

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра химической технологии твердого топлива

Составители
А. В. Неведров,
Е. В. Васильева,
А. В. Папин

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ УГЛЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Методические материалы

Рекомендовано учебно-методической комиссией
направления подготовки 18.06.01 Химическая технология
в качестве электронного издания
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2019

Рецензенты

Кошелев Е. А. – кандидат химических наук, доцент кафедры химической технологии твердого топлива.

Черкасова Т. Г. – председатель учебно-методической комиссии направления подготовки 18.06.01 Химическая технология

Неведров Александр Викторович

Васильева Елена Вячеславовна

Папин Андрей Владимирович

Экологическая безопасность углеродоперерабатывающих предприятий: методические материалы [Электронный ресурс] для обучающихся направления подготовки 18.06.01 Химическая технология направленности (профиля) Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ, всех форм обучения / сост. А. В. Неведров, Е. В. Васильева, А. В. Папин; КузГТУ. – Кемерово, 2019.

Содержит основные теоретические положения дисциплины, основные методы аналитического контроля качества твердых топлив и углеродсодержащих отходов угледобывающих и углеродоперерабатывающих предприятий. Предназначено для закрепления теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях, развития и закрепления практических навыков анализа качества топлива, а также выработке навыков самостоятельной работы, в том числе со специальной литературой.

© КузГТУ, 2019

© Неведров А. В.,
Васильева Е. В.,
Папин А. В.,
составление, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1	5
ТЕХНОЛОГИЯ И КОНТРОЛЬ ВОДОПОДГОТОВКИ	5
1. Цель и содержание работы	5
2. Теоретические положения	5
3. Оборудование и реактивы	10
4. Порядок выполнения работы	11
5. Требования к отчету	15
6. Правила техники безопасности	16
7. Контрольные вопросы	16
Список рекомендуемой литературы	17
Приложение	18
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2	
ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОТХОДОВ УГЛЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ	19
1. Цель работы	19
2. Теоретические положения	19
3. Содержание работы	29
4. Порядок выполнения работы	30
5. Правила техники безопасности	37
6. Требования к отчету	38
7. Контрольные вопросы	40
Список рекомендуемой литературы	40
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБОГАТИМОСТИ УГЛЯ. ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ	41
1. Цель работы	41
2. Теоретические положения	41
3. Оборудование и реактивы	42
4. Порядок выполнения работы	43
5. Обработка результатов	44
6. Правила техники безопасности	44
7. Требования к отчету	45
8. Контрольные вопросы	45
Список рекомендуемой литературы	45
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРИСТОСТИ УГЛЕЙ	46
1. Цель работы	46
2. Теоретические положения	46
3. Содержание работы	47

4. Правила техники безопасности	52
5. Требования к отчету	53
6. Контрольные вопросы	53
Список рекомендуемой литературы	54
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ	54
ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ	54
ПОДГОТОВКА К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ И	55
ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТОВ	
Письменный опрос	55
Отчет по лабораторной работе	56
Контрольные вопросы для защиты лабораторных работ	56
ТЕМЫ РЕФЕРАТИВНЫХ РАБОТ	57
ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ	58
СПИСОК ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ	
ЛИТЕРАТУРЫ	59
Основная литература	59
Дополнительная литература	59

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ТЕХНОЛОГИЯ И КОНТРОЛЬ ВОДОПОДГОТОВКИ

1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Работа предназначена для освоения студентами технологии и контроля промышленной водоподготовки, для ознакомления с областью применения воды в химической промышленности (универсальный растворитель, сырье для получения кислот и разнообразных многотоннажных продуктов, теплоноситель, хладагент и т. д.).

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Современные химические предприятия расходуют до 1 млн. м³ воды в сутки. Вода используется всеми химическими производствами для самых разнообразных целей: для получения водорода и кислорода; в качестве растворителя твердых, жидких и газообразных веществ; в качестве реакционной среды, экстрагента, абсорбента, транспортирующего агента; для промывки разных продуктов и очистки оборудования; в качестве теплоносителя или хладагента в теплообменном оборудовании и для других целей.

Природные воды обычно подразделяют на атмосферные, поверхностные и подземные.

Атмосферные воды – воды, выпадающие на землю в виде дождя и снега, содержат наименьшее количество примесей. В основном, это растворенные газы (кислород, диоксид углерода и азот), соли, бактерии и т. д.

Поверхностные воды – это воды открытых водоемов, рек, озер, морей, каналов и водохранилищ. В состав этих вод входят разнообразные минеральные и органические вещества в зависимости от климатических, промышленных и других факторов.

Подземные воды – воды артезианских скважин, колодцев, ключей, гейзеров. Они характеризуются значительным содержанием минеральных веществ и небольшим количеством органических веществ.

Химические производства предъявляют строго определенные требования к качеству воды в зависимости от ее целевого назначения.

Применяемая вода не должна содержать вредных для продукции веществ, корродировать аппаратуру, создавать условия для образования накипи и шламов в аппаратах и трубопроводах.

К основным показателям, определяющим качество воды, относятся следующие:

Прозрачность (мутность). Они зависят от присутствия в воде взвесей нерастворенных веществ неорганического и органического происхождения. Прозрачность и мутность взаимосвязаны между собой и определяются по специальной методике. Вода, в которой практически отсутствуют взвеси нерастворенных веществ, характеризуется мутностью не более 3–4 мг/л.

Активная реакция воды (рН) – характеризует концентрацию водородных ионов, соответственно кислотность или щелочность воды. Для большинства природных вод рН находится в пределах 6,5–8,5.

Жесткость. Жесткость воды обусловлена наличием в ней солей кальция и магния и выражается в ммоль/л. Различают общую жесткость, временную и постоянную.

Общая жесткость воды – это суммарное содержание в воде ионов кальция и магния.

Временная (карбонатная) жесткость характеризуется содержанием в воде гидрокарбонатов кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и магния $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, которые при кипячении воды переходят в нерастворимые соли и выпадают в виде плотного осадка.

Постоянная жесткость создается сульфатами, хлоридами, нитратами кальция и магния, которые при кипячении воды остаются в растворенном состоянии.

По общей жесткости природные воды подразделяют на мягкие (содержание солей менее 2 ммоль/л); средние (2–10 ммоль/л) и жесткие (более 10 ммоль/л).

Химическое потребление кислорода (ХПК). Оно характеризует суммарное содержание примесей (главным образом органических), способных подвергаться окислению. Окисляясь, примеси расходуют растворенный в воде кислород, что ухудшает качество

воды. ХПК выражают в миллиграммах кислорода, расходуемого на окисление веществ, содержащихся в 1 л воды ($\text{мг O}_2/\text{л}$). Ориентировочно считают, что 1 мг загрязняющего органического вещества соответствует 1,2 мг $\text{O}_2/\text{л}$ ХПК.

Чистые грунтовые воды характеризуются величиной ХПК 1–3 мг $\text{O}_2/\text{л}$, чистые поверхностные воды – 3–8 мг $\text{O}_2/\text{л}$, умеренно загрязненные – 20–35 мг $\text{O}_2/\text{л}$, сильно загрязненные – 100–150 мг $\text{O}_2/\text{л}$.

Биохимическое потребление кислорода (БПК) – показатель, характеризующий естественное, с помощью аэробных бактерий, окисление органических примесей воды. БПК выражают в миллиграммах кислорода, израсходованного на биохимическое разложение органических примесей, содержащихся в 1 л воды при 20 °С без доступа воздуха и света в течение 5 суток (БПК₅). Вода считается не опасной для водоемов, если БПК₅ = 0–6 мг $\text{O}_2/\text{л}$.

Природная вода, поступающая в производство, подвергается очистке различными методами в зависимости от характера примесей и требований, предъявляемых к воде данным производством. Чаще всего технология водоподготовки включает, как правило, следующие основные стадии.

