравнению

$$M_{тв} = B \frac{A^p}{100 - \Gamma_{ун}} a_{ун} (1 - \eta) \quad (1)$$

где B – расход натурального топлива, г/с, т/год;

A^p – зольность топлива на рабочую массу, %;

$a_{ун}$ – доля золы в уносе;

η – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях (принимается по результатам измерений не свыше годичной давности);

$\Gamma_{ун}$ – содержание горючего в уносе, % масс.

$\Gamma_{ун}$ может приниматься в зависимости от избытка воздуха за пароперегревателем. $\alpha''_{не}$ – коэффициент избытка воздуха.

$\alpha''_{не}$	1,01	1,02	1,04	1,06	1,08
$\Gamma_{ун}$	0,8	0,6	0,35	0,25	0,2

При отсутствии эксплуатационных данных о содержании горючего в уносе количество твердых частиц рассчитывается по формуле:

$$M_{тв} = 0.01B \left(a_{ун} A^p + \frac{q_4^{ун} Q_n^p}{32680} \right) (1 - \eta) \quad (2)$$

где q_4^{yh} – потери тепла с уносом от механической неполноты сгорания топлива, % (для мазутных котлов $q_4^{yh} = 0,02\%$). Если отсутствуют эксплуатационные данные по q_4^{yh} при сжигании твердого топлива, то для приближенного расчета в формулу подставляется нормативное значение q_4^{yh});

Q_n^p – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг.

Достоверность полученного результата в условиях эксплуатации складывается из погрешностей определения отдельных параметров, а именно: $\Delta B = \pm 1\%$; $\Delta \Gamma_{yh} = \pm 2\%$ (абс.); $\Delta A^p = \pm 1\%$; $\Delta a_{yh} = \pm 0,02\%$ (абс.). Формула наиболее чувствительна к погрешности измерения КПД золоуловителя η , где, например, переход с $\eta = 0,99$ на $\eta = 0,98$ означает удвоение выбросов и наоборот. Таким образом, в целом погрешность выброса пыли определяется погрешностью разности $\Delta(1 - \eta)$ и тем выше, чем ближе КПД золоуловителя к единице.

1.2 Диоксид серы

Определение расхода выбросов диоксидов серы (г/с, т/год) в пересчете на SO_2 выполняется по балансовой стехиометрической формуле:

$$M_{SO_2} = 0,02BS^p(1 - \eta'_{SO_2})(1 - \eta''_{SO_2}) \quad (3)$$

где S^p – содержание серы в топливе, %;

η'_{SO_2} – доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле;

η''_{SO_2} – доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе попутно с твердыми частицами (в долях).

Доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле, зависит от зольности топлива и содержания свободной щелочи в летучей золе. Ориентировочные значения η'_{SO_2} при факельном сжигании различных видов топлива следующие: торф – 0,15; сланцы эстонские и ленинградские – 0,8; остальные сланцы – 0,5; экибастузский уголь – 0,02; березовские угли Канско-Ачинского бассейна для топок с твердым шлакоудалением при низкотемпературном сжигании – 0,2; остальные угли Канско-Ачинского бассейна: для топок с твердым шлакоудалением – 0,2; для топок с жидким шлакоудалением при высокотемпературном сжигании – 0,5; прочие угли 0,1; мазут – 0,02; газ – 0. Здесь и далее под низкотемпературным сжиганием понимается сжигание всех углей с $Q_H^p < 23050$ кДж/кг в топках с твердым шлакоудалением при температуре факела ниже $1500^\circ C$. Под высокотемпературным сжиганием понимается сжигание всех углей в топках с жидким шлакоудалением, а также углей с $Q_H^p > 23050$ кДж/кг в топках с твердым шлакоудалением при температуре факела выше $1500^\circ C$. Доля оксидов серы (η''_{SO_2}), улавливаемых в сухих золоуловителях (электрофильтрах, батарейных циклонах), принимается равной нулю. В мокрых золоуловителях она зависит в основном от расхода и общей щелочности орошающей воды и от приведенной сернистости топлива при принятых на тепловых электростанциях удельных расходах воды на орошение золоуловителей 0,1 - 0,15 л/м³ (рисунок 3).

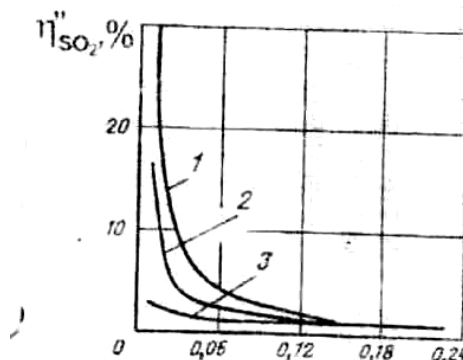


Рисунок 3 – Степень улавливания оксидов серы в мокрых золоуловителях в зависимости от приведенного серосодержания топлива и щелочности орошающей воды
1-10 мг-экв/л; 2-5 мг-экв/л; 3-10 мг-экв/л

1.3 Монооксид углерода

Расчет выбросов оксида углерода (г/с, т/год) производится по формуле:

$$M_{CO} = 0,001 C_{CO} B \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) \quad (4)$$

где C_{CO} – выход оксида углерода при сжигании твердого, жидкого или газообразного топлива, кг/т, кг/тыс. м³, определяется по формуле

$$C_{CO} = q_3 R Q_H^p / 1013$$

где q_3 , q_4 – потери теплоты соответственно от химической и механической неполноты сгорания топлива, %;

R – коэффициент, учитывающий долю потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленной содержанием оксида углерода в продуктах сгорания. Для твердого топлива $R = 1$, для газа $R = 0,5$, для мазута $R = 0,65$;

Q_H^p – теплота сгорания натурального топлива, кДж/кг, кДж/м³.

Значения q_3 и q_4 принимаются по эксплуатационным данным или по нормативному методу теплового расчета котельных агрегатов. При сжигании газа и мазута с предельно малыми избытками воздуха ($\alpha = 1,01 \div 1,05$) следует принимать $q_3 = 0,15\%$, при $\alpha > 1,05$ следует принимать $q_3 = 0$

1.4 Оксиды азота

При сжигании топлива воздушный и топливный азот связываются в NO и только 1-5% успевают перед выходом газов в атмосферу доокислиться до NO₂. Расчет выбросов (г/с, т/год) ведется в перерасчете на NO₂:

$$M_{NO_2} = 0,34 \cdot 10^{-7} K B Q_H^p \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) \beta_1 (1 - \varepsilon_1 r) \beta_2 \beta_3 \varepsilon_2 \quad (6)$$

где K – коэффициент, характеризующий выход оксидов азота (кг/т условного топлива);

β_1 – коэффициент, учитывающий влияние содержания азота в топливе на выход оксидов азота;

β_2 – коэффициент, учитывающий конструкцию горелок (для вихревых горелок $\beta_2 = 1$, для прямоточных $\beta_2 = 0,85$);

β_3 – коэффициент, учитывающий вид шлакоудаления (при жидком шлакоудалении $\beta_3 = 1,4$, во всех остальных случаях $\beta_3 = 1$);

ε_1 – коэффициент, характеризующий эффективность воздействия рециркулирующих газов в зависимости от условий их подачи в топку;

ε_2 – коэффициент, характеризующий снижение выброса оксидов азота при подаче части воздуха помимо основных горелок (при двухступенчатом сжигании) определяется по графику на рисунке 4.

r – степень рециркуляции дымовых газов, %.

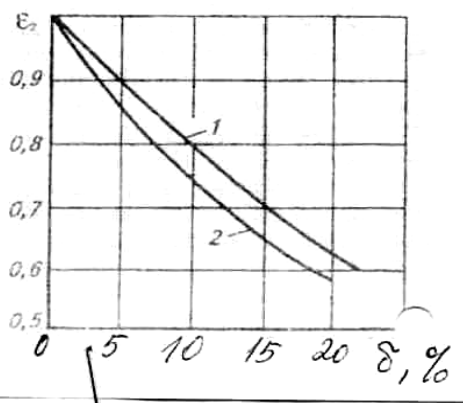


Рисунок 4 – График для определения коэффициента ε_2

1 – газ, мазут; 2 – уголь; δ – доля воздуха, подаваемого помимо основных горелок

Коэффициент K для котлов с паропроизводительностью более 70 т/ч, при сжигании газа и мазута во всем диапазоне нагрузок, а также при высокотемпературном сжигании твердого топлива с нагрузками выше 75 % номинальной, определяется по формуле:

$$K = 12D_{\phi}l(200 + D) \quad (7)$$

где D и D_{ϕ} – номинальная и фактическая паропроизводительность котла, т/ч.

Для котлов паропроизводительностью 30 - 70 т/ч

$$K = \frac{D_{\phi}}{200} \quad (8)$$

Для водогрейных котлов мощностью более 125 ГДж/ч (30 Гкал/ч) коэффициент K определяется по формуле:

$$K = \frac{2,5Q_{\phi}}{(84 + Q)} \quad (9)$$

где Q , Q_{ϕ} – номинальная и фактическая тепловая мощность котла, ГДж/ч.

При высокотемпературном сжигании твердого топлива с нагрузками котла ниже 75 % номинальной в формулы (7) – (9) вместо D_{ϕ} подставляется 0,75D. При низкотемпературном сжигании твердого топлива в формулы (7) - (9) вместо D_{ϕ} и Q_{ϕ} подставляются D и Q . Значения β_1 для энергетических котлов, в которых сжигается твердое топливо, определяются по формуле

$$\beta_1 = 0,178 + 0,47N^P \quad (10)$$

где N^P – содержание азота в топливе, %.

При сжигании жидкого и газообразного топлива с различными коэффициентами избытка воздуха в топочной камере α_T коэффициенты β_1 принимаются равными:

α_T	1,05	1,05-1,03	1,03
β_1 (газ)	0,9	0,8	0,7
β_1 (мазут)	1	0,9	0,75

При одновременном сжигании в топках энергетических котлов двух видов топлива с расходом одного из них более 90 % значение коэффициента β_1 должно приниматься по основному виду топлива. В остальных случаях коэффициент β_1 определяется как средневзвешенное значение. Так, для двух видов топлива

$$\beta_1 = (\beta'_1 B' + \beta''_1 B'') / (B' + B'')$$

где β'_1 , β''_1 , B' , B'' соответствуют значениям коэффициентов и расходам каждого вида топлива на котел. Значения коэффициента ε_1 при нормальной нагрузке и $g > 30$ % принимают равными:

- при сжигании газа и мазута и вводе газа рециркуляции в подтопки (при расположении горелок на вертикальных экранах) – 0,002; через шлицы под горелками – 0,015; по наружному каналу горелок – 0,02; в воздушное дутье – 0,025; в рассечку двух воздушных потоков – 0,03;
- при высокотемпературном сжигании твердого топлива и вводе газов рециркуляции в первичную аэросмесь ~ 0,01; во вторичный воздух - 0,005.

При нагрузках, меньших номинальной, коэффициент ε_1 , умножается на коэффициент f , определяемый по графику (рисунок 5).

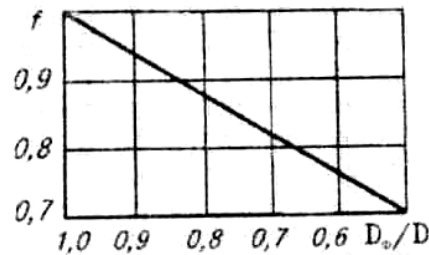


Рисунок 5 – Безразмерный коэффициент f в зависимости от паропроизводительности котла

1.5 Оксиды ванадия при сжигании жидкого топлива

Расчет выбросов оксидов ванадия в пересчете на пентоксид ванадия (г/с, т/год) выполняется по формуле:

$$M_{V_2O_5} = 10^{-6} G_{V_2O_5} B(1 - \eta_{oc})(1 - \eta_y) \quad (12)$$

где $G_{V_2O_5}$ – содержание оксидов ванадия в жидком топливе в пересчете на V_2O_5 , г/т;

η_{oc} – коэффициент оседания оксидов ванадия на поверхностях нагрева котлов. Для котлов с промежуточными пароперегревателями, очистка поверхностей нагрева которых производится в остановленном состоянии, $\eta_{oc} = 0,07$; для котлов без промежуточных пароперегревателей при тех же условиях очистки $\eta_{oc} = 0,05$; для остальных случаев $\eta_{oc} = 0$;

η_y – доля твердых частиц продуктов сгорания жидкого топлива, улавливаемых в устройствах для очистки газов мазутных котлов. Значение η_y оценивается для средних условий работы улавливающих устройств за год.

В случаях, когда содержание ванадия в мазуте не определяется, для мазутов с $S^p > 0,4$ % используется эмпирическая формула:

$$G_{V_2O_5} = 95,4S^p - 31,6 \quad (13)$$

где S^p – содержание серы в мазуте %.