Отстаивание. На этой стадии происходит освобождение воды от сравнительно крупных механических примесей за счет осаждения их под воздействием собственной массы в специальных непрерывно действующих бетонированных резервуарах-отстойниках.

Осветление (коагуляция, флотация). После грубого отстоя содержание взвешенных веществ в воде еще достаточно велико, мутность воды значительна за счет наличия тонкодисперсных и коллоидных частиц глины, песка, карбонатных и других пород почвы.

Для достижения полного осветления и обесцвечивания сливаемую с отстойников воду подвергают коагуляции. Для этого в воду добавляют коагулянты. Обычно это электролиты, например, сульфат алюминия, сульфат железа и др. Ион-коагулянт подбирают с зарядом, противоположным заряду коллоидной частицы (например, для отрицательно заряженных глинистых коллоидных частиц, в качестве коагулянта берут Al^{3+}). Ионы алюминия, аб-

сорбируясь на поверхности коллоидных частиц, нейтрализуют их заряд, при этом сжимаются сольватные (гидратные) оболочки этих частиц и создаются условия для их объединения, укрупнения и осаждения.

Часто, если в воде находятся и тонкодисперсные взвеси (т. е. более крупные по размерам, чем коллоидные), заряд которых незначителен, для очистки используют флокулянты. Это растворимые в воде высокомолекулярные соединения (например КМЦ – карбоксиметилцеллюлоза, ПАА – полиакриламид, ПОЭ – полиоксиэтилен и др.). Они образуют мостиковые соединения между частицами дисперсной фазы, после чего эти тяжелые агрегаты оседают.

В результате коагуляции и флокуляции происходит осветление и обесцвечивание воды.

Фильтрование. Образующийся при осветлении воды осадок отделяют фильтрованием.

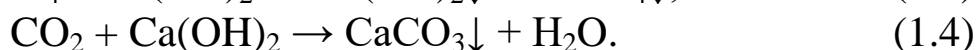
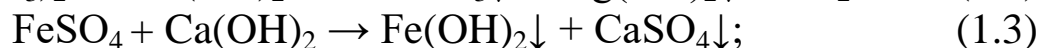
В качестве фильтрующего материала чаще всего используют кварцевый песок, дробленый антрацит, кокс, керамзит и др.

Для процесса фильтрования наибольшее значение имеют развитая поверхность фильтрующего материала, размер его частиц, скорость фильтрования. Эффективность стадий осветления и фильтрования оценивается по величине мутности воды (мг/л).

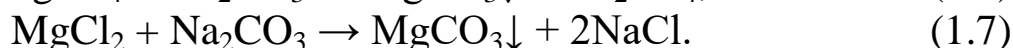
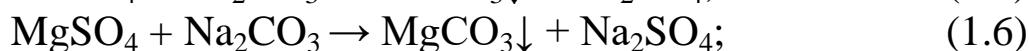
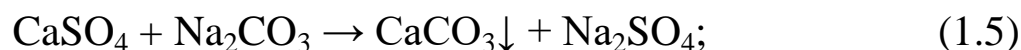
Умягчение и обессоливание. Умягчение – очистка воды от катионов кальция и магния, т. е. снижение ее жесткости. Обессоливание – очистка вода от всех солей.

Различают физические, химические и физико-химические способы умягчения воды. Два последних наиболее распространены, в частности, известково-содовый и ионообменный методы.

При обработке воды гашеной известью устраняется временная жесткость, удаляются ионы железа и связывается CO_2 :



При обработке вода кальцинированной содой устраняется постоянная жесткость:

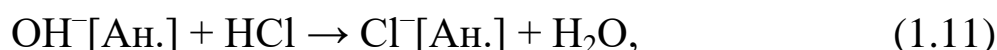


Сущность ионообменного способа умягчения состоит в удалении из воды ионов кальция и магния при помощи ионитов, способных обменивать свои ионы на ионы, содержащиеся в воде. Различают процесс катионного и анионного обмена; соответственно иониты разделяются на катиониты и аниониты. В качестве катионитов чаще всего применяют высокомолекулярные смолы, содержащие функциональные группы с подвижными катионами H^+ , Na^+ или NH_4^+ . У анионитов подвижными являются анионы OH^- и др.

Процесс катионного обмена можно представить следующим образом:



Для дальнейшего обессоливания воду после катионита пропускают через анионит для удаления анионов:

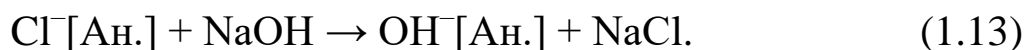


где $[\text{Кат.}]$ и $[\text{Ан.}]$ – комплексы высокомолекулярной матрицы и функциональных групп соответственно катионита и анионита, неучаствующих в ионном обмене.

При достижении ионитами состояния насыщения, т. е. заданного предела обменной емкости, требуется их регенерация. Регенерацию катионита производят растворами кислот или поваренной соли:



Регенерацию анионита производят щелочью:



Дегазация. Дегазация – удаление из воды растворенных газов, главным образом растворенных кислорода и диоксида углерода, вызывающих коррозию котельной стали и др. аппаратуры. Дегазация, как правило, является последней стадией в цепочке технологической подготовки воды перед ее использованием.

Удаление газов осуществляют методом десорбции, нагреванием воды в специальных аппаратах – деаэраторах, работающих чаще всего под вакуумом.

В процессе многократного использования в оборотных циклах вода может частично упариваться, аэрироваться, минерализоваться, содержать повышенное количество органических и коррозионно активных примесей. Поэтому в зависимости от назначения конкретного производства могут иметь место дополнительные стадии: обеззараживание, нейтрализация, очистка от органических примесей и т. д.

3. ОБОРУДОВАНИЕ И РЕАКТИВЫ

Оборудование: установка для фильтрования под вакуумом (склянка Бунзена, фарфоровая воронка Бюхнера с бумажными фильтрами, водоструйный насос или насос Камовского); магнитная мешалка ММЗМ; электрическая плитка; склянка с нижним тубусом емкостью 1 л; делительная воронка емкостью 250 мл; бюретки на 50 мл – 1 шт. и на 25 мл – 4 шт.; мерные цилиндры емкостью 250 мл и 25 мл; мерный стакан на 150 мл; колбы на 250 мл – 3 шт.; склянка на 500 мл для слива отходов грубого отстаивания; воронка стеклянная; зажимы металлические – 4 шт.; резиновая груша; пипетки на 10 мл – 2 шт. и на 100 мл – 1 шт.; «кипелки» фарфоровые; стандартный шриффт для оценки прозрачности воды; ложечки (мерки) для дозировки сульфата алюминия и индикатора эриохрома черного Т; пробирка на 10 мл.

Реактивы: замутненная вода (смесь песка, глины и др. твердых отходов с мутностью около 20 мг/л); коагулянт $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$; флокулянт Alled Colloids 0,5 %-ный раствор; катионит КУ-2-8; насыщенный раствор NaCl; 2н. HCl; 0,025М комплексон III; 0,01н. KMnO_4 ; 0,01н. $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$; H_2SO_4 (1:3); 0,05н. AgNO_3 ; аммиачно-буферная смесь; индикаторы метилоранж и эриохром черный Т.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Подготовка катионита КУ-2-8 к работе

Около 15 см³ сухой смолы промыть в колбе дистиллированной водой, после чего замочить на сутки в избытке насыщенного раствора NaCl (перевод в Na-форму);

– отмыть смолу дистиллированной водой, перенести в бюретку емкостью 25 мл, на дне которой должен быть небольшой запирающий тампон из стекловолокна. Промыть смолу в бюретке дистиллированной водой со скоростью примерно 50–60 капель в минуту до полной отмывки ее от хлор-ионов (проверить по отсутствию мути при добавлении AgNO₃). Скорость жидкости отрегулировать с помощью винтовых зажимов на входе и выходе из бюретки;

– перевести смолу в H-форму. Для этого слить воду из бюретки и промыть смолу 2н. HCl со скоростью примерно 50–60 капель в минуту. На 15 см³ исходный смолы нужно около 600 мл 2н. HCl;

– промыть смолу от HCl дистиллированной водой с той же скоростью до получения слабокислой реакции по метилоранжу (слабо-розовая, близкая к оранжевой окраска). Катионит КУ-2-8 готов к работе.