Пример 1.

Определить величину приземной концентрации пыли при выбросе запыленных газов из дымовой трубы, расстояние на котором она наблюдается и опасную скорость ветра по следующим данным: запыленность газа $q = 100$ мг/м³; объем газа $V = 20$ м³/с; высота дымовой трубы $H = 40$ м; диаметр устья трубы $D = 2$ м; температура газа $t_g = 100^\circ\text{C}$; температура воздуха $t_a = 27^\circ\text{C}$. Район источника выброса – Украина. Принять, что степень очистки газа от пыли составляет 90%.

Решение:

Находим параметры, необходимые для определения величин, входящих в формулу (14):

$$v_0 = \frac{4V}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 20}{3,14 \cdot 2^2} = 6,37 \text{ м/с}$$

$$\Delta t = t_g - t_a = 100 - 27 = 73^\circ\text{C};$$

$$f = \frac{(10^3 \cdot 6,37^2 \cdot 2)}{40^2 \cdot 73} = 0,695;$$

$$m = \frac{1}{(0,67 + 0,1\sqrt{0,695} + 0,34\sqrt[3]{0,695})} = 0,94;$$

$$v_m = 0,65\sqrt[3]{\frac{20 \cdot 73}{40}} = 2,16.$$

При $v_m > 2$ $n = 1$,

$$M = qV = 0,1 \cdot 20 = 2 \text{ г/с.}$$

Для Украины коэффициент $A = 160$. Для пыли при степени очистки газа более 90% $F = 2$.

Рассчитаем максимальную приземную концентрацию пыли при неблагоприятных погодных условиях на расстоянии x_m от трубы:

$$C_m = \frac{160 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,94 \cdot 1}{40^2 \cdot \sqrt[3]{20 \cdot 73}} = 0,033 \text{ мг/м}^3,$$

что меньше ПДК = 2 мг/м³.

Для определения расстояния от трубы, на котором приземная концентрация пыли будет максимальной (при $F = 2$), находим параметр d при $v_m > 2$:

$$d = 7\sqrt{2,16} \left(1 + 0,28\sqrt[3]{0,695} \right) = 12,85.$$

$$\text{Тогда } x_m = \frac{5-F}{4} dH = \frac{5-2}{4} \cdot 12,85 \cdot 40 = 385,5 \text{ м}$$

Опасная скорость ветра, при которой достигается наибольшее значение приземной концентрации при $v_m > 2$ будет равна:

$$u_m = 2,16 \cdot \left(1 + 0,12\sqrt[3]{0,695} \right) = 2,817 \text{ м/с.}$$

Пример 2.

Тепловая электростанция выбрасывает в атмосферу $M_1 = 15$ т/час диоксида серы. Температура газовоздушной смеси $t_r = 123^\circ\text{C}$. Высота трубы $H = 150$ м, диаметр устья $D = 5$ м, средняя скорость выхода газовоздушной смеси $v_0 = 10$ м/с. Электростанция расположена в Тульской области ($A=140$). Средняя максимальная температура жаркого месяца года $t_b = 23^\circ\text{C}$. Принять коэффициент $\eta = 1$.

Определить величину максимальной приземной концентрации примеси C_m и расстояние x_m на котором она достигается. Рассчитать величины C_m и x_m при скоростях ветра $u_1 = 2$ м/с и $u_2 = 10$ м/с.

Решение.

1) Расчет значения вспомогательного параметра f :

$$f = 1000 \frac{v_0^2 D}{H^2 \Delta t} = 1000 \frac{10^2 \cdot 5}{150^2 \cdot 100} = 0,22 \ll 100,$$

где $\Delta t = 123 - 23 = 100^\circ\text{C}$.

2) Расчет значения безразмерных коэффициентов m и n :

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{0,22} + 0,34\sqrt[3]{0,22}} = 1,087$$

Значение вспомогательного параметра v_m составляет:

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V\Delta t}{H}} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{196,25 \cdot 100}{150}} = 3,3 \text{ м/с,}$$

где объемная скорость выхода газовоздушной смеси из устья источника составляет

$$V = \frac{\pi D^2}{4} v_0 = \frac{3,14 \cdot 5^2}{4} \cdot 10 = 196,25 \text{ м}^3/\text{с}$$

В случае $v_m \geq 2 \text{ м/с}$, $n = 1$

3) Расчет величины C_m при опасной скорости ветра и $F=1$:

$$C_m = \frac{AMFmn}{H^2 \sqrt[3]{V\Delta t \eta}} = \frac{140 \cdot 4166,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,087 \cdot 1}{150^2 \cdot \sqrt[3]{196,25 \cdot 100}} = 1,04 \text{ мг/м}^3.$$

Мощность выброса SO_2 определяется из данных условия задачи:

$$M = \frac{15 \cdot 1000 \cdot 1000}{3600} = 4166,7 \text{ г/с.}$$

4) Расчет x_m – расстояния от источника выброса до точки, где достигается величина максимальной приземной концентрации SO_2 при опасной скорости ветра:

$$X_m = \frac{5-F}{4} dH$$

При $v_m > 2 \text{ м/с}$:

$$d = 7\sqrt{v_m} (1 + 0,28\sqrt[3]{f}) = 7\sqrt{3,3} (1 + 0,28\sqrt[3]{0,22}) = 14,87$$

$$X_m = \frac{5-1}{4} 14,87 \cdot 150 = 2231 \text{ м}$$

5) Расчет C_{m1} и X_{m1} при скорости ветра $u_1 = 2 \text{ м/с}$:

$$C_{m1} = C_m r; \quad X_{m1} = p X_m$$

где C_{m1} и X_{m1} соответственно, значения максимальной приземной концентрации примеси и расстояния от источника выброса, на котором она достигается, при скорости ветра $u_1 = 2 \text{ м/с}$

$$v_m > 2 \text{ м/с}, \quad u_m = v_m (1 + 0,12\sqrt{f}) = 3,3 (1 + 0,12\sqrt{0,22}) = 3,49 \text{ м/с}$$

$$\frac{u_1}{u_m} = \frac{2}{3,49} = 0,573 < 1; \quad \text{при } \frac{u_1}{u_m} < 1$$

$$r = 0,67 \left(\frac{u_1}{u_m} \right) + 1,67 \left(\frac{u_1}{u_m} \right)^2 - 1,34 \left(\frac{u_1}{u_m} \right)^3 =$$

$$= 0,67 \cdot 0,573 + 1,67 \cdot (0,573)^2 - 1,34 \cdot (0,573)^3 = 0,68$$

$$\text{при } 0,25 < \frac{u_1}{u_m} < 1$$

$$p = 8,43 \left(1 - \frac{u_1}{u_m} \right)^5 + 1 = 8,43 (1 - 0,573)^5 + 1 = 1,12$$

$$\text{Тогда } C_{m1} = 0,68 \cdot 1,041 = 0,71 \text{ мг/м}^3; \quad X_{m1} = 1,12 \cdot 2231 = 2499 \text{ м}$$

6) Расчет C_{m2} и X_{m2} при скорости ветра $u_2 = 10 \text{ м/с}$:

$$\frac{u_2}{u_m} = \frac{10}{3,49} = 2,87 > 1$$

При $\frac{u_2}{u_m} > 1$

$$r = \frac{3 \left(\frac{u_2}{u_m} \right)}{2 \left(\frac{u_2}{u_m} \right)^2 - \left(\frac{u_2}{u_m} \right) + 2} = \frac{3 \cdot 2,87}{2(2,87)^2 - 2,87 + 2} = 0,55$$

$$p = 0,32 \frac{u}{u_m} + 0,68 = 0,32 \cdot 2,87 + 0,68 = 1,60$$

Тогда:

$$C_{m2} = 0,55 \cdot 1,041 = 0,57 \text{ мг/м}^3$$

$$X_{m2} = 1,60 \cdot 2231 = 3570 \text{ м}$$

Пример 3.

Дополнительно к условию примера 2 принять, что с газовойоздушной смесью выбрасывается $M_2 = 2$ т/ч диоксида азота. Определить максимальную приземную концентрацию с учетом суммации вредного действия загрязняющих веществ и расстояние, на котором оно достигается.

Решение:

1. Приведем массы выбросов загрязняющих веществ в группе суммации к выбросу SO_2 :

$$M = M_1 + M_2 \frac{ПДК_1}{ПДК_2};$$

переведем M_2 в г/с

$$M_2 = \frac{2 \cdot 10^6}{3600} = 555,6 \text{ г/с}$$

$$ПДК_{м.р.SO_2} = 0,5 \text{ мг/м}^3$$

$$ПДК_{м.р.NO_2} = 0,085 \text{ мг/м}^3$$

Получим

$$M = 4166,7 + 555,6 \frac{0,5}{0,085} = 7434,5 \text{ г}(SO_2) / \text{с}$$

2. Рассчитаем приземную концентрацию C_m при опасной скорости ветра по формуле:

$$C_m = \frac{AMFmn \cdot \eta}{H^2 \sqrt[3]{V\Delta t}} = \frac{140 \cdot 7435 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,087 \cdot 1}{150^2 \cdot \sqrt[3]{196,35 \cdot 100}} = 1,86 \text{ мг}(SO_2) / \text{м}^3$$

(значения $m = 1,087$, $n = 1$, $V = 196,35 \text{ м}^3/\text{с}$ из примера 2. Эти величины не зависят от мощности (массы) выброса загрязняющих веществ).

3. Рассчитаем приземную концентрацию для отдельных компонентов выбросов.

Концентрация SO_2 из примера 2 равна: $C_{mSO_2} = 1,04 \text{ мг/м}^3$. концентрация NO_2 равна:

$$C_{mNO_2} = \frac{(C_m - C_{mSO_2}) ПДК_{NO_2}}{ПДК_{SO_2}} = \frac{(1,86 - 1,04) 0,085}{0,5} = 0,139 \text{ мг/м}^3$$

Как видно из расчетов приземные концентрации обоих компонентов превышают ПДК.

4. Рассчитаем x_m при опасной скорости ветра:

Поскольку коэффициент d не зависит от мощности выброса, то величина $x_m = 2231$ м (из примера 2).

5. Рассчитаем C_m и x_m при скорости ветра $u_1 = 2$ м/с и $u_2 = 10$ м/с.

$$C_{m1} = C_m r; x_{m1} = x_m p$$

Опасная скорость (из примера 2) равна $u = 3,49$ м/с. Коэффициенты r и p (также из примера 2)

при $u_1 = 2$ м/с $r = 0,68$; $p = 1,12$;

при $u_2 = 10$ м/с $r = 0,55$; $p = 1,60$.

Тогда получим:

при $u_1 = 2$ м/с $C_{m1} = 0,68 \cdot 1,86 = 1,26 \text{ мг}(SO_2)/\text{м}^3$

$x_{m1} = 1,12 \cdot 2231 = 2499$ м;

при $u_2 = 10$ м/с $C_{m2} = 0,55 \cdot 1,86 = 1,02 \text{ мг}(SO_2)/\text{м}^3$

$x_{m1} = 1,60 \cdot 2231 = 3570$ м.

Задачи для самостоятельного решения

Определить величину максимальной приземной концентрации SO_2 ,—выбрасываемого из дымовой трубы котельной, сжигающей сернистый мазут, а также расстояние от источника выброса, на котором это значение достигается, и опасную скорость ветра.

Исходные данные

1. Количество сжигаемого мазута: $G_m = \dots$ т/год;
2. Содержание серы в мазуте в массовых процентах = $\dots$ %;
3. Место нахождения ТЭЦ: $\dots$;
4. Высота дымовой трубы: $H = \dots$ м;
5. Диаметр устья дымовой трубы: $D = \dots$ м;
6. Расход газовоздушной смеси из устья: $V_1 = \dots$ м³/с;
7. Температура дымовых газов: $T = \dots$ °C;
8. Температура воздуха: $T_{\text{ат}} = \dots$ (°C);
9. Местность ровная;
10. ПДК $\text{SO}_2 = 0,5$ мг/м³.