4.2. Основные стадии очистки замутненной воды

4.2.1. I стадия. Грубый отстой

Включить магнитную мешалку и отобрать через 1–2 мин из нижнего тубуса склянки с замутненной водой 150 мл воды в мерный стакан.

Дать пробе отстояться несколько минут (τ'), после чего слить жидкость в делительную воронку, а оставшийся на дне песок смыть в склянку «отходы отстоя».

4.2.2. II стадия. Тонкий отстой воды

Через несколько минут отстоя (τ'') в делительной воронке слить осадок в склянку «отходы отстоя», а мутную воду слить полностью в колбу «для коагуляции».

Контроль мутности. Сливать жидкость из колбы небольшими порциями в мерный цилиндр 250 мл, пока стандартный шрифт, поставленный под цилиндр станет плохо различимым. Замерить высоту столба воды с точностью 0,5 см, т. е. прозрачность (Π_1 , см), и по таблице (см. приложение) найти соответствующую величину мутности (M_1 , мг/л) воды.

4.2.3. III стадия. Осветление воды

Перелить всю воду после тонкого отстоя в коническую колбу «коагуляция», добавить из склянки 10 мл 0,5 %-го флокулянта, слегка перемешать и добавить около 0,8 г (меркой) порошка $Al_2(SO_4)_3$, слегка взболтать. Происходит коагуляция коллоидных частиц и они в виде хлопьев собираются поверхностью флокулянта. Дать отстояться 1–2 мин.

4.2.4. IV стадия. Грубая фильтрация

Отфильтровать осадок и хлопья мути через вакуумную фильтровальную установку. В качестве фильтра используется поролон с помещенным сверху плотным бумажным фильтром (синяя лента). Перед фильтрованием поролоновый фильтр промыть водопроводной водой, а бумажный фильтр подогнать ровно к краям воронки, чтобы не было просветов. После фильтрования бумажный фильтр с осадком выбросить, а поролоновый промыть водопроводной водой и поместить снова в воронку.

Полученный фильтрат должен быть прозрачным. Если он получился мутным, повторить фильтрование с новым бумажным фильтром. Если опять фильтрат получился мутным, значит нарушены условия коагуляции (повторить опыт). Фильтрат слить из фильтровальной установки в колбу «фильтрат».

4.2.5. Контроль мутности отфильтрованной воды

Сливать отфильтрованную воду из колбы «фильтрат» в мерный цилиндр на 250 мл до тех пор пока стандартный шриффт под цилиндром не станет плохо различимым. Замерить высоту столба жидкости (прозрачность P_2 , см) и по таблице найти соответствующую величину мутности отфильтрованной воды (M_2 , мг/л). Если шриффт останется видимым при всем объеме (около 150 мл) фильтрата, то прозрачность принять более 150 см, а мутность соответственно менее 6 мг/л.

Слить всю воду из цилиндра назад в колбу «фильтрат». Рассчитать степень снижения мутности воды грубой фильтрацией (α , % отн.).

4.2.6. Контроль общей жесткости воды до катионитной очистки

Из колбы «фильтрат» отобрать пипеткой точно 10 мл (V воды) в колбу для титрования, добавить цилиндром 5 мл аммиачно-буферной смеси, немного (меркой) индикатора эриохрома черного Т, хорошо перемешать и медленно, при интенсивном перемешивании, оттитровать из бюретки раствором комплексона III ($C_{\text{компл}} = 0,025$ моль/л) до смены вишнево-красной окраски на синюю. Записать $V_{\text{компл}}$, пошедший на титрование.

Общая жесткость воды ($Ж$, моль/л) до катионита равна:

$$Ж = \frac{C_{\text{компл}} \cdot V_{\text{компл}}}{V_{\text{воды}}}, \quad (1.1)$$

где $C_{\text{компл}}$ – концентрация комплексона III, моль/л; $V_{\text{компл}}$ – объем комплексона III, пошедший на титрование, мл; $V_{\text{воды}}$ – объем воды, взятой для титрования, мл.

4.2.7. V стадия. Регенерация отработанного катионита КУ-2-8

Поместить цилиндром 25 мл 2н. HCl в воронку над бюреткой с катионитом и отрегулировать вход и выход жидкости в бюретке со скоростью примерно 40–50 капель в минуту (перевод смолы в H-форму). Затем отмыть смолу от кислоты дистиллированной водой с той же скоростью до получения слабокислой сре-

ды по метилоранжу (отобрать в пробирку 5–10 капель воды и добавить одну каплю метилоранжа).

Слить остатки воды из воронки со смолой.

4.2.8. VI стадия. Тонкая фильтрация и катионитная очистка воды

Оставшуюся после анализа на жесткость воду (около 140 мл) из колбы «фильтрат» подвергают тонкой очистке от оставшейся мути (если она есть) через воронку с подогнанным плотным бумажным фильтром, расположенную над бюреткой с катионитом, после чего вода проходит катионитную очистку. С помощью винтовых зажимов отрегулировать скорость воды на входе и на выходе из слоя смолы примерно 50 капель в минуту. Очищенную смолой воду собирают в колбу «после смолы», а бюретку со смолой заполняют дистиллированной водой.

Контроль общей жесткости воды после катионитной очистки. Из колбы «после смолы» отобрать пипеткой 10 мл ($V_{\text{воды}}$) очищенной воды в колбу для титрования, добавить цилиндром 5 мл аммиачно-буферной смеси, немного (меркой) индикатора эриохрома черного Т, хорошо перемешать и, при наличии вишнево-красной окраски, медленно оттитровать при интенсивном перемешивании раствором комплексона III ($C_{\text{компл}} = 0,025$ моль/л) до смены окраски на синюю.

Записать $V_{\text{компл}}^1$ (мл), пошедший на титрование. Общая жесткость воды после катионита определяется также как и жесткость исходной воды по формуле (1.1).

После этого необходимо рассчитать степень умягчения воды катионитом. Если после добавления индикатора в пробу окраска оказалась синей, это означает полную очистку вода от солей жесткости.

4.2.9. Контроль окисляемости (ХПК) технологической воды

Из оставшейся в колбе после катионитной очистки воды (около 115 мл) отобрать в коническую колбу пипеткой точно 100 мл воды ($V_{\text{воды}}$), добавить цилиндром 5 мл H_2SO_4 (1:3) и из бюретки 20 мл 0,01н. KMnO_4 , поместить туда же несколько «ки-

пелок». Поставить колбу с пробой на предварительно разогретую электроплитку, довести раствор до кипения и кипятить ровно 10 минут. К горячему раствору добавить 20 мл 0,01н. $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$. Раствор обесцветится. Горячий обесцвеченный раствор оттитровать из бюретки 0,01н. KMnO_4 до устойчивой слабо-розовой окраски. Записать объем KMnO_4 , пошедший на титрование (V_1 , мл).

Расчет окисляемости:

$$\text{ХПК} = \frac{N_1 \cdot V_1 \cdot M(\frac{1}{2} \text{O}_2)}{V_{\text{воды}}}, \text{ мгO}_2/\text{л}, \quad (1.2)$$

где N_1 – нормальная концентрация раствора KMnO_4 , 0,01 моль экв/л; V_1 – объем раствора KMnO_4 , пошедший на титрование, мл; $M(\frac{1}{2} \text{O})$ – молярная масса эквивалента кислорода, г/моль; $V_{\text{воды}}$ – объем пробы воды для анализа, мл.

Результаты округляют с точностью до 0,1 при значениях ХПК от 0 до 10 мг O_2 /л и до 1,0 при значениях от 10 до 100 мг O_2 /л.

4.3. Обработка результатов

Результаты лабораторной работы по стадиям технологической подготовки воды и контролю этих стадий вносятся в итоговую таблицу. По полученным данным делается вывод об эффективности каждой стадии водоочистки, качестве получаемой воды и возможной области ее использования.

5. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Результаты лабораторной работы оформляются в виде типового отчета с указанием фамилии и группы. Отчет должен содержать:

- название работы, дату выполнения;
- краткое изложение теоретических основ технологического процесса;

- описание лабораторной установки и основных технологических стадий опыта;
- назначение и принципы работы основных контрольно-измерительных приборов;
- применяемые методы аналитического контроля;
- четкую запись результатов промежуточных и конечных измерений;
- промежуточные и конечные расчеты;
- анализ полученных результатов, выводы и рекомендации по ним.

6. ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты допускаются к работе после изучения инструкций по технике безопасности и росписи в журнале регистрации инструктажа.

При выполнении лабораторной работы студенты обязаны:

- работать в халатах;
- соблюдать чистоту, работать аккуратно, чтобы химические реагенты не попали на кожу и в глаза;
- сливать отработанные растворы кислот и щелочей в специальные бутылки;
- строго соблюдать инструкции по работе со стеклом и стеклянной посудой.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для каких целей применяется вода в химических производствах?
2. Как классифицируются природные воды? Какие примеси в них содержатся?
3. Основные стадии промышленной водоподготовки.
4. Какие показатели, характеризуют качество воды? В чем суть нормативных показателей ПДК, ПДС, ХПК и БПК для воды?
5. Проблема охраны водоемов. Каковы пути ее решения?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кутепов, А. М. Общая химическая технология / А. М. Кутепов, Т. И. Бондарева, М. Г. Беренгартен. – Москва: Высш. шк., 1990. – 520 с.
2. Мухленов, И. П. Основы химической технологии / И. П. Мухленов, А. Е. Горштейн, Е. С. Тумаркина. – Москва: Высш. шк., 1991. – 463 с.
3. Руководство по химическому и технологическому анализу воды. – Москва: Стройиздат, 1973. – 273 с.

ПЕРЕВОД ПРОЗРАЧНОСТИ ВОДЫ НА ЕЕ МУТНОСТЬ

Прозрачность, см	Мутность, мг/л	Прозрачность, см	Мутность, мг/л	Прозрачность, см	Мутность, мг/л	Прозрачность, см	Мутность, мг/л	Прозрачность, см	Мутность, мг/л
3,5	270	27	33,8	62	14,8	108	8,3	270	3,45
4,0	235	28	32,6	63	14,6	110	8,2	280	3,5
4,5	205	29	31,5	64	14,4	112	8,1	290	3,2
5,0	185	30	30,5	65	14,2	114	8,0	300	3,1
5,5	170	31	29,5	66	14,0	116	7,9	310	3,0
6,0	155	32	28,6	67	13,8	118	7,75		
6,5	142	33	27,7	68	13,6	120	7,65		
7,0	130	34	26,9	69	13,4	122	7,55		
7,5	122	35	26,1	70	13,2	124	7,45		
8,0	114	36	25,4	71	13,0	126	7,35		
8,5	108	37	24,8	72	12,8	128	7,25		
9,0	102	38	24,2	73	12,6	130	7,15		
9,5	97,0	39	23,6	74	12,4	132	7,05		
10,0	92,0	40	23,0	75	12,2	134	6,9		
10,5	87,0	41	22,4	76	12,05	136	6,8		
11,0	83,0	42	21,8	77	11,9	138	6,7		
11,5	79,0	43	21,2	78	11,75	140	6,6		
12,0	76,0	44	20,7	79	11,6	145	6,3		
12,5	73,0	45	20,2	80	11,45	150	6,1		
13,0	70,0	46	19,7	81	11,3	155	5,9		
13,5	67,5	47	19,3	82	11,05	160	5,75		
14,0	65,0	48	18,9	83	11,0	165	5,6		
14,5	63,0	49	18,5	84	10,85	170	5,45		
15,0	61,0	50	18,4	85	10,7	175	5,3		
16,0	56,4	51	17,9	86	10,35	180	5,15		
17,0	53,1	52	17,6	89	10,3	185	5,0		
18,0	50,4	53	17,3	90	10,1	190	4,85		
19,0	48,0	54	17,0	92	9,9	195	4,75		
20,0	45,5	55	16,7	94	9,7	200	4,6		
21,0	43,3	56	16,4	96	9,5	210	4,4		
22,0	41,4	57	16,1	98	9,3	220	4,2		
23,0	39,6	58	15,8	100	9,1	230	4,0		
24,0	38,0	59	15,5	102	8,9	240	3,85		
25,0	36,5	60	15,2	104	8,7	250	3,7		
26,0	35,1	61	15,0	106	8,5	260	3,55		

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОТХОДОВ УГЛЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является получение студентами практических навыков выполнения технического анализа различных видов отходов переработки твердых горючих ископаемых и закрепление теоретических знаний, полученных при изучении курса «Экологическая безопасность углеперерабатывающих предприятий».

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Технический анализ включает в себя определение содержания влаги, летучих веществ, золы и общей серы и дает первое представление о составе и технических качествах твердого топлива и отходов его переработки. Этот анализ применяется во всех лабораториях для предварительного исследования отходов на предмет их практического использования. Из данных технического анализа можно получить некоторое представление о ряде свойств твердого топлива и отходов его переработки, от которых зависит их использование для нужд энергетики или в химической промышленности.

Влага отходов является одним из важнейших параметров технического анализа. Содержание влаги связано с генетическими факторами, условиями торфо- и углеобразования, определяется условиями добычи, хранения и последующей переработки углей и отходов их переработки.

Вода в угле может находиться в различных состояниях:

- в виде капель;
- пленок (молекул), адсорбированных на поверхности;
- в виде капиллярной влаги;
- входить в состав минеральной части.

В зависимости от форм нахождения влаги, характера исходной пробы, степени ее подсушки, способа определения различают по ГОСТ 17070 «Угли. Термины и определения» следующие виды влаги:

Общая влага угля – влага, которая выделяется при высушивании угля до постоянной массы при температуре 105–110 °С.

Пластовая влага – общая влага угля в пласте при его естественном залегании. Обычно пласты угля содержат воду в гораздо большем количестве, чем это свойственно природе угля.

Поэтому количество пластовой влаги в общем случае не является характерным для угля показателем.

Внешняя влага – часть общей влаги, которая удаляется из угля при доведении его до воздушно-сухого состояния в установленных условиях.

Свободная ($W^{\text{своб}}$) *влага* удаляется стеканием. Кусок угля, добытый из пласта, теряет на воздухе влагу, находящуюся на внешней поверхности куска, так называемую влагу смачивания или свободную влагу. Этот вид влаги вызывает смерзание угля, уменьшает его сыпучесть и затрудняет размол. Свободную влагу определяют как разность между общей влагой и максимальной влагоемкостью.

Связанная (ранее внутренняя) *влага* удерживается сорбционными и капиллярными силами на поверхности угля.

Поверхностная (ранее избыточная $W^{\text{изб}}$) *влага* – часть свободной влаги, находящейся на поверхности угля.

Аналитическая влага W^a – количество влаги в пробе угля, доведенной до воздушно-сухого состояния в условиях той или иной лаборатории. Этот вид влаги, определяемый по ГОСТ Р 52911-2013, не является постоянным и используют его лишь с целью выполнения пересчетов результатов анализа.