Варианты заданий

№ варианта	Параметры							
	G_m , т/год	S , %	A	H , м	D , м	V_1 , м ³ /с	T , °C	$T_{\text{ат}}$, °C
1	95000	2	140	50	0,5	5,0	75	25
2	95000	1,5	140	50	0,5	5,2	75	20
3	80000	2	140	50	0,5	5,4	75	23
4	80000	1,4	140	50	0,5	5,6	75	21
5	85000	3	140	50	0,5	5,8	75	26
6	95000	1,7	160	70	0,5	6,0	75	28
7	85000	1,2	160	70	0,5	6,2	75	30
8	85000	1,3	160	70	0,5	6,4	75	32
9	75000	2	160	70	0,5	6,6	75	22
10	75000	2,5	160	70	0,5	6,8	75	24
11	75000	2,7	180	90	0,5	5,0	50	25
12	75000	4	180	90	0,5	5,2	50	27
13	70000	1,5	180	90	0,5	5,4	50	29
14	70000	2	180	90	0,5	5,6	50	31
15	80000	2,7	180	90	0,5	5,8	50	30
16	80000	1,3	200	110	1	6,0	80	25
17	80000	3,5	200	110	1	6,2	80	20
18	95000	1,4	200	110	1	6,4	80	21
19	100000	1,5	200	110	1	6,6	100	30
20	100000	2	200	110	1	6,8	100	25
21	100000	1,7	250	130	1	7,0	130	25
22	97000	3	250	130	1	7,2	130	27
23	87000	5	250	130	1	7,4	160	25
24	82000	2,5	250	130	1	7,6	160	29
25	84000	1,5	250	130	1	7,8	160	20

Ход работы

1) Определим максимальное значение приземной концентрации SO_2 C_m (мг/м³) при выбросе газовоздушной смеси из одиночного точечного источника с круглым устьем при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии X_m (м) от источника по формуле:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 (V_1 \cdot \Delta T)^{1/3}},$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы (определяет условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосфере).

Для центральной европейской части территории России $A = 120$, для севера и северо-запада европейской территории $A = 160$, для Урала – 180, для Кавказа – 200, для Дальнего Востока – 250.

M – масса вредного вещества, выбрасываемого в единицу времени, г/с;

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе. Для газообразных веществ и мелкодисперсных аэрозолей $F = 1$, для пыли и золы – 2.

m , n – коэффициенты, учитывающие условие выхода газовой смеси из устья источника выброса;

H – высота источника выброса над уровнем земли, м;

η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности. В случае ровной или слабо пересеченной местности с перепадом высот, не превышающем 50 м на 1 км, $\eta = 1$;

ΔT – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси T и температурой окружающего атмосферного воздуха $T_{ат}$, °C;

$$\Delta T = T - T_{ат};$$

V_1 – расход газовой смеси, м³/с.

$$V_1 = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \omega_0,$$

где D – диаметр устья источника выброса, м;

ω_0 – средняя скорость выхода газовой смеси из устья источника выброса, м/с.

Значение коэффициентов m и n определим в зависимости от параметров f , U_m , U'_m :

$$f = 1000 \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T};$$

$$U_m = 0,65 \cdot \left(\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H} \right)^{1/3};$$

$$U'_m = 1,3 \cdot \frac{\omega_0 \cdot D}{H}.$$

Коэффициент m определяется в зависимости от f по формулам:

при $f < 100$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}};$$

при $f \geq 100$

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}}.$$

Коэффициент n при $f < 100$ определяется в зависимости от U_m по формулам:

$$n = 1 \text{ при } U_m \geq 2;$$

$$n = 0,532 \cdot U_m^2 - 2,13 \cdot U_m + 3,13 \text{ при } 0,5 \leq U_m < 2;$$

$$n = 4,4 \cdot U_m \text{ при } U_m < 0,5.$$

Если $f \geq 100$, то величина максимальной приземной концентрации C_m определяется по формуле:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot n \cdot \eta}{H^{4/3}} \cdot K,$$

где $K = D / 8 \cdot V_1 = 1 / (7,1 \cdot (\omega_0 \cdot V_1)^{1/2})$. Коэффициент n при этом рассчитывается по одной из трех указанных выше формул.

2) Найдем X_m – расстояние от источника выброса, на котором приземная концентрация C (мг/м³) при неблагоприятных метеорологических условиях (малой скорости ветра) достигает максимального значения C_m (мг/м³), по формуле:

$$X_m = \frac{(5 - F)}{4} \cdot d \cdot H,$$

где d – безразмерный коэффициент, который при $f < 100$ вычисляется по формуле:

$$\begin{aligned} d &= 2,48 \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_e}) \text{ при } v_m \leq 0,5; \\ d &= 4,95 \cdot v_m (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_e}) \text{ при } 0,5 < v_m \leq 2; \\ d &= 7 \cdot v_m^{1/2} (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_e}) \text{ при } v_m > 2. \end{aligned}$$

$$f_e = 800 \cdot (v'_m)^3.$$

При $f > 100$ или $\Delta T = 0$ значение d находится по формулам:

$$\begin{aligned} d &= 5,7 \text{ при } v'_m \leq 0,5; \\ d &= 11,4 \cdot v'_m \text{ при } 0,5 < v'_m \leq 2; \\ d &= 16 \cdot \sqrt{v'_m} \text{ при } v'_m > 2. \end{aligned}$$

3) Рассчитаем опасную скорость ветра U_m (м/с), при которой достигается наибольшее значение приземной концентрации.

Если $f < 100$, то

$$\begin{aligned} U_m &= 0,5 \text{ при } v_m \leq 0,5; \\ U_m &= v_m \text{ при } 0,5 < v_m \leq 2; \\ U_m &= v_m \cdot (1 + 0,12 \cdot \sqrt{f}); \text{ при } v_m > 2. \end{aligned}$$

Если $f \geq 100$ или $\Delta T = 0$ значение U_m находится по формулам:

$$\begin{aligned} U_m &= 0,5 \text{ при } v'_m \leq 0,5; \\ U_m &= v'_m \text{ при } 0,5 < v'_m \leq 2; \\ U_m &= 2,2 \cdot v'_m \text{ при } v'_m > 2. \end{aligned}$$

4. Сделать вывод (указать рассчитанную максимальную приземную концентрацию SO_2 , расстояние от источника выброса, на котором это значение достигается, и опасную скорость ветра. Сравнить полученное значение концентрации с предельно допустимой. Описать действие диоксида серы на окружающую среду. Предложить меры по снижению выбросов (используемое топливо, газоочистное оборудование, увеличение высоты трубы)).

Вопросы и задания:

1. Поясните особенности рассеивания вредных веществ в атмосфере.
2. Перечислите основные вредные вещества, содержащиеся в газовых выбросах от сжигания топлива.
3. В чем состоит специфика расчета выбросов при сжигании топлива?

Практическое занятие № 4. Очистка газов в процессе крекинга нефти

Цель: приобретение практических навыков, необходимых для принятия технически и экономически обоснованных решений в вопросах организации и управления охраной окружающей природной среды на предприятиях нефтегазопереработки, при планировании и проведении научных исследований по проектированию средозащитных технологических схем, выбору очистного оборудования и эффективных природоохранных мероприятий.

Формируемые компетенции: готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения (ОК-2); готовность к совершенствованию технологического процесса – разработке мероприятий по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов производства, к исследованию причин брака в производстве и разработке предложений по его предупреждению и устранению (ПК-5); способность находить оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты (ПК-10); способность применять принципы рационального природопользования, энерго- и ресурсосберегающие технологии при проектировании и осуществлении производственных процессов (ППК-1).

Актуальность темы: Актуальность практического занятия состоит в том, что знания, полученные в ходе работы, будут использованы при написании магистерской диссертации и для определения оптимальных условий управления производственными процессами.

Теоретическая часть:

В процессе каталитического крекинга сырье превращается в бензин, газ, кокс и газойлевые фракции. Целевым продуктом является бензин. Значительная часть остальных продуктов крекинга, называемых побочными, используется или для получения дополнительных количеств бензина, или для приготовления других товарных продуктов. Каталитические процессы осуществляют в условиях контакта газа, в котором происходят каталитические превращения, с твердым катализатором. Катализаторами служат мелкодисперсные пористые алюмосиликатные активированные глины, или же применяют синтетические алюмосиликатные катализаторы. Катализатор представляет собой сыпучий материал, легко транспортируемый потоками воздуха или паров сырья.

Крекинг нефтяных фракций сопровождается отложением кокса на развитой поверхности катализатора. Последний регенерируют, выжигая кокс в потоке воздуха в регенераторе. Регенерированный, в значительной степени освобожденный от кокса катализатор снова используется в крекинг-процессе. Процесс каталитического крекинга проводят в адиабатических условиях, в паровой фазе при 450-500 °С, а процесс регенерации катализатора – в атмосфере воздуха или смеси его с продуктами сгорания при температуре 540-680 °С и давлении 0,01-0,16 МПа.

Первые промышленные установки с неподвижным слоем катализатора к настоящему времени вытеснены более экономичными – с подвижным катализатором; последний циркулирует непрерывно через реактор и регенератор; перемещение производится пневматически — газовым потоком. В таких установках катализатор помимо своей прямой роли выполняет также функции подвода теплоты для эндотермического процесса крекинга и вывода кокса из реактора. В системах с подвижным катализатором достигается непрерывность процесса, легкая регулировка температуры крекинга и регенерации. Активность катализатора благодаря непрерывному выводу части дезактивированного катализатора и подводу свежего поддерживается на некотором постоянном уровне.

В газе, покидающем свободное (сепарационное) пространство над взвешенным слоем, содержатся частицы катализатора. Для улавливания катализатора с целью возврата в производство, а также для очистки выбрасываемых в атмосферу газов от катализаторной пыли установки каталитического крекинга оснащаются пылеуловителями. Пылеулавливающие устройства (циклоны) размещаются внутри реактора и регенератора. Для дополнительной очистки выбрасываемых в атмосферу дымовых газов до санитарных

норм применяются выносные пылеуловители. Процесс улавливания катализатора внутри технологических аппаратов и возврата его в производство является условием осуществления крекинг-процесса во взвешенном слое, а предотвращение потерь катализатора с выбросами в атмосферу улучшает экономические показатели установки и предупреждает загрязнение окружающей среды.

В установке ГК-3 каталитического крекинга нефти (рис. 1) «отработанный» (закоксованный) катализатор реакционного объема реактора 1, пройдя секцию 2, где происходит отпарка увлеченных катализатором нефтепродуктов, по транспортной линии потоком воздуха подается в регенератор 3. Выжиг кокса с поверхности зерен катализатора осуществляется в кипящем слое во внутренней полости регенератора. Дымовые газы, образующиеся в процессе выжига кокса, направляются в восемь групп циклонов 4, каждая из которых включает три последовательно соединенных циклона. На выходе из регенератора дымовые газы имеют температуру 600 °С. Они направляются в четыре котла-утилизатора 5. Каждый котел соединен с двумя группами внутренних циклонов. Уловленный в циклонах катализатор по спускным стоякам 6 возвращается в кипящий слой. Регенерированный катализатор возвращается в реактор 1. Газы же после котлов-утилизаторов поступают в четыре выносных циклона 7. Очищенные дымовые газы через дымовую трубу 8 выбрасываются в атмосферу. Уловленный катализатор по спускным стоякам направляется в бункер 9 и оттуда дается в зону кипящего слоя регенератора.

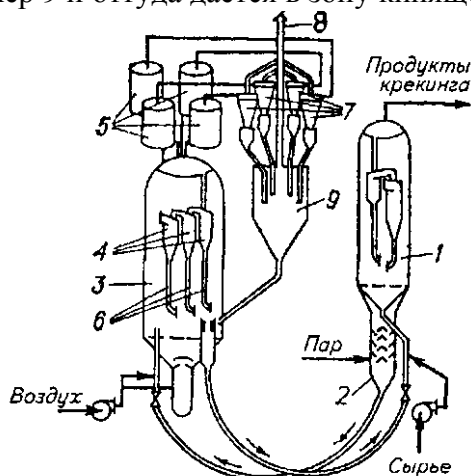


Рисунок 1 – Установка ГК-3 каталитического крекинга нефти

1 – реактор; 2 – отпарочная секция; 3 – регенератор; 4 – циклоны; 5 – котел-утилизатор; 6 – спускные стояки; 7 – выносные циклоны; 8 – дымовая труба; 9 – бункер

В табл. 1 приведены показатели работы выносных циклонов типа СЦКН доочистки дымовых газов регенераторов.

Таблица 1 – Показатели работы выносных циклонов доочистки дымовых газов регенератора

Параметры	Проектная производи- тельность		Заниженная производительность при догорании окиси углерода		
			при догрузке катализатора	без догрузки катализатора	
1	2		3	4	
Номер циклона	1	4	4	1	4
Температура газов, °С	410/ 375	410/ 375	850/ 750	510/ 450	510/ 450
Расход газа при рабочих условиях, тыс. м³/ч	46,1	33,8	66,6	33,8	—

1	2	3	4	1	2
Скорость газа в сечении циклона, м/с	2,1	1,54	3,0	1,54	3,0
Запыленность газа, г/м ³	22,4/ 2,3	8,8/ 0,6	475/ 25	62/ 3	125/ 45
Степень улавливания, %	88,6	93,1	94	95,2	95,5
Пр и м е ч а н и е . В числителе приведены данные измерений на входе в циклон, в знаменателе — на выходе.					

В установке 1А/1М (рис. 2) во внутренней полости регенератора 3, в верхней его части, размещены попарно (первая 4 и вторая 5 ступени) двадцать четыре циклона. Циклоны первой ступени типа ЦН-15У диаметром 1600 мм имеют опускающийся в кипящий слой катализатора пылеспускной стояк 6 диаметром 478 мм с дисковыми отражателями на конце. Циклоны второй ступени также типа ЦН-15У диаметром 1200 мм оборудованы стояками 7 диаметром 219 мм, с затвором-мигалкой. Уловленный катализатор по стоякам возвращается в кипящий слой, а дымовые газы, пройдя котел-утилизатор 8, поступают на дополнительную очистку.

В качестве выносных пылеуловителей на установке 1А/1М каталитического крекинга нефти применены два электрофилтра 10 типа СГ-15-3. Перед электрофилтрами дымовые газы охлаждают до температуры не выше 250 °С, орошая водой в скруббере-увлажнителе 9. Уловленная электрофилтрами катализаторная пыль пневмотранспортом возвращается в регенератор.

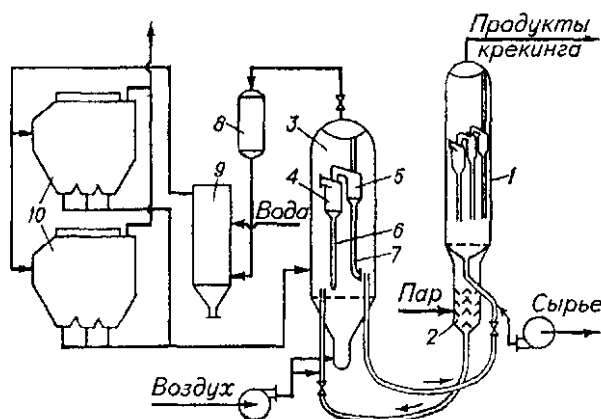


Рисунок 2 – Установка 1А/1М каталитического крекинга нефти

1 – реактор; 2 – секция отпарки; 3 – регенератор; 4, 5 – циклоны; 6, 7 – пылеспускные стояки; 8 – котел-утилизатор; 9 – скруббер-увлажнитель; 10 – электрофилтры

В табл. 2 приведены показатели работы электрофилтров доочистки дымовых газов регенератора для различных предприятий.

Таблица 2 – Показатели работы электрофилтров СГ-15-3 установок 1А/1М каталитического крекинга нефти

Измеряемые параметры	Ангарский НПЗ		Красноводский НПЗ		Ново-Ярославский НПЗ	
	I	II	I	II	I	II
1	2	3	4	5	6	7
Температура газов, °С	274/ 231	282/ 239	243/ 203	242/ 200	210/ 180	180/ 150
Давление (+), разрежение (-) в газоходе, Па	+1640 +70	+1650 +80	+257 -186	+150 -266	—	—

1	2	3	4	5	6	7
Расход газа, тыс. м³/ч: при рабочих условиях при нормальных условиях	91,65/ 82,20 47,77/ 41,32	92,10/ 82,20 46,2 /40,8	81,5/ 83,4 44,5 /48,4	82,8 /88,3 45,4/ 51,4	69.1/ 65,0 38,4/ 38,5	70,8 /69,0 41,9/ 43,8
Скорость газа в сечении аппарата, м/с	1,65		1,48-1,54		1,28-1,31	
Запыленность газа, г/м³	18,2 /1,5	18,5/ 2,21	9,5/ 0,6	9,2/0,3	11,7 /0,16	15,4/ 0,26
Степень улавливания, %	88-92		94-97		98-98,5	
Пр и м е ч а н и е . В числителе приведены данные измерений на входе в электрофильтр, в знаменателе — на выходе.						

Вопросы и задания:

1. Опишите принцип работы установки ГК-3.
2. Опишите принцип работы установки 1А/1М.

Практическое занятие № 5. Расчет элементов факельной системы

Цель: приобретение практических навыков, необходимых для принятия технически и экономически обоснованных решений в вопросах организации и управления охраной окружающей природной среды на предприятиях нефтегазопереработки, при планировании и проведении научных исследований по проектированию средозащитных технологических схем, выбору очистного оборудования и эффективных природоохранных мероприятий.

Формируемые компетенции: готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения (ОК-2); готовность к совершенствованию технологического процесса – разработке мероприятий по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов производства, к исследованию причин брака в производстве и разработке предложений по его предупреждению и устранению (ПК-5); способность находить оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты (ПК-10); способность применять принципы рационального природопользования, энерго- и ресурсосберегающие технологии при проектировании и осуществлении производственных процессов (ППК-1).

Актуальность темы: Актуальность практического занятия состоит в том, что знания, полученные в ходе работы, будут использованы при написании магистерской диссертации и для определения оптимальных условий управления производственными процессами.

Теоретическая часть:

Факельные установки предназначены для сжигания образующихся при пуске оборудования и в процессе производства некондиционных газов, дальнейшая переработка которых экономически нецелесообразна или невозможна. Сжигание сбросных газов на факельных установках позволяет значительно уменьшить загрязнение окружающей среды токсичными и горючими веществами.

К факельным установкам предъявляются следующие требования: полнота сжигания, исключая образование альдегидов, кислот и других вредных промежуточных продуктов; сжигание, исключая образование дыма и сажи; устойчивость факела при изменении расхода и состава сбрасываемых газов; безопасное воспламенение, бесшумность, отсутствие яркого свечения.

Факельные установки могут быть в составе отдельного производства, цеха или технологической установки или в составе всего предприятия. По этому признаку их делят на цеховые и объединенные факельные установки предприятия. Факельные установки могут быть периодического действия и постоянно действующими. При периодической работе факельной установки отдельные периоды могут составлять несколько суток. По месту расположения факельные установки делят на отдельно стоящие (на расстоянии десятков или сотен метров от сооружений и технологических аппаратов) и размещенные на технологических установках, аппаратах или вблизи них. По месту расположения факельной горелки факельные установки разделяют на высотные (более 100 м) и наземные (4-25 м). В высотных факельных установках факельная горелка расположена в верхней части факельной трубы; продукты сгорания поступают сразу в атмосферу. В наземных установках горелка расположена на небольшом расстоянии от земли, а продукты сгорания отводятся в атмосферу через дымовую трубу.

При выборе типа факельной установки учитывают возможность токсического действия сбрасываемых газов. Газы, которые уже при незначительной концентрации представляют опасность (например, сероводород, оксид углерода, нитрозные отработанные газы и др.) сжигают в высотных установках позволяющих при погасании пламени в течение короткого времени безопасно отводить их в атмосферу. Особые меры безопасности требуется принимать при сжигании углеводородов в наземных факельных установках. В этом случае факельную горелку устанавливают в чашу, глубиной около 2 метров и постоянно контролируют наличие газа в чаше, чтобы предотвратить вытекание углеводородов в окружающую среду.

В производственной практике применяют различные системы факельных установок: системы со сбросом газов в факельную трубу; системы для газов высокого давления с отбором факельных газов на переработку или для сжигания в котельных установках; комбинированные системы.

По первому варианту (рис. 1) сбрасываемые газы из трубопровода направляют через сепаратор 1 на сжигание в факельную трубу 2. Конденсат из сепаратора возвращают в

производство или сливают в канализацию. Факельная труба оснащается дежурными 3 и запальными 4 горелками. Такую систему применяют, когда давление на технологических установках недостаточно для подачи факельного газа в газгольдер или когда газы не подлежат утилизации, а также когда газгольдеры заполнены.

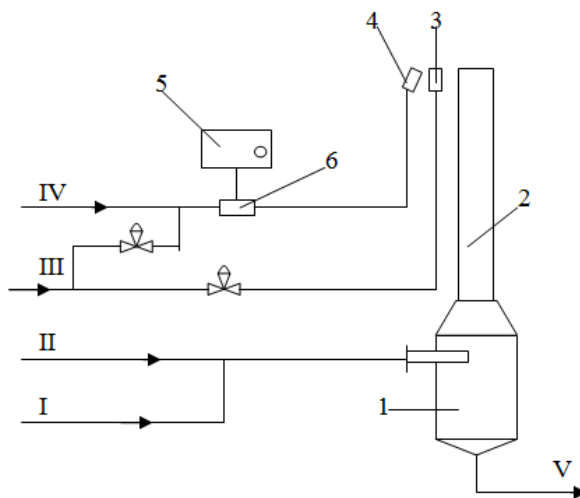


Рисунок 1 – Схема факельной установки со сбросом газов в трубу

1 – сепаратор; 2 - факельная труба; 3 – дежурная горелка; 4 – запальная горелка; 5 – зажигающее устройство; 6 – свечи;

I – факельный газ; II – азот для продувки; III – топливный газ; IV – воздух; V – конденсат

В системах второго типа (рис. 2) газы поступают в сепаратор 1, где освобождаются от конденсата. Основная масса газа направляется потребителю, а избыток сбрасывается в факельную трубу 6 через регулирующий клапан 3.

Скорость движения газа в факельной трубе независимо от колебаний нагрузки всегда должна быть больше скорости распространения пламени, но меньше некоторой предельной величины, при которой возможен отрыв пламени. На практике принимают, что пламя будет устойчивым при скорости газа на выходе из трубы, не превышающей 20-30% от скорости звука.

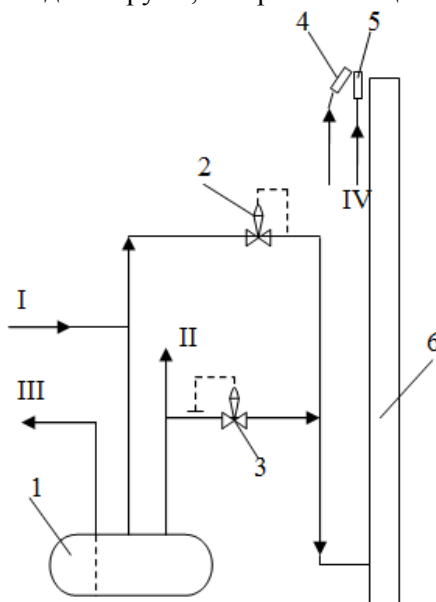


Рисунок 2 – Схема факельной установки с сепаратором

1 – сепаратор; 2, 3 – регулирующие клапаны; 4 – запальная горелка; 5 – дежурная горелка; 6 – факельная труба;

I – сбросный газ; II – газ потребителю III – конденсат; IV – топливный газ

При сбросе газов с установок в факельную линию попадают жидкие нефтепродукты, что создает условия для образования гидравлических и гидратных пробок, уменьшает пропускную способность факельной системы, нарушает работу прибором КИП. Переработка конденсата с газо-факельного хозяйства вследствие загрязнения тяжелыми нефтепродуктами связана с трудностями. На рис.е 3 представлена схема для улавливания тяжелых углеводородов. Схема быстро позволяет выявить наличие, продолжительность и время сброса факельных газов и не допускает попадания значительных количеств жидких продуктов в факельные магистральные системы. В схеме предусматривается установка факельной емкости-сепаратора на каждой установке или в группе однородных технологических установок. Собранная жидкость перерабатывается на самих же установках. Факельные газы после сепараторов по магистральным трубопроводам поступают на сжигание или на установку сбора и компримирования. Такие установки введены в строй и эксплуатируются на многих нефтеперерабатывающих заводах.

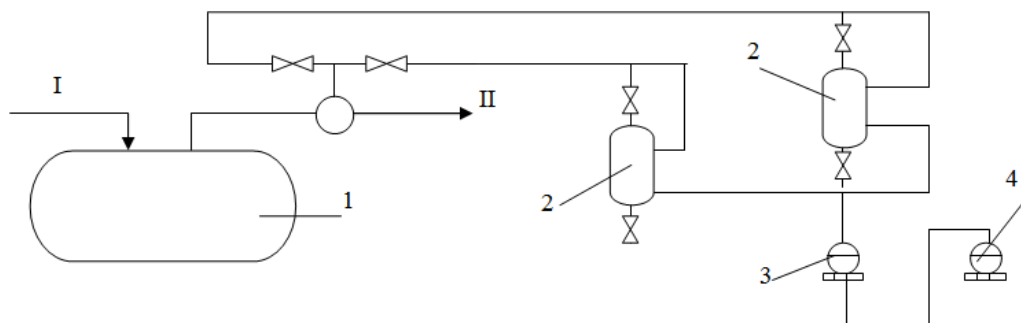


Рисунок 3 – Схема улавливания тяжелых углеводородов

1 – сепаратор; 2 – отбойники; 3 – дифманометр; 4 – счетчик;
I – газ с установки; II – газ на факел

Для обеспечения полноты сжигания на факельной установке и экономии пара применяют автоматические системы слежения и регулирования.

Методика расчета

I. Расчет диаметра факельной трубы.

1. Расход сбрасываемого газа определяется по формуле 1:

$$G = 3600 * \rho * u * S \quad (1)$$

где G – расход газа, кг/ч; ρ – плотность газа, кг/м³; u – скорость газа на выходе из факельной трубы, м/с; S – площадь поперечного сечения трубы, м².