Гигроскопическая влага $W^{\text{ги}}$ – адсорбированная углем вода, которая сохраняется в высушенном до воздушно-сухого равновесного состояния угле при определенной температуре (20 ± 5 °С) и влажности (60 ± 2 %), определяется по ГОСТ 8719-90. В отличие от аналитической, гигроскопическая влага – устойчивая характеристика угля, отражающая ее пористую структуру, гидрофильные свойства органических и минеральных компонентов. В ряду метаморфизма эти свойства закономерно изменяются, что обуславливает и соответствующий характер изменения гигроскопической влаги: от бурых к каменным углям ее количество уменьшается, а затем в области тощих углей и антрацитов повышается за счет роста пористости.

Влага рабочая W_t^r – влага угля, отгружаемого различным потребителям, является суммой гигроскопической (внутренней) и

внешней влаги, которая теряется углем при доведении его до воздушно-сухого состояния.

Максимальная влагоемкость W_{max} – количество влаги после удаления избыточной влаги. Этот вид влаги характеризует степень насыщения углей водой в свежедобытом состоянии. Он отражает химическую природу угля, петрографический состав и стадию метаморфизма.

Гидратная вода входит в состав минеральной части углей в виде кристаллогидратов, например, глин (алюмосиликатов) и гипса.

Среди всех видов влаги важное значение с точки зрения классификации углей, характеристики стадии метаморфизма, а также их окисленности имеет влага гигроскопическая $W^{ги}$ и максимальная влагоемкость W_{max} .

Понятие «влагосодержание» угля и отходов его переработки объединяет влагу различных видов. Уголь пронизан трещинами, а также всевозможными порами: открытыми и закрытыми. Молекулы воды сорбируются на внешней и внутренней поверхности угля. Различают наиболее прочно удерживаемый молекулярный слой и последующие слои молекул воды, связь которых с поверхностью угля ослабевает. Эта адсорбционной связанная вода образует пленку на внешней и внутренней поверхности угля, на стенках пор и трещин. Уголь в пластах насыщается водой в течение всего процесса углефикации, поэтому в куске свежедобытого угля имеются не только открытые, но и закрытые поры (не сообщающиеся с внешней средой) заполнены водой. Влага закрытых пор удаляется только после измельчения угля.

В углях окисленных пластов содержание влаги выше, чем в углях восстановленного типа, за счет повышенного содержания групп кислого характера. Влажность твердых горючих ископаемых (ТГИ) имеет большое практическое значение. Отрицательное влияние влаги в большинстве технологических процессов вызывает необходимость разрабатывать различные методы и создавать аппараты для сушки ТГИ в промышленных условиях.

Выход летучих веществ. Под термином *летучие вещества углей и отходов его переработки* принято понимать смесь газообразных и парообразных продуктов, которые образуются при их нагревании без доступа воздуха:

– газы – окклюдированные, адсорбированные, неконденсирующиеся продукты разложения органических и минеральных веществ углей;

– жидкие в парообразном состоянии продукты, маслянистые продукты разложения органической массы твердых горючих ископаемых.

Выход летучих веществ определяют согласно ГОСТ Р 55660-2013 нагревом его в течение 7 мин в количестве 1 г угля в фарфоровом тигле с крышкой, помещенном в муфельную печь, нагретую до температуры 850 ± 25 °С. Выход летучих веществ приводится на сухое состояние (V^d) или пересчитывается на сухую беззольную массу (V^{daf}) по результатам определения в аналитической пробе (V^a) по следующим формулам (1.1 и 1.2) соответственно:

$$V^d = V^a \cdot 100 / (100 - W^a); \quad (1.1)$$

$$V^{daf} = V^a \cdot 100 / (100 - (W^a + A^a)). \quad (1.2)$$

Влияние степени метаморфизма. Общий выход летучих веществ и их состав зависит от природы твердых горючих ископаемых и степени их химической зрелости. Так, торф имеет выход летучих веществ ~ 70 % на сухую беззольную массу, бурые угли – 45–55 %, каменные угли – 10–45 %, антрациты – 2–10 %. То есть выход летучих веществ уменьшается с увеличением химической зрелости углей. Величина выхода летучих веществ зависит от термостабильности углей и используется для подразделения их на стадии химической зрелости, соответствующие разным маркам каменных углей. Для них установлены следующие пределы изменения показателя выхода летучих веществ:

Марка угля	Д	Г	Ж	К	ОС	Т
V^{daf} , %	> 42	44–35	35–27	27–22	18–12	16–8

Выход летучих веществ связан со степенью углефикации, но смешивать это понятие с маркой нельзя. Марка угля основана на его технологических свойствах, а степень углефикации связана с геологическими и физико-химическими условиями формирования данного угля.

Именно выход летучих веществ является показателем структурных особенностей составных частей ископаемых углей. Он ука-

зывает на количество термически неустойчивых отщепляющихся при данной температуре атомных групп из макромолекулярной структуры угля.

Влияние минеральных примесей. Для оценки выхода летучих веществ из органической массы угля выход летучих веществ пересчитывают по известной формуле на горючую массу V^{daf} . При этом считается, что полученная величина отвечает выходу летучих веществ из органических компонентов угля V_o . Однако данное приравнение, то есть $V^{daf} = V_o$, не является правильным. Дело в том, что минеральные компоненты в условиях повышенных температур претерпевают те или иные химические превращения, протекающие с выделением воды, CO_2 , сернистого газа и других летучих продуктов, изменяющих состав и массу летучих веществ. Вследствие этого выход летучих веществ, пересчитанный на горючую массу, оказывается завышенным по сравнению с выходом летучих органической части угля. Поэтому с увеличением зольности угля возрастает и погрешность определения выхода летучих веществ.

Выход летучих веществ из минеральных примесей углей колеблется в пределах 8–12 %. Между количеством минеральных примесей (M) и зольностью угля существует следующая зависимость:

$$M = 1,1 \cdot A^d. \quad (1.3)$$

Исходя из этих данных получена формула, позволяющая оценить выход летучих веществ из органической массы угля V_o путем введения поправки в выход летучих веществ на горючую массу V^{daf} :

$$V_o = \frac{V^{daf}(100 - A^d) - 10 \cdot A^d}{100 - 1,1 \cdot A^d}. \quad (1.4)$$

Анализ этой формулы показывает, что разность по зольности в 10 % обусловит расхождение между показателями V^{daf} и V_o , близкое к 1 %. Хотя разница, на первый взгляд, небольшая, но если такие искаженные данные использовались в ГОСТ 25543-2013 «Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам», то можно получить неверную оценку марки угля.

Таким образом, с увеличением зольности углей выход летучих веществ в расчете на сухое беззольное состояние V^{daf} также повышается в сторону от истинного его значения.

Из **петрографических компонентов** каменных углей наибольший выход летучих веществ имеет липтинит (35–75 %), а наименьший – инертинит (10–25 %), витринит имеет промежуточное положение (10–45 %). Выход летучих веществ макрокомпонентов или литотипов уменьшается в ряду: *витрен* > *кларен* > *дюрен* > *фюзен*. В ряду метаморфизма выход летучих веществ изменяется следующим образом: у липтинита снижается резко, у витринита снижается в меньшей степени, у инертинита это изменение выражено незначительно.

Влияние петрографического состава на выход летучих продуктов можно оценить по следующей формуле

$$V_{ск} = \frac{V_o}{0,01 \cdot СК + С(1 - 0,01СК)}. \quad (1.5)$$

где V_o – выход летучих веществ на органическую массу, %; СК – сумма спекающих компонентов (витринит и липтинит); $V_{ск}$ – выход летучих веществ в спекающих компонентах, %; $C = 0,637$ – коэффициент, равный отношению выхода летучих веществ из отошающих компонентов к значению этого же параметра из спекающих компонентов.

Параметр V_o может быть заменен на V^{daf} , если зольность в угле не превышает 10–13 %. При увеличении количества отошающих компонентов на 10 % V^{daf} понижается на 1–2 %. Причем это повышение почти в два раза выше для малометаморфизированных углей.