2. Плотность газа рассчитывается по формуле 2:

$$\rho = P * M / R * T \quad (2)$$

где M – молекулярная масса газа, кг; P – абсолютное давление, Па; T – температура, К; R – универсальная газовая постоянная, равная 8314,8 Па*м³/(кмоль*К).

3. Скорость газа на выходе из факельной трубы принимается равной 20% скорости звука в этом же газе. В идеальном газе скорость звука может быть выражена формулой 3:

$$u_z = 91,5 * \sqrt{\frac{k * T}{M}} \quad (3)$$

4. Тогда скорость газа определяется по формуле 4:

$$u = 0.2 * u_z = 18.3 * \sqrt{\frac{k * T}{M}} \quad (4)$$

где k – показатель адиабаты ($k = C_p/C_v$).

5. Поперечное сечение факельной трубы рассчитывается по формуле 5:

$$S = 0,785 * D^2 \quad (5)$$

где D – диаметр факельной трубы, м.

6. После подстановки уравнений 2-5 в уравнение 1 получим формулу 6:

$$D = 0,4 * \left(\frac{T}{k * M} \right)^{0,25} * \left(\frac{G}{P} \right)^{0,5} \quad (6)$$

7. Если расход газа задан G' ($\text{м}^3/\text{ч}$), диаметр факельной трубы рассчитывают по уравнению 7:

$$D = 0,4 * 10^{-3} (G')^{0,5} * \left(\frac{M}{k * T} \right)^{0,25} \quad (7)$$

8. Если сжигаются газы, не выделяющие дыма, расчетный диаметр можно уменьшить на 15%. Длину факела $L(\text{м})$ рассчитывают по формуле 8:

$$L = 118 * D \quad (8)$$

II. Высота факельной трубы.

1. Интенсивность теплоизлучения определяется уравнением 9:

$$q = \frac{\psi * Q}{4 * \pi * l^2} \quad (9)$$

где ψ – коэффициент теплового излучения; Q – количество тепла, выделяемого пламенем, $\text{МДж}/\text{ч}$; l – расстояние от центра пламени (м), при котором интенсивность теплового излучения снижается до безопасной величины $q = 5 \text{ МДж}/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$.

2. Коэффициент излучения ψ выражается эмпирическим уравнением 10:

$$\psi = 0,2 * \left(\frac{Q_n * 26,9}{900} \right)^{0,5} \quad (10)$$

где Q_n – низшая теплота сгорания факельного газа, $\text{МДж}/\text{м}^3$, определяемая по формуле 11:

$$Q_n = \frac{1}{26,9} * (50 * M + 100) \quad (11)$$

где M – молекулярная масса газа.

Для газовых смесей $= \sum(y_i' * Q_i)$, где y_i' – мольная доля компонента i в смеси, Q_i – низшая теплота сгорания компонента, количество тепла, выделяемого пламенем:

$$Q = Q_{\text{фг}} * Q_n \quad (11)$$

где $Q_{\text{фг}}$ – расход факельного газа, $\text{м}^3/\text{ч}$.

3. Максимальную интенсивность теплоизлучения q_m определяют по формуле 12:

$$q = \frac{\psi * Q}{4 * \pi * l_1^2} \quad (12)$$

где l – расстояние от центра пламени до основания факельной трубы, м , см. рисунок 4, равное

$$l = \sqrt{H * (H + L)} \quad (13)$$

где H – высота факельной трубы, м .

4. Подставляя формулу 13 в формулу 12 и решая уравнение относительно H , получим:

$$H = 0,5 * \left\{ \left[L^2 + \frac{\psi * Q}{\pi * q_m} \right]^{0,5} - L \right\} \quad (14)$$

Высота факельной трубы должна обеспечить безопасность радиационно-теплового воздействия на персонал. Максимальная величина q_m которую может выдерживать персонал в течение некоторого промежутка времени составляет $17 \text{ МДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$. Подставив эту величину в уравнение (14), получим:

$$H = 0,5 * \left\{ \left[L^2 + \frac{\psi * Q}{\pi * 17} \right]^{0,5} - L \right\} \quad (15)$$

5. Расстояние l_2 от основания факельной трубы до безопасной зоны (см. рис. 4) можно вычислить как длину катета в прямоугольном треугольнике по формуле 16:

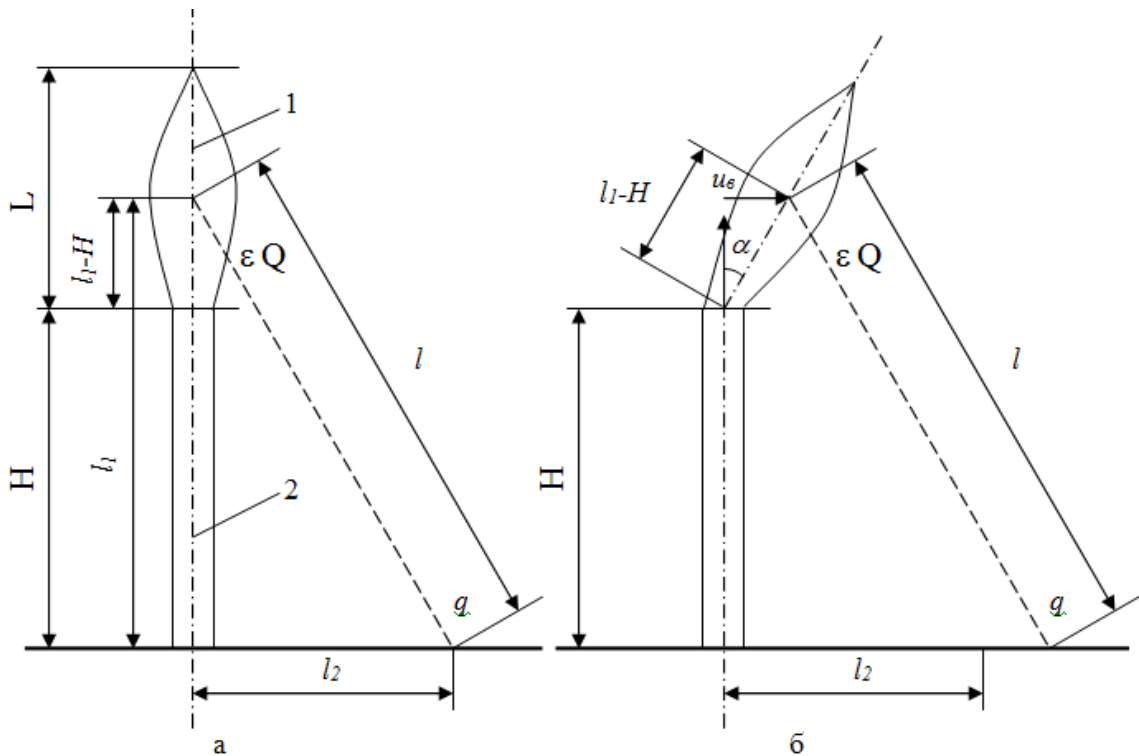


Рисунок 4 – Расположение факела в отсутствие ветра (а) и при его наличии (б)

$$l_2 = \sqrt{l^2 - l_1^2} \text{ или } l_2 = \sqrt{l^2 - H * (H + L)} \quad (16)$$

Эта зависимость справедлива для случая, когда сброс газа производится в неподвижную атмосферу. При ветре пламя будет отклонено под углом α к оси трубы. Площадь у основания, на которой интенсивность излучения будет выше допустимого предела, имеет форму эллипса. Таким образом, расстояние от факельной трубы до безопасной зоны увеличивается. Как следует из рисунка:

$$\operatorname{tg} \alpha = u_b / u \quad (17)$$

где u_b – скорость ветра, м/с; u – скорость сброса газов, м/с; α – угол наклона пламени.

$$l_2 = \left\{ l^2 - [H + (l_1 - H) * \cos \alpha]^2 \right\}^{0,5} + (l_1 - H) * \sin \alpha \quad (18)$$

Задачи для самостоятельного решения

Определите размеры факельной трубы, используя данные, приведенные в таблице 1. Скорость газа на выходе принять равной 20% скорости звука; давление газа в сбросной трубе 100 кПа; температуру окружающего воздуха 21 °С.

Таблица 1 – Индивидуальные варианты для расчета

№ варианта	Газ	y_i'	G, кг/ч	№ варианта	Газ	y_i'	G, кг/ч
1	Метан	0,20	161000	9	Этан	0,28	190000
	Этан	0,25			Пропан	0,11	
	Азот	0,55			Азот	0,61	
2	Метан	0,28	170000	10	Этан	0,31	188000
	Этан	0,19			Пропан	0,08	
	Азот	0,53			Азот	0,61	

№ варианта	Газ	y_i'	G, кг/ч	№ варианта	Газ	y_i'	G, кг/ч
3	Метан Этан Азот	0,11 0,32 0,57	167000	11	Этан Пропан Азот	0,27 0,16 0,57	169000
4	Метан Этан Азот	0,32 0,12 0,56	175000	12	Пропан Бутан Азот	0,18 0,24 0,58	164000
5	Метан Этан Азот	0,28 0,19 0,47	165000	13	Пропан Бутан Азот	0,24 0,14 0,59	171000
6	Метан Этан Азот	0,19 0,23 0,58	181000	14	Пропан Бутан Азот	0,17 0,15 0,68	180000
7	Метан Этан Азот	0,28 0,19 0,53	169000	15	Метан Этан Водяной пар	0,21 0,18 0,61	178000
8	Этан Пропан Азот	0,16 0,24 0,60	185000	16	Метан Этан Вод.пар	0,61 0,11 0,28	161100

Вопросы и задания:

1. Какие загрязняющие вещества содержатся в выбросах нефтеперерабатывающих заводов?
2. Для чего предназначены факельные установки и какие требования к ним предъявляются?
3. Приведите классификацию факельных установок.
4. Опишите схему факельной установки со сбросом газов в трубу.
5. Опишите схему факельной установки с сепаратором.

Практическое занятие № 6. Специфика очистки стоков нефтехимических производств

Цель: приобретение практических навыков, необходимых для принятия технически и экономически обоснованных решений в вопросах организации и управления охраной окружающей природной среды на предприятиях нефтегазопереработки, при планировании и проведении научных исследований по проектированию средозащитных технологических схем, выбору очистного оборудования и эффективных природоохранных мероприятий.

Формируемые компетенции: готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения (ОК-2); готовность к совершенствованию технологического процесса – разработке мероприятий по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов производства, к исследованию причин брака в производстве и разработке предложений по его предупреждению и устранению (ПК-5); способность находить оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты (ПК-10); способность применять принципы рационального природопользования, энерго- и ресурсосберегающие технологии при проектировании и осуществлении производственных процессов (ППК-1).

Актуальность темы: Актуальность практического занятия состоит в том, что знания, полученные в ходе работы, будут использованы при написании магистерской диссертации и для определения оптимальных условий управления производственными процессами.

Теоретическая часть:

Нефтехимическая промышленность - завершающий этап крупной комплексной промышленной схемы: добыча природного сырья - его переработка - получение продуктов народнохозяйственного назначения.

В настоящее время нефтехимическая промышленность является одной из важнейших отраслей современной экономики

Нефтяной комплекс поставляет стране более 3 тыс. веществ разного наименования. Помимо различных видов топлива и масел - это синтетические органические продукты разнообразного целевого назначения и высокомолекулярные вещества.

Два основных направления нефтехимии включают:

- пиролиз нефти, сопровождающийся производством этилена, пропилена, бутадиена, стирола, а также полимеров, каучука и т.д.;
- каталитический риформинг нефти, приводящий к получению ароматических соединений, а также фенолов, анионных поверхностно-активных веществ.

Эти производства являются непосредственным продолжением процессов нефтепереработки.

Производство продукции нефтехимии по темпам развития опережает химическую промышленность. В отрасли строятся и вводятся новые мощности. Примером может служить строительство завода в г. Буденновске по выпуску полиэтилена высокого давления.

Жидкие отходы двух видов производств имеют сходный состав и общие методы очистки. Однако нефтехимия дает также и специфические отходы.

Можно выявить аналогии, которые существуют между жидкими отходами нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности:

- наличие преимущественно органических примесей и углеводородов в сточных водах;
- присутствие в сточных водах фенолов, сульфидов или продуктов их окисления.
- Вместе с тем существуют и отличия нефтехимических стоков. Наиболее существенные из них следующие:
- отсутствие в жидких отходах питательных веществ — соединений азота и фосфора;
- сильная засоленность воды, часто встречающаяся при таких процессах как алкилирование и сополимеризация мономеров.