Влияние степени восстановленности. С повышением степени восстановленности угля увеличивается выход летучих веществ пропорционально показателю степени восстановленности. Если учесть, что для углей Кузбасса показатель степени восстановленно-

сти колеблется в пределах от 0,97 до 1,15 ед., то разница между выходом летучих веществ для менее и более восстановленных углей составит 2–5 %.

Таким образом, **выход летучих веществ** зависит не только от степени метаморфизма углей и петрографического состава, но и от количества минеральных примесей и степени восстановленности углей. Причем наибольшее влияние оказывают первые два фактора. Выход летучих веществ является функцией нескольких переменных и его нельзя использовать в качестве единственного показателя степени метаморфизма углей.

Наряду с выходом летучих веществ большое значение имеет количество и характеристика *нелетучего остатка*. Для твердых горючих ископаемых и отходов их переработки свойства нелетучего остатка дают представление об их *спекаемости*. Нелетучий остаток может сохранить первоначальный порошкообразный вид пробы. Такой остаток называется порошкообразным, а угли, из которых он получен, – *неспекающимися*. Если в результате нагрева проба превращается в слипшийся остаток, который называется **корольком**, угли называются *спекающимися*. Некоторые каменные угли при нагревании разлагаются с выделением газов, раздувающих королёк, и он вспучивается, например, угли марки Ж, КЖ. Установлено, что при тигельных пробах торфа, бурых углей и антрацита образуются *неспекающиеся*, порошкообразные остатки. Порошкообразные остатки образуются и из длиннопламенных и тощих углей. Остальные марки каменных углей дают тигельные корольки.

Спекаемость петрографических ингредиентов углей можно охарактеризовать по виду тигельных остатков следующим образом: фюзеновые вещества образуют совершенно *неспекшийся коксовый остаток*; витреновые вещества образуют хорошо спекшийся королёк, особенно из углей средней стадии метаморфизма; экзиниты (липтиниты) всегда образуют спекшиеся, сплавленные остатки.

Минеральные компоненты и зольность углей. Горючие ископаемые содержат различные минеральные примеси, которые при термических превращениях образуют твердый остаток – золу. *Минеральная масса угля – это масса химических соединений неорганических элементов, входящих в состав угля.* В состав минеральных веществ входят практически все элементы таблицы Д.И. Менделеева.

ва. Содержание и состав этих элементов изменяется в широких пределах. Поэтому их разделяют на два класса:

1) главные минеральные элементы – содержание которых в углях превышает 0,1 % или 1000 г/т. Главными элементами являются С, Н, О, S, N, Si, Al, Fe, Mg, Na, K, Ti, Ca.

2) Малые (редкие) элементы – содержание которых не превышает 0,1 % или 1000 г/т. Эту группу принято подразделять еще на три подгруппы:

– собственно малые элементы (содержание их в углях колеблется от 1000 до 10 г/т), к которым относятся бор, фтор, фосфор, хлор, иногда титан, ванадий, хром, марганец, никель, медь, цинк, мышьяк, свинец, барий, цирконий;

– редкие элементы (содержание которых чаще всего составляет от 0,1 до 10 г/т угля), к которым относят литий, бериллий, скандий, кобальт, галлий, германий, селен, стронций, бром, рубидий, иттрий, ниобий, молибден, кадмий, олово, сурьму, йод, цезий, лантан, вольфрам, висмут, уран, иттербий;

– ультраредкие элементы (их содержание не превышает 0,1 г/т угля): серебро, золото, индий, рений, ртуть, иридий, платина.

Все минеральные вещества в углях принято разделять на следующие группы:

1. глинистые минералы (иллит, монтморрилонит, каолинит);
2. сульфиды (пирит FeS_2 , марказит, мельниковит, халькопирит CuFeS_2);
3. карбонаты (кальцит, анкерит, сидерит FeCO_3 , доломит CaMgCO_3);
4. сульфаты, встречаются в углях редко (CaSO_4 , барит BaSO_4);
5. фосфаты – сложные соли типа апатита, фосфорита;
6. оксиды и гидроксиды (гепатит Fe_3O_4 , кварц SiO_2 , магнетит, лимонит и др.);
7. силикаты (циркон, ортоклаз, хлорит, биотит);
8. другие соли (галит, NaCl , гипс, бишофит, кизерит и др.).

Самой большой группой минеральных компонентов являются минералы, составляющие от 60 до 80 % от общего количества минеральных примесей в углях.

В соответствии с происхождением минеральных примесей их классифицируют на 4 группы:

- 1) минеральные вещества первичных растений;

2) органоминеральные комплексы, образовавшиеся на первой стадии углеобразовательного процесса (принесенные водой и ветром);

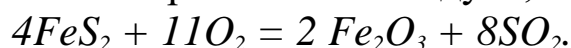
3) минералы, отложившиеся на стадии углефикации (например, появившиеся за счет фильтрации через слой почвы);

4) случайные минеральные вещества, которые могут быть внесены в уголь во время его добычи при захвате породы.

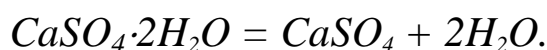
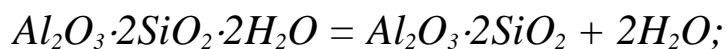
При сгорании органическая масса топлива превращается в СО и СО₂, а минеральные вещества претерпевают ряд сложных изменений, которые в большинстве случаев связаны с изменением массы. Карбонаты при нагревании выше 900 °С полностью разлагаются с выделением двуокиси углерода:



Пирит, нагреваемый при избытке воздуха, сгорает:

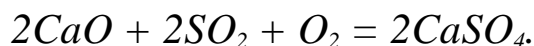
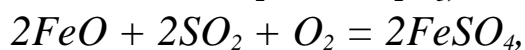
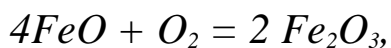


Глинистые вещества, силикаты и гипс теряют кристаллизационную воду:



Некоторые минеральные вещества частично улетучиваются, например, хлориды щелочных металлов, ZnO и др.

При озолении твердого топлива иногда происходят реакции, в результате которых масса минеральных примесей увеличивается:



В результате протекания этих реакций количество и состав золы никогда не идентичны содержащимся в них минеральным примесям.

О содержании минеральных веществ в угле и отходах его переработки судят **по золе** – остатку, остающемуся после сжигания массы угля или отхода его переработки при свободном доступе кислорода и представляющем продукт полного окисления органи-

ческой массы и термических превращений минеральных компонентов. По определению **зола углей – это несгоревший неорганический остаток после полного сгорания угля.**

Зольность углей и отходов их переработки определяют сжиганием навески (1 г) в муфельной печи при 800–825 °С. Обычно зольность аналитической пробы A^a пересчитывают на сухую массу A^d по формуле

$$A^d = \frac{A^a \cdot 100}{100 - W^a} . \quad (1.6)$$

Зольность углей зависит от состава исходного растительного материала, условий его накопления и первичного превращения, а также от горно-геологических условий формирования угольных пластов. Зольность может формироваться под влиянием факторов, действующих на разных стадиях его образования. В соответствии с этим разделяют зольность:

- *внутреннюю*, связанную с содержанием в первичном материале золообразующих элементов (в основном щелочных металлов);

- *внешнюю первичную*, обусловленную накоплением в торфянике растворимых солей из подстилающей почвы, внесением минеральных примесей грунтовыми водами и ветром;

- *внешнюю вторичную*, обусловленную проникновением минеральных веществ в пласты органических накоплений при погружении торфяника в недра земли и на дальнейших стадиях их генезиса;

- *случайную*, связанную с добычей твердых горючих ископаемых, особенно в условиях применения механизации, за счет вовлечения в товарный продукт боковой породы из кровли, почвы и природных прослоек.

Количество и состав минеральных примесей мало зависит от стадии углеобразования. Петрографические компоненты по содержанию золы отличаются существенным образом: зольность витрезов – 0,4–2 %, фюзенов – 3–10 %, липтинита – 0,5–2,0 %.