Концентрация солей в сточных водах этих производств составляет 5 — 25 г/л и обусловлена содержанием NaCl и CaCl₂. В некоторых случаях стоки имеют высокую температуру (до 40 °C).

Отдельные отходы нефтехимической промышленности, особенно при производстве полимеров, содержат мало жидких растворенных примесей, но насыщены взвесями и углеводородами.

В большинстве сточных вод отмечают наличие большого количества летучих примесей загрязнителей. При их высокой концентрации перед биологической очисткой желательно выпаривать жидкие отходы.

По сравнению с нефтеперерабатывающей промышленностью нефтехимическая отрасль использует значительно большее число технологий и производит расширенный ассортимент продукции. Поэтому в сточных водах этих производств могут присутствовать соединения, не характерные для процессов нефтепереработки.

В США Агентство по охране окружающей среды (Environmental Protection Agency) представило список 130 потенциально токсичных соединений, входящих в состав жидких отходов 40 нефтехимических комплексов. Для устранения этих примесей, получивших название «приоритетные загрязняющие примеси», разработаны специальные рекомендации и технологии. К этим рекомендациям относятся: использование сильных окислителей — H₂O₂ и озона, окисление на активированном угле в окончательной стадии или добавление угля к активному илу.

К числу особо токсичных примесей отнесены:

- органические хлорсодержащие соединения C₂—C₅;
- ароматические соединения (бензол, толуол, этилбензол);
- полиароматические соединения, в том числе: бензо-3,4-пирен, аценафтен; бензо-1,1,2-перилен, антрацен, флуорен, нафталин;
- нитроамины и нитроароматические соединения;
- фенолы, нитрофенолы и хлорфенолы;
- токсичные металлы (Sb, Be, Cd, Си, Cr, Pb, Hg, Ni, Se, Th).

Для уничтожения токсичных примесей предложены дополнительные виды обработки сточных вод.

Использование сильных окислителей рекомендовано в двух случаях:

1. сильные окислители (например, H₂O₂, надсерная кислота, озон) применяют для окисления фенолов, цианидов и других «стойких» органических соединений, плохо поддающихся устранению и разрушению при других способах очистки;
2. процесс окисления воздухом или кислородом проводят в условиях повышенных температур и давления. В США этот процесс осуществляют при следующих показателях: температура 250-320 °C, давление 0,2-0,3 МПа, время пребывания в реакторе 20-120 мин.

Адсорбция на активированном угле предусматривается перед подачей раствора на биологическую очистку. Этот метод применяется для фракций, которые содержат вещества, не разлагающиеся при биологической очистке. В качестве адсорбентов обычно используют активированный уголь, поскольку по сравнению со смолами он имеет более низкую стоимость и его можно регенерировать двумя-тремя различными способами.

Адсорбция может применяться для выделения двух классов соединений, плохо или вообще не поддающихся биоразложению:

- относительно летучих и хорошо адсорбируемых ароматических соединений, если температура раствора намного ниже температуры их кипения;
- соединений с высокой молекулярной массой — хлор-, фосфор- и азотсоединений, а также полиароматических производных.

Адсорбцию обычно проводят в двух-трех колоннах высотой 2-3 м в течение 20-120 мин.

Регенерацию активированного угля производят путем нагрева в восстановительной среде. При этом 70-85% исходной адсорбционной способности угля может рекуперироваться.

Применяют также промывку паром, что позволяет отгонять летучие соединения (хлорсодержащие соединения и бензол-толуол-ксилольную фракции).

Отечественная промышленность выпускает значительное количество продуктов органического синтеза – пластические массы, синтетический каучук, искусственные волокна, органические красители, лаки, краски, моющие вещества и др.

Исходными веществами для синтеза этих соединений служат алифатические и ароматические углеводороды, которые выделяются при переработке нефти.

Простые углеводороды (метан, этилен, пропилен, ацетилен и пр.) являются основным сырьем для органического синтеза и выпускаются промышленностью десятками и сотнями тысяч тонн.

Часто в технологии органического синтеза реализуется схема, при которой из сырьевого продукта получают полупродукты, из которых затем синтезируют готовое вещество.

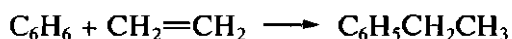
В качестве примера рассмотрим производство этилбензола, из которого получают стирол, и далее – полистирол.

Этилбензол $C_6H_5CH_2CH_3$ является сырьем для получения стирола. Этилбензол получают методом алкилирования бензола.

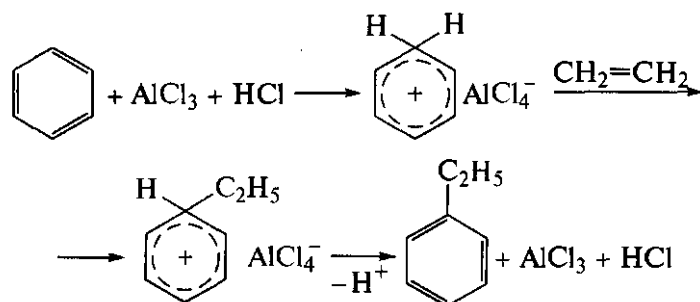
Алкилирование – один из известных способов, применяемых в нефтеперерабатывающей промышленности. Его используют для получения высокооктанового бензина и полупродуктов для проведения нефтехимического синтеза. Под реакцией алкилирования понимают замену одного или нескольких атомов водорода в ароматическом ядре углеводорода на алкильную группу. Этот процесс осуществляется при взаимодействии ароматических углеводородов с олефинами. В качестве катализаторов применяют безводный хлорид алюминия, серную или фосфорную кислоты.

Процесс может протекать в жидкой фазе в присутствии хлорида алюминия при температуре 90-100 °С и повышенном давлении, или в паровой фазе над фосфорной кислотой, нанесенной на активный уголь, при температуре 270-275 °С и давлении 60 атм (6,0 МПа).

Наиболее часто процесс проводят при использовании в качестве катализатора безводного хлорида алюминия:



Активатором служит хлорид водорода. Катализатор готовят отдельно путем растворения хлорида алюминия в бензоле при добавлении хлорида водорода или хлористого этила. Чтобы увеличить выход этилбензола и уменьшить вероятность образования полиалкилбензолов, берут отношение бензола к олефину в пределах от 3 : 1 до 2:1. Температура процесса составляет 80-130 °С, которую поддерживают регулированием давления в реакторе (0,1-0,6 МПа). От величины давления зависит степень испарения, что в свою очередь влияет на температуру в аппарате. При этом протекают следующие реакции:



Процесс алкилирования проводят в реакторе в режиме барбатажа. В реактор загружают катализаторный комплекс и бензол. Через реактор пропускают этилен. При подаче этилена происходит перемешивание раствора. Скорость и способ подачи C_2H_4 выбирают таким образом, чтобы в реакторе не образовывались застойные зоны. Процесс протекает автотермично. Избыточное тепло отводится из реактора с парами бензола.

Сточные воды в производстве этилбензола. В процессе алкилирования образуется большое количество сточных вод – 10-12 м³ на 1 т этилбензола. В составе сточных вод в качестве примесей присутствуют углеводороды и неорганические соли.

Очистку сточной воды проводят в три этапа:

- отгонка для удаления легколетучих органических примесей;
- известкование с добавлением в качестве флокулянта полиакриламида;
- обезвоживание на фильтр-прессах образующегося шлама и вывоз его на утилизацию.

Вопросы и задания:

1. Какие токсичные примеси содержатся в сточных водах нефтехимических производств?
2. Назовите специальные виды обработки сточных вод.
3. Охарактеризуйте процесс образования и очистки сточных вод в производстве этилбензола.

Практическое занятие № 7. Расчет аппаратов для очистки нефтесодержащих сточных вод

Цель: приобретение практических навыков, необходимых для принятия технически и экономически обоснованных решений в вопросах организации и управления охраной окружающей природной среды на предприятиях нефтегазопереработки, при планировании и проведении научных исследований по проектированию средозащитных технологических схем, выбору очистного оборудования и эффективных природоохранных мероприятий.

Формируемые компетенции: готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения (ОК-2); готовность к совершенствованию технологического процесса – разработке мероприятий по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов производства, к исследованию причин брака в производстве и разработке предложений по его предупреждению и устранению (ПК-5); способность находить оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты (ПК-10); способность применять принципы рационального природопользования, энерго- и ресурсосберегающие технологии при проектировании и осуществлении производственных процессов (ППК-1).

Актуальность темы: Актуальность практического занятия состоит в том, что знания, полученные в ходе работы, будут использованы при написании магистерской диссертации и для определения оптимальных условий управления производственными процессами.

Теоретическая часть:

Механическая очистка служит для удаления крупнодисперсных взвесей и примесей в качестве первой стадии в общей системе очистки. Для задержания тяжелых нерастворимых примесей, главным образом песка, применяют песколовки. Расчет песколовки заключается в определении ее размеров – длины, ширины, высоты, или количества секций при выбранных размерах.

Расчет песколовки

Песколовка – это проточный аппарат прямоугольной формы, в котором жидкость движется прямолинейно. Выделяющийся песок сгребается скребками к приемному бункеру и забирается оттуда насосами на площадки для обезвоживания. Длина песколовки колеблется в пределах 10-15 м, ширина – от 0,5 до 2,0 м, глубина проточной части – от 0,4 до 1,0 м. Скорость движения сточных вод через песколовку составляет 0,1-0,3 м/с, время пребывания 30-120 с. Песколовка предназначена для задержания минеральных частиц крупностью 0,15 мм и более.

Длину рабочей части песколовки рассчитывают по формуле

$$L_{\Pi} = \frac{hu}{u_0}, \quad (1)$$

где L_{Π} – длина рабочей части песколовки, м;

h – глубина рабочей части песколовки, м;

u_0 – скорость осаждения частиц определенного диаметра в движущемся турбулентном потоке жидкости, м/с;

u – скорость движения сточной воды, м/с.

Скорость осаждения u_0 находят по формуле Карпинского

$$u_0 = 10^{-3} \sqrt{u_{\Gamma}^2 - u_T^2}, \quad (2)$$

где u_{Γ} – средняя гидравлическая крупность частиц, мм/с, т. е. скорость выпадения частиц песка определенного размера из воды, находящейся в спокойном состоянии;

u_T – вертикальная турбулентная составляющая, мм/с.

Величину u_{Γ} принимают по таблице 1, в зависимости от диаметра частиц песка.

Вертикальную турбулентную составляющую вычисляют по формуле

$$u_T = 0,05u. \quad (3)$$

Таблица 1 – Гидравлическая крупность песка (мм/с)

$t, ^\circ\text{C}$	0,15 мм	0,20 мм	0,25 мм	0,30 мм	0,35 мм	0,40 мм	0,50 мм
15	13,2	18,8	24,2	30,0	35,5	41,2	52,4
10	11,5	17,1	22,5	28,3	34,3	39,5	50,7

При определении u_T должны соблюдаться следующие ограничения: при осаждении частиц диаметром 0,15 мм допустимая скорость потока через песколовку не должна превышать 0,25 м/с при температуре воды 15°C и 0,2 м/с при температуре воды 10°C.

И.Л. Монгайт и И.Д. Родзиллер рекомендуют проводить расчет песколовки с использованием следующих формул:

$$L_{II} = K_1 K_2 \frac{h}{u_0} u, \quad (4)$$

где K_1 – коэффициент для учета влияния различных факторов на работу сооружения, в большинстве случаев принимается равным 1;

K_2 – коэффициент, учитывающий влияние турбулентности потока, несовершенство гидравлических условий работы, расслоение песка и других факторов.

Для определения K_2 используют формулу

$$K_2 = \frac{u_T}{\sqrt{u_T^2 - u_0^2}}. \quad (5)$$

Для данного метода расчета u_T (мм/с) вычисляют по формуле

$$u_T = 0,08u - 2,3 \quad (6)$$

при этом должны соблюдаться следующие ограничения: при осаждении частиц с диаметром 0,15 мм скорость потока u должна быть не более 0,15 м/с, при осаждении частиц с диаметром 0,20 мм – не более 0,2 м/с.

Другие размеры сечения песколовки находят из уравнения неразрывности струи

$$G' = Su = S_1 u_0, \quad (7)$$

где

G' – расход сточной воды, м³/с;

S – площадь поперечного сечения песколовки, м;

S_1 – площадь свободной поверхности сточной воды, м.

Для прямоугольного сечения песколовки

$$S = hB_{II}, \quad (8)$$

$$S_1 = L_{II} B_{II}, \quad (9)$$

где B_{II} – ширина песколовки, м.

На основании уравнений (4.1.7)-(4.1.9) можно рассчитать величину B_{II}

$$B_{II} = \frac{G'}{hu} = \frac{G'}{L_{II} u_0}, \quad (10)$$

Для многосекционной песколовки по принятой ширине одной секции находят число последних:

$$n = \frac{B_{II}}{b}, \quad (11)$$

где b – ширина одной секции, м.

Пример: Провести расчет песколовки для очистки нейтральных сточных вод НПЗ мощностью 12 млн.т нефти в год.

Исходные данные

удельный расход сточных вод $g = 2 \text{ м}^3/\text{т}$ нефти; скорость потока $u = 0,2 \text{ м/с}$; высота проточной части песколовки $h = 0,6 \text{ м}$; наименьший диаметр осаждаемых частиц $d = 0,2 \text{ мм}$; средняя температура сточной воды в песколовке $t_B = 15^\circ \text{C}$.

Решение:

1. Расход сточной воды

$$G' = \frac{12000000 \cdot 2}{365 \cdot 24 \cdot 3600} = 0,761 \text{ м}^3/\text{с}$$

2. Гидравлическая крупность песка для частиц $d = 0,2 \text{ мм}$ при $t_B = 15^\circ \text{C}$ по таблице 1 равна $u_T = 18,8 \text{ мм/с}$.

3. Вертикальная турбулентная составляющая $u_T = 0,08 \cdot 200 - 2,3 = 13,7 \text{ мм/с}$. Тогда

$$K_2 = \frac{18,8}{\sqrt{18,8^2 - 13,7^2}} = 1,46$$

4. Средняя скорость, осаждения частиц

$$u_0 = \sqrt{18,8^2 - 13,7^2} = 12,87 \text{ мм/с} = 0,01287 \text{ м/с}$$

5. Длина песколовки:

$$L_{\Pi} = 1,45 \cdot \frac{0,6}{0,01287} \cdot 0,2 = 13,5 \text{ м}$$

6. Ширина песколовки:

$$B_{\Pi} = \frac{0,761}{0,6 \cdot 0,2} = 6,34 \text{ м}$$

Принимаем ширину одной секции $b = 1,6 \text{ м}$, тогда число секций составит $n = 6,34/1,6 = 3,96$ или 4 шт.

Расчет нефтеловушки

Нефтеловушка – это прямоугольный железобетонный резервуар, разделенный на несколько секций и предназначенный для удаления нефти, а также взвешенных осадков, прошедших через песколовку. Глубина ловушки составляет 2–2,4 м, ширина секции 2–6 м, длина определяется из расчета, чтобы средняя продолжительность пребывания воды в ловушке составляла около 2 ч при расчетной скорости потока 0,003–0,008 м/с. Содержание нефтепродуктов в воде, выходящей из нефтеловушки, составляет около 100 мг/л.

Расчет нефтеловушки может быть выполнен в приведенной ниже последовательности.

1. Длина нефтеловушки

$$L_{\text{л}} = 3600 u \tau, \quad (1)$$

где u – скорость движения воды в ловушке, м/с;

τ – время пребывания воды в ловушке, ч.

2. Ширина нефтеловушки

$$B_{\text{л}} = \frac{G'}{hu}, \quad (2)$$

где G' – расход сточной воды, м³/с;

h – глубина ловушки, м.

3. Число секций $n = \frac{B_{\text{л}}}{b}$.

Пример: Провести расчет нефтеловушки для очистки сточных вод НПЗ мощностью 12 млн. т нефти в год.

Исходные данные

удельный расход сточных вод $g = 1 \text{ м}^3 / \text{т}$ нефти; скорость потока $u = 0,006 \text{ м} / \text{с}$; глубина ловушки $h = 2,1 \text{ м}$; время пребывания воды $\tau = 2 \text{ ч}$.

Решение.

1. Расход сточной воды

$$G' = \frac{12000000 \cdot 1}{365 \cdot 24 \cdot 3600} = 0,38 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

2. Длина нефтеловушки $L_{\text{л}} = 3600 \cdot 0,006 \cdot 2 = 43,2 \text{ м}$.

3. Ширина нефтеловушки $B_{\text{л}} = \frac{0,38}{2,1 \cdot 0,006} = 30 \text{ м}$.

Принимаем ширину одной секции $b = 5 \text{ м}$, тогда число секций составит $n = 30 / 5 = 6 \text{ шт}$.

Вопросы и задания:

1. Какие отстойники используются для удаления взвешенных частиц из сточных вод и какова их эффективность?
2. Какие имеются пути повышения эффективности процесса отстаивания?
3. Какие, особенности осаждения частиц в тонкослойных отстойниках?
4. Объясните механизм выделения нефти из сточных вод в нефтеловушках.
5. Объясните механизм удаления взвешенных частиц под действием центробежной силы. В чем отличие напорных от открытых гидроциклонов? Проведите сопоставление по производительности и эффективности.

Практическое занятие № 8. Технология комплексной переработки серосодержащих отходов нефтеперерабатывающих предприятий

Цель: приобретение практических навыков, необходимых для принятия технически и экономически обоснованных решений в вопросах организации и управления охраной окружающей природной среды на предприятиях нефтегазопереработки, при планировании и проведении научных исследований по проектированию средозащитных технологических схем, выбору очистного оборудования и эффективных природоохранных мероприятий.

Формируемые компетенции: готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения (ОК-2); готовность к совершенствованию технологического процесса – разработке мероприятий по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов производства, к исследованию причин брака в производстве и разработке предложений по его предупреждению и устранению (ПК-5); способность находить оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты (ПК-10); способность применять принципы рационального природопользования, энерго- и ресурсосберегающие технологии при проектировании и осуществлении производственных процессов (ППК-1).

Актуальность темы: Актуальность практического занятия состоит в том, что знания, полученные в ходе работы, будут использованы при написании магистерской диссертации и для определения оптимальных условий управления производственными процессами.

Теоретическая часть:

Одним из многотоннажных твердофазных и трудноутилизируемых отходов в нефтепереработке и нефтехимии являются кислые гудроны. Они образуются при очистке специальных масел (трансформаторных, конденсаторных, гидравлических и др.), при производстве сульфонатных присадок, сульфировании индивидуальных углеводородов и нефтяных фракций при производстве моющих средств типа алкиларилсульфонатов и алкилсульфатов, при производстве высокооктанового компонента бензина алкилированием изобутана олефинами, при олеумной очистке *n*-парафиновых углеводородов от ароматики на установках «Парекс».

Несмотря на сокращение в последнее время применения серной кислоты для очистки масел и парафинов и прекращение применения её для очистки керосинов и бензинов, масштабы сернокислотных отходов весьма значительны.

Кислые гудроны представляют собой смолообразные высоковязкие массы различной степени подвижности, содержащие разнообразные органические соединения, свободную серную кислоту и воду.

Значительная часть образующихся кислых гудронов в настоящее время не используется, поэтому огромные количества их складываются в заводских прудах-накопителях, занимающих большие площади, и загрязняют окружающую среду.

В результате воздействия атмосферных осадков, воды и пыли в прудах образуется три слоя: верхний слой – слабокислой, не растворимой в воде органики; средний – водный, содержащий серную кислоту и растворённую и эмульгированную органику; нижний – кислый гудрон. Для обезвреживания прудовых кислых гудронов необходимо утилизировать верхний, легкоподвижный слой слабокислой органики, нейтрализовать водный слой и довести содержание органических веществ в нём до норм сброса и только после этого обезвредить нижний слой – кислый гудрон.

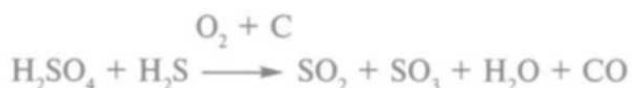
В результате утилизации верхнего слоя можно получать смазку для форм по производству железобетонных изделий, а также сжигать его в смеси с мазутом при производстве цемента.

Кислый водный слой нейтрализуют с помощью известковых материалов, при этом происходит его очистка от органики.

Для обезвреживания нижний слой нейтрализуют, или переводят в твёрдое состояние для хранения в условиях, исключающих размывание атмосферными осадками.

Основными способами переработки кислых гудронов, реализованными в настоящее время, являются: высокотемпературное расщепление с целью регенерации серной кислоты, использования при обработке солончаковых почв в сельском хозяйстве и бурении скважин в нефтедобыче.

В основе высокотемпературного расщепления кислого гудрона лежат реакции термической диссоциации серной кислоты и триоксида серы:



Для достижения необходимой температуры (810-1200 °С) сжигают органическую часть кислого гудрона, в результате процесса термического расщепления образуются серосодержащие газы.

Этот метод применяют для переработки кислого гудрона, получаемого при очистке жидкого и твёрдого парафина, ароматических углеводородов, топлив и масел. Выделяющийся при этом диоксид серы можно использовать для получения бисульфита натрия, безводного сульфата натрия или разбавленной серной кислоты с последующей утилизацией её в производстве суперфосфата. Этим методом можно получить и чистую стандартную серную кислоту любой концентрации, вплоть до олеума.

Кислые гудроны и отработанную серную кислоту можно использовать в сельском хозяйстве для кислования почв содового засоления. При контакте серной кислоты с карбонатами почвы протекают реакции, в результате которых образуются легко растворимые и выводимые из почвы соли; при этом улучшается микроагрегатный состав почв, снижается щёлочность и солонцеватость.

Кислый гудрон можно нейтрализовать обработкой его шламом, образующимся при очистке сульфатных присадок. Полученный продукт используется в качестве компонента котельного топлива, эксплуатационные характеристики которого улучшаются за счёт присутствия анионоактивных ПАВ, обладающих моющими свойствами и предотвращающих образование нагара.

В качестве перспективных способов переработки кислых гудронов можно рассматривать такие как:

- низкотемпературная переработка кислых гудронов;
- производство ПАВ;
- производство цемента;
- производство дорожного вяжущего материала.

Низкотемпературная переработка кислых гудронов может осуществляться в нефтяной восстановительной среде, которая выполняет одновременно роль теплоносителя (этот процесс сравнительно прост в аппаратном оформлении, малоэнергоёмок, поэтому является наиболее экономически выгодным и перспективным. В основе его лежит окислительно-восстановительное взаимодействие серной кислоты и её органических производных с нефтяными фракциями).

Предприятия, нуждающиеся в утилизации сернокислотных отходов, могут реализовывать различные технологические варианты. Предложено совмещение переработки кислых гудронов с производством битума: прямогонный гудрон поступает на битумную установку после разложения в нём сернокислотных отходов. Если битумного производства на заводе нет, то разложение сернокислотных отходов можно проводить в нефтяном сырье, поступающем на производство кокса или котельных топлив.

Из сернокислотных отходов получается высококонцентрированный диоксид серы, который можно перерабатывать в серную кислоту и поглощать содовым раствором с получением товарного бисульфита, сжижать и отправлять потребителям в виде товарного продукта.

Производство ПАВ на основе кислых гудронов основано на высокой поверхностной активности сульфокислот и сульфонов, входящих в их состав. Технические ПАВ получают в процессе нейтрализации кислых гудронов и используют в качестве деэмульгаторов, пенообразователей, смазочно-охлаждающих жидкостей, флотационных реагентов.

Производство цемента допускает применение низкокалорийного топлива и кислых отходов в связи с наличием большого объёма зоны горения топлива и непосредственного контакта продуктов сгорания топлива и обжигаемого материала, имеющего щелочную среду. Поэтому цементная промышленность может быть потребителем кислого гудрона и практически всех других углеводородных отходов нефтепереработки и нефтехимии. Нефтеотходы можно вводить в печь вместе с цементным шламом или с топливом. Кислые гудроны с содержанием серной кислоты не более 3-5% целесообразно смешивать с применяемым мазутом и затем подвергать

сжиганию. Поскольку такие кислые гудроны при хранении могут образовывать твёрдые конгломераты, кислые гудроны с содержанием серной кислоты до 40-50% масс, нейтрализуют цементным шламом на цементном заводе, если он расположен близко от НПЗ, или на НПЗ – при удалённом расположении его от цементного завода. Нейтрализованные кислые гудроны могут быть использованы в качестве интенсификаторов процесса клинкерообразования в производстве цемента. Добавление 9-15% продукта нейтрализации кислого гудрона к топливу даёт наибольший положительный эффект в этом процессе – количество свободного оксида кальция не превышает допустимых пределов; отмечается низкий удельный расход тепла на обжиг клинкера (полупродукт, получаемый в виде гранул при обжиге известняка с глиной), сгорание топлива в факеле происходит устойчиво. Интенсификатор может быть получен и на основе нефтешлама – наиболее распространённого отхода нефтепереработки.

Производство дорожного вяжущего материала осуществляется нейтрализацией известью верхнего слоя прудов кислого гудрона, смешения продуктов нейтрализации с асфальтом и последующего окисления воздухом. Этот процесс опробован для старых прудов кислого гудрона. К кислому гудрону можно до окисления добавить полиэтилен, который блокирует водорастворимые соединения и даёт возможность получать водостойкий вяжущий материал.