Все минеральные вещества являются неравноценными в отношении к обогатимости углей. Минеральные вещества, находящиеся в пластах в виде прослоек, значительно легче удаляются при обогащении, чем минеральные вещества, входящие в состав угля.

Минеральные вещества принято рассматривать как балласт, снижающий содержание органической массы угля. Он приводит к увеличению транспортных расходов; высокая зольность снижает теплоту сгорания, увеличивается расход тепла на разогрев, термическое разложение и ошлаковывание минеральных компонентов, повышаются затраты на удаление золы и шлаков. Высокая зольность твердых горючих ископаемых при использовании их в качестве топлива снижает показатели работы энергетических установок.

При использовании углей для коксования практически вся зола остается в коксе, поэтому зольность кокса всегда выше, чем зольность шихты. Поэтому для производства кокса используются угли с зольностью 7–10 %. Высокая зольность ухудшает качество кокса и показатели работы доменных печей: увеличивается расход кокса на 1 т производимого чугуна и снижается их производительность.

Для уменьшения содержания минеральных примесей в углях их подвергают обогащению различными методами: гравитационным, флотационным, используют масляную агломерацию, а также путем обеззоливания химическими реагентами. В результате получают угольный концентрат, промежуточный продукт и отходы,

Состав золы. В составе золы определяют 8–10 основных компонентов – оксиды кремния, алюминия, железа, магния, марганца, фосфора, калия, натрия, титана и серы. Остальная часть зол (менее 1 %) приходится на долю малых элементов (микроэлементов).

Примерный химический состав золы углей Кузбасса разного химического возраста представлен в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Примерный химический состав золы углей Кузбасса

Марка угля	Содержание оксидов, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂
Д	48,2	21,3	9,9	7,9	2,5	3,9	0,7	0,4
Ж	51,7	20,3	7,8	8,3	2,8	4,9	0,6	–
Т	55,1	24,8	9,3	4,0	1,3	1,8	0,3	0,8

С составом золы тесным образом связана важная характеристика – температура плавления золы. Этот параметр так же, как и состав золы, необходим для решения вопросов, связанных с техно-

логией сжигания углей и переработкой отходов, способами удаления золы и т. д.

С увеличением в составе золы углей содержания кислотных оксидов кремния и алюминия возрастает и температура ее плавления. Щелочные оксиды кальция, магния и железа, наоборот, уменьшают температуру плавления. То есть, чем выше соотношение (1.7), тем быстрее плавится зола.

$$K_{пл} = (SiO_2 + Al_2O_3)/(FeO + Fe_2O_3 + CaO + MgO). \quad (1.7)$$

3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Технический анализ углей и отходов их переработки включает определение влажности, зольности, выхода летучих веществ и характера твердого нелетучего остатка.

Определение влажности отходов производится прямым ксилольным методом и косвенным методом – по убыли в массе навески топлива после ее высушивания. Зольность определяется методами медленного и быстро озоления навески топлива в муфельной печи при температуре 800 ± 25 °С. Определение выхода летучих веществ заключается в нагревании навески топлива без доступа воздуха при 850 ± 25 °С и оценке количества выделившихся летучих продуктов. По виду образующегося коксового остатка, полученного при определении выхода летучих веществ, визуально определяют спекаемость топлива.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Определение влажности отходов переработки угля прямым методом

4.1.1. Описание оборудования

Анализ топлив и отходов их переработки производится в приборе Дина и Старка (рис. 1.1), который состоит из круглодонной колбы 1 емкостью 500 мл, обратного холодильника 2 и градуированного приемника 3. Для нагрева колбы используется песочная баня или колбонагреватель с закрытой спиралью.

Применяемые реактивы: ксилол и толуол, насыщенный раствор хлорида натрия.

4.1.2. Порядок работы

Для определения влажности торфа и бурых углей (а также отходов их переработки) в колбу прибора Дина и Старка (рис. 1.1) помещают навеску топлива массой 10 г и заливают 50 мл ксилола или толуола, а в приемник наливают 1–2 мл насыщенного раствора поваренной соли. Для каменных углей и отходов их переработки навеску топлива повышают до 50 г. Колбу соединяют с приемником и обратных холодильником, включают подачу воды в холодильник и нагревают колбу на песочной бане или колбонагревателе до интенсивного кипения. Пары ксилола вместе с парами воды поступают в обратный холодильник, конденсируются и стекают в приемник. Вода, имеющая большую плотность, собирается в нижней части приемника, а избыток ксилола стекает в колбу. Смесь в колбе кипятят до тех пор, пока конденсирующийся в холодильнике ксилол не станет прозрачным, а объем воды в приемнике перестанет увеличиваться. Если на стенках трубки холодильника задерживаются капли воды, то их переводят в приемник конденсирующимся ксилолом путем увеличения интенсивности кипения содержимого колбы. После полного охлаждения жидкости в приемнике количество воды в топливе или отходе по объему нижнего водного слоя за вычетом налитого раствора хлорида натрия. Отсчет производят с точностью до 0,2 мл.

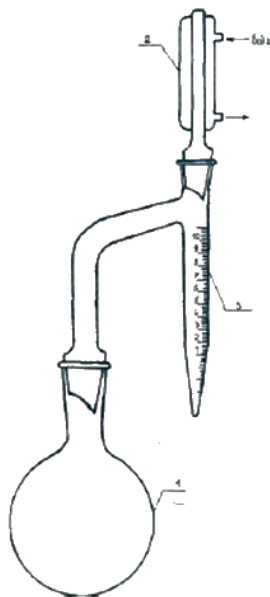


Рис. 1.1. Прибор Дина и Старка

4.1.3. Обработка результатов

Содержание воды в угле или отходе его переработки (W^a , %) вычисляют по формуле:

$$W^a = (b/a) \cdot 100, \quad (1.8)$$

где a – масса навески отхода, г; b – количество воды, мл (г).

4.2. Определение влажности отходов переработки угля косвенным методом

4.2.1. Описание оборудования

Сушильный шкаф с электрическим обогревом и терморегулятором, термометр с пределом измерения температуры от 0 до 150 °С и ценой деления шкалы 1 °С, весы аналитические, эксикатор с гранулированным хлоридом кальция, стеклянные стаканчики с крышками или алюминиевые бюксы, щипцы тигельные.

4.2.2. Порядок работы

В предварительно высушенные и взвешенные с крышкой бюксы помещают $1 \pm 0,1$ г исследуемого отхода переработки угля. Бюксы с навеской угля помещают в предварительно нагретый до 102–105 °С сушильный шкаф. Отходы переработки бурых углей и антрацитов сушат 2 ч, а остальные виды твердых горючих ископаемых (кроме отходов переработки торфа) – 1 ч. Затем бюксы с отходом закрывают крышками, охлаждают в эксикаторе до комнатной температуры и взвешивают. В дальнейшем проводят контрольные просушивания продолжительностью 30 мин каждое до тех пор, пока убыль массы не будет меньше 0,001 г. При увеличении массы для расчетов принимают результаты предпоследнего взвешивания.

Влажность аналитической пробы отхода является исходной величиной при пересчете его анализов на сухое состояние. Поэтому, если для других видов анализа берется проба, простоявшая более 7 дней после определения ее влажности, это определение следует повторить.

4.2.3. Обработка результатов

Расчет влажности аналитической пробы отхода переработки угля (W^a , %) производится по формуле

$$W^a = \frac{a - b}{a} \cdot 100 \%, \quad (1.9)$$

где a – навеска отхода, г; b – масса высушенного отхода, г.

Результаты рассчитывают с точностью до 0,01 %.

Допустимые расхождения результатов двух параллельных определений не должны превышать 0,2 %.

4.3. Определение зольности отходов переработки углей методом медленного озоления

4.3.1. Описание оборудования

Муфельная печь с электрическим обогревом и терморегулятором, термopара с гальванометром, лодочки фарфоровые, эксикатор, весы аналитические, щипцы тигельные, подставка для лодочек.