Таким образом, проблема утилизации кислых гудронов должна решаться двумя путями:

1. ликвидацией или снижением расхода в технологических процессах серной кислоты, олеума и триоксида серы, дающих сернокислотные отходы;
2. разработкой эффективных процессов переработки кислых гудронов, направленных на получение ценных продуктов.

Вопросы и задания:

1. Назовите источники образования кислых гудронов.
2. Перечислите перспективные способы их переработки.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература:

1. Гридэл, Т. Е. Промышленная экология : учебное пособие / Т. Е. Гридэл, Б. Р. Алленби ; пер. С.Э. Шмелев. - М. : Юнити-Дана, 2012. - 527 с. - (Зарубежный учебник). - ISBN 5-238-00620-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL:<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=117052>.
2. Зайцев, В.А. Промышленная экология : учебное пособие / В.А. Зайцев. - Эл. изд. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 389 с. - ISBN 978-5-9963-1477-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL:<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=222704>.
3. Подавалов, Ю. А. Экология нефтегазового производства : монография / Ю.А. Подавалов. - Москва : Инфо-Инженерия, 2010. - 414 с. : ил. ; 21. - Библиогр.: с. 400-404. - ISBN 978-5-9729-0028-2.

Дополнительная литература:

1. Экология нефтегазового комплекса : учеб. пособие / [Ю. В. Бабина и др.] ; под ред. А. И. Владимирова, Т. 2. - Нижний Новгород : Издательство "Вектор ТиС", 2007. - 532 с. : ил., табл. - (Приоритетные национальные проекты. Образование). Библиогр. в тексте. - ISBN 978-5-93126-109-6.
2. Воробьев, Ю. Л. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов. - 2-е изд., стер. Москва : [Институт риска и безопасности], 2007. - 376 с. : ил. - Библиогр.: с. 370-375. - ISBN 978-5-89635-055-2.
3. Тимонин, А. С. Инженерно-экологический справочник / А. С. Тимонин ; МО РФ. Моск. гос. ун-т инженер. экологии, Т.1. - Калуга : Издательство Н. Бочкаревой, 2003. - 917 с. : ил. - ISBN 5-89552-073-1.
4. Тимонин, А. С. Инженерно-экологический справочник / А. С. Тимонин ; Мин-во образования Рос. Федерации. Моск. гос. ун-т инженер. экологии, Т.2. — Калуга : Издательство Н. Бочкаревой, 2003. - 884 с. - ISBN 5-89552-072-3.
5. Тимонин, А. С. Инженерно-экологический справочник / А. С. Тимонин ; Мин-во образования Рос. Федерации. Мос. гос. ун-т инженер. экологии, Т.3. - Калуга : Издательство Н. Бочкаревой, 2003. - 1024 с. - ISBN 5-89552-077-4

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

«ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССОВ НЕФТЕГАЗОПЕРЕРАБОТКИ»

для студентов направления подготовки 18.04.01 Химическая технология
направленность (профиль) «Технология переработки нефти»

Ставрополь, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

<u>ВВЕДЕНИЕ.....</u>	<u>52</u>
<u>ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ.....</u>	<u>53</u>
<u>ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ.....</u>	<u>53</u>
<u>САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА.....</u>	<u>54</u>
<u>САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЙ.....</u>	<u>54</u>
<u>ИНЫЕ ФОРМЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ</u>	<u>54</u>
<u>КОНТРОЛЬ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПРЕПОДАВАТЕЛЯМИ.....</u>	<u>54</u>
<u>КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.....</u>	<u>55</u>
<u>СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</u>	Ошибка! Закладка не определена.

ВВЕДЕНИЕ

Целью изучения дисциплины «Экологические аспекты процессов нефтегазопереработки» является формирование набора универсальных и профессиональных компетенций УК-1, ПК-5, ПК-6 выпускника магистратуры по направлению подготовки 18.04.01 Химическая технология направленность (профиль) «Технология переработки нефти».

Основные задачи изучения дисциплины:

- развитие представлений об основных источниках и последствиях загрязнения воздуха, воды, почвы предприятиями нефтегазопереработки;
- приобретение знаний о методах мониторинга нефтяного загрязнения, об экологическом нормировании воздействия на компоненты биосферы
- ознакомление с методами очистки газовых выбросов, сточных вод, утилизации и рекуперации твердых отходов нефтегазопереработки.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Реализация образовательной программы подготовки студентов должна обеспечиваться доступом каждого к библиотечным фондам и базам данных, формируемым по полному перечню дисциплин образовательной программы. Библиотека вуза должна иметь достаточное количество современных учебников и учебных пособий по всем циклам дисциплин и постоянно пополняться научной литературой и периодическими изданиями экологического профиля. Во время самостоятельной подготовки обучающиеся должны быть обеспечены доступом к сети Интернет.

Объем времени, отведенный на внеаудиторную самостоятельную работу, находит отражение:

- в рабочем учебном плане – в целом по образовательной программе, по каждому блоку, по дисциплине (модулю);
- в рабочих программах учебных дисциплин (модулей) с распределением по разделам или конкретным темам.

Под самостоятельной работой студентов понимается планируемая учебная, учебно-исследовательская, а также научно-исследовательская работа, которая выполняется во внеаудиторное время по инициативе магистра или по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности, организованности;
- формирования практических умений и навыков;
- развития исследовательских умений.

Задачи самостоятельной работы:

- овладение теоретическими знаниями о современных научно-технических и практических проблемах промышленной экологии;
- формирование опыта собственной поисковой, творческой, научно-исследовательской деятельности.

Самостоятельная работа способствует развитию ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального (в том числе научного) уровня.

ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Основными видами самостоятельной учебной деятельности студентов являются:

- 1) предварительная подготовка к аудиторным занятиям, в том числе к тем, на которых будет изучаться новый, незнакомый материал;
- 2) своевременная доработка конспектов лекций;
- 3) подбор, изучение, анализ и, при необходимости, конспектирование рекомендованных литературных источников;
- 4) выяснение наиболее сложных, непонятных вопросов и их уточнение во время консультаций;
- 5) подготовка к зачету или экзамену;
- 6) выполнение собственных научных исследований, либо участие в научных исследованиях, проводимых на кафедре;
- 7) систематическое изучение периодической печати, научных монографий, поиск и анализ дополнительной информации по учебным дисциплинам.

Виды самостоятельной работы могут быть разделены на основные (аудиторные) и дополнительные (внеаудиторные).

Основные виды самостоятельной работы выполняются в обязательном порядке с последующим контролем результатов преподавателем, который проводит практические занятия.

Дополнительные (внеаудиторные) виды самостоятельной работы выполняются по выбору магистра и заданию преподавателя без его непосредственного участия. Дополнительные виды самостоятельной работы по дисциплине рекомендуются тем магистрам, которые наиболее заинтересованы в изучении дисциплины.

К основным (обязательным) видам самостоятельной работы студентов относятся:

а) самостоятельное изучение теоретического материала;

Дополнительными видами самостоятельной работы являются:

а) подготовка докладов и сообщений для выступления на семинарах;

б) участие в ежегодной научно-технической конференции;

Дополнительные виды самостоятельной работы не являются обязательными и выполняются магистрами по собственной инициативе с предварительным согласованием с преподавателем, либо при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Самостоятельное изучение теоретического материала предусмотрено на всём протяжении курса. Такая работа сопровождает лабораторные работы, текущий контроль и промежуточную аттестацию, и в то же время является отдельным видом самостоятельной работы.

Источники для самостоятельного изучения теоретического материала:

- учебники по предмету;
- учебные пособия по отдельным темам;
- научные статьи в периодической печати и рекомендованных сборниках;
- научные монографии.

Умение студентов быстро и правильно подобрать литературу, необходимую для выполнения учебных заданий и научной работы, является залогом успешного обучения. Самостоятельный подбор литературы осуществляется при подготовке к практическим занятиям, при написании научных рефератов.

Выполнение самостоятельной работы на занятиях с проверкой результатов преподавателем позволяет магистрам усваивать изучаемый материал более глубоко.

САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЙ

Задания для самостоятельной работы преимущественно содержатся в учебно-методическом комплексе дисциплины (практикум). Сдача выполненного задания производится преподавателю, ведущему практические занятия, в установленные сроки.

ИНЫЕ ФОРМЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

К иным формам самостоятельной работы студентов относятся: подготовка сообщений, докладов, выступлений на «круглых столах», семинарах, конференциях. Если преподаватель поручил студенту подготовить доклад, сообщение или иное выступление, то самостоятельная работа по их написанию может проходить в следующей последовательности.

1. Нужно подобрать литературу, проконсультироваться у преподавателя по содержанию предстоящего доклада (выступления).
2. Необходимо изучить литературу, сгруппировать материал и составить подробный план доклада (выступления).
3. Следует написать полный текст доклада (выступления). Для выступления с докладом обычно отводится 10-12 минут, поэтому все содержание доклада должно быть не более 7-10 страниц.
4. Магистру рекомендуется продумать методику чтения доклада. При возможности следует подготовить доклад с презентацией или раздаточным материалом.
5. Важно потренироваться в чтении доклада.

КОНТРОЛЬ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПРЕПОДАВАТЕЛЯМИ

Оценка самостоятельной работы магистра влияет на итоговую оценку по дисциплине следующим образом: во-первых, оценка самостоятельной работы учитывается в такой форме текущего контроля, как опрос на занятиях; во-вторых, самостоятельная работа по предмету поощряется, и преподаватель может использовать (и, как правило, использует) оценку самостоятельной работы в качестве поощрительной составляющей на зачете или экзамене; в спорных моментах оценка самостоятельной работы может разрешить ситуацию в пользу обучающегося.

Контроль самостоятельной работы студентов предусматривает:

- соотнесение содержания контроля с целями обучения;
- объективность контроля;

- валидность контроля (соответствие предъявляемых заданий тому, что предполагается проверить);
- дифференциацию контрольно-измерительных материалов.

Основными формами контроля самостоятельной работы магистра преподавателями являются:

1. просмотр и проверка продукта самостоятельной работы преподавателем;
2. самопроверка, взаимопроверка выполненного задания в группе;
3. обсуждение результатов выполненной работы на занятии;
4. письменный опрос;
5. индивидуальное собеседование;

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Независимо от вида самостоятельной работы критериями оценки самостоятельной работы могут считаться:

- уровень освоения магистром учебного материала;
- умение магистра использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- умение магистра активно использовать электронные образовательные ресурсы, находить информацию, изучать ее и применять на практике;
- умение ориентироваться в потоке информации, выделять главное;
- обоснованность и четкость изложения материала;
- оформление материала в соответствии с требованиями.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература:

1. Гридэл, Т. Е. Промышленная экология : учебное пособие / Т. Е. Гридэл, Б. Р. Алленби ; пер. С.Э. Шмелев. - М. : Юнити-Дана, 2012. - 527 с. - (Зарубежный учебник). - ISBN 5-238-00620-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=117052>.
2. Зайцев, В.А. Промышленная экология : учебное пособие / В.А. Зайцев. - Эл. изд. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 389 с. - ISBN 978-5-9963-1477-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=222704>.
3. Подавалов, Ю. А. Экология нефтегазового производства : монография / Ю.А. Подавалов. - Москва : Инфо-Инженерия, 2010. - 414 с. : ил. ; 21. - Библиогр.: с. 400-404. - ISBN 978-5-9729-0028-2.

Дополнительная литература:

1. Экология нефтегазового комплекса : учеб. пособие / [Ю. В. Бабина и др.] ; под ред. А. И. Владимирова, Т. 2. - Нижний Новгород : Издательство "Вектор ТиС", 2007. - 532 с. : ил., табл. - (Приоритетные национальные проекты. Образование). Библиогр. в тексте. - ISBN 978-5-93126-109-6.
2. Воробьев, Ю. Л. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов. - 2-е изд., стер. Москва : [Институт риска и безопасности], 2007. - 376 с. : ил. - Библиогр.: с. 370-375. - ISBN 978-5-89635-055-2.
3. Тимонин, А. С. Инженерно-экологический справочник / А. С. Тимонин ; МО РФ. Моск. гос. ун-т инженер. экологии, Т.1. - Калуга : Издательство Н. Бочкаревой, 2003. - 917 с. : ил. - ISBN 5-89552-073-1.
4. Тимонин, А. С. Инженерно-экологический справочник / А. С. Тимонин ; Мин-во образования Рос. Федерации. Моск. гос. ун-т инженер. экологии, Т.2. - Калуга : Издательство Н. Бочкаревой, 2003. - 884 с. - ISBN 5-89552-072-3.
5. Тимонин, А. С. Инженерно-экологический справочник / А. С. Тимонин ; Мин-во образования Рос. Федерации. Моск. гос. ун-т инженер. экологии, Т.3. - Калуга : Издательство Н. Бочкаревой, 2003. - 1024 с. - ISBN 5-89552-077-4