4.3.2. Порядок работы

Зольность углей и отходов их переработки определяют в муфельной печи с устойчивой температурой нагревания 800 ± 25 °С. Озоление производится в фарфоровых лодочках размером 25×3 или 36×47 мм. Фарфоровые лодочки должны быть пронумерованы, прокалены до постоянной массы и храниться в эксикаторах. Перед взятием навесок углей масса лодочек проверяется. Зольность определяют в пробе угля аналитического измельчения.

Пробу отхода переработки угля тщательно перемешивают в банке и в 2 предварительно взвешенные лодочки отбирают навески по $1 \pm 0,1$ г на разной глубине в двух-трех местах. Затем лодочки устанавливают на подставку и помещают в холодную или нагретую до температуры не более 300 °С муфельную печь. Лодочки устанавливают так, чтобы они находились в зоне устойчивой температуры (эту зону предварительно определяют при полном накале муфеля). Закрывают дверцу муфельной печи и нагревают ее до темпе-

ратуры 800 ± 25 °С в течение 1–1,5 ч. При этой температуре навески прокаливают в течение 1 ч. После этого, лодочки с золой вынимают из муфельной печи, охлаждают сначала на воздухе в течение 5 мин, а затем до комнатной температуры в эксикаторе и взвешивают. Затем производят контрольные получасовые прокаливания до тех пор, пока убыль массы не составит менее 0,001 г. Тогда испытание заканчивают и для расчета принимают результаты последнего взвешивания. В случае увеличения массы зольного остатка для расчета принимают результаты предпоследнего взвешивания.

4.3.3. Обработка результатов

Зольность аналитической пробы отхода переработки угля (A^a , %) вычисляют по формуле:

$$A^a = (b/a) \cdot 100 \%, \quad (1.10)$$

где a – навеска отхода, г; b – масса зольного остатка, г.

Пересчет зольности на сухую массу отхода (A^d , %) производят по формуле

$$A^d = \frac{A^a}{100 - W^a} \cdot 100 \%, \quad (1.11)$$

где W^a – содержание влаги в испытываемой аналитической пробе, %.

Вычисление зольности отхода, а также пересчет результатов на сухую массу угля производят с точностью до 0,01 %. Окончательные результаты округляют до десятых долей.

Зольность отхода переработки угля в каждой пробе определяют параллельно в двух навесках. При получении результатов с большим расхождением производят третье определение и за окончательный результат принимают среднее арифметическое двух наиболее близких результатов (в пределах допустимых расхождений). Допустимые расхождения между двумя параллельными определениями зольности A^a для одной и той же аналитической пробы отхода переработки угля не должны превышать, %:

- для отхода переработки угля с зольностью до 12 % – 0,2,
- для отхода переработки угля с зольностью от 12 до 25 % – 0,3,

– для отхода переработки угля с зольностью свыше 25 % – 0,5.

Если результат третьего определения находится в пределах допустимых расхождений по отношению к каждому из двух предыдущих, тогда принимают средний из трех определений результат.

4.4. Определение зольности отходов переработки углей методом быстрого озоления

4.4.1. Описание оборудования

При быстром озолении используется то же оборудование и материалы, что и при определении зольности методом медленного озоления (п. 4.3.1).

4.4.2. Порядок работы

Лодочки с навесками отхода переработки угля $1 \pm 0,1$ г устанавливают на подставке в три-четыре ряда по всей ширине рабочего пространства муфельной печи. После нагревания муфеля до температуры 850 ± 25 °С открывают дверцу и ставят на нее подставку с лодочками. В таком положении лодочки выдерживают 10 мин, затем постепенно со скоростью 10 мм в 1 мин подставку продвигают внутрь муфеля. Дверцу муфеля закрывают и при температуре 800 ± 25 °С выдерживают в зоне устойчивой температуры в случае отходов переработки каменных углей и антрацитов 1,5 ч, а отходов переработки бурых углей и горючих сланцев – 1 ч. После этого лодочки с подставкой вынимают из муфеля, охлаждают 5 мин на воздухе, а затем в эксикаторе до комнатной температуры и взвешивают. Затем производят контрольные прокаливании продолжительностью 15 мин до тех пор, пока убыль массы составит менее 0,001 г.

4.4.3. Обработка результатов

Расчет зольности производится по методике, описанной в п. 4.3.3.

4.5. Определение выхода летучих веществ

4.5.1. Описание оборудования

При проведении анализа используются оборудование и материалы, перечисленные в п. 4.3.1, только вместо лодочек используют фарфоровые тигли с притертыми крышками.

4.5.2. Порядок работы

Выход летучих веществ определяют в фарфоровых тиглях высотой 40–44 мм с верхним диаметром 32–36 мм. Тигель снабжается притертой крышкой. Крышку притирают при помощи влажного корундового порошка до образования на внутренней поверхности крышки желобка глубиной около 1 мм.

Навеску аналитической пробы отходов переработки углей массой $1 \pm 0,01$ г помещают в предварительно прокаленный тигель. Взвешивание тиглей производится вместе с крышками. Отходы переработки торфа, бурых и длиннопламенных углей предварительно уплотняют во избежание механического уноса частиц при бурном выделении летучих веществ и влаги.

Тигли на специальной подставке помещают в предварительно разогретый муфель в зону устойчивой температуры 850 ± 25 °С и закрывают дверцу муфеля. Колебания температуры в печи, контролируемые термпарой, должны закончиться в первые три минуты. Если в последующие три минуты температура в муфеле будет выходить за пределы 850 ± 25 °С, анализ повторяют. По истечении 7 мин вынимают тигли на подставке из печи, охлаждают их на воздухе не более 5 мин, затем в эксикаторе до комнатной температуры и взвешивают. Наличие черного сажистого налета на внешней поверхности вынутого из печи тигля указывает на недостаток воздуха в печи. Опыт в этом случае бракуется. После взвешивания визуально определяют спекаемость отходов переработки угля. С этой целью коксовый остаток в тигле, или иначе коксовый королек, описывают, пользуясь следующей терминологией:

- *порошкообразный* – неспекающийся;
- *слипшийся* (при легком надавливании пальцем королек рассыпается в порошок);

- *слабоспекшийся* (при легком надавливании пальцем королек раскалывается на отдельные кусочки с характерным хрустом);
- *спекшийся, несплавленный* (для раскалывания королька на отдельные кусочки необходимо приложить усилие);
- *спекшийся, сплавленный, невспученный* (королек представляет собой плотную лепешку с серебристым металлическим блеском поверхности);
- *спекшийся, сплавленный, вспученный* (с серебристым металлическим блеском поверхности, высота королька менее 15 мм, разлом имеет ноздреватый пузырчатый вид);
- *спекшийся, сплавленный, сильно вспученный* (с серебристым металлическим блеском поверхности, высота королька более 15 мм, при разломе обнаруживаются значительные пустоты).

4.5.3. Обработка результатов

Выход летучих веществ по отношению к массе аналитической пробы отхода переработки угля (V^a , %) определяют по формуле

$$V^a = \frac{b}{a} \cdot 100 - W^a, \quad (1.12)$$

где a – навеска отхода переработки угля, г; b – убыль массы навески, г; W^a – влажность аналитической пробы, %.

Выход летучих веществ в пересчете на сухую (V^d , %) и сухую беззольную (V^{daf} , %) массы определяют по формулам (1.13, 1.14) соответственно:

$$V^d = \frac{V^a}{100 - W^a} \cdot 100 \%, \quad (1.13)$$

$$V^{daf} = \frac{V^a}{100 - (W^a + A^a)} \cdot 100 \%. \quad (1.14)$$

где A^a – зольность аналитической пробы, %.

Вычисление результатов производится с точностью до 0,01 %. Окончательный результат – средний из результатов определений в двух параллельных навесках – округляют до 0,1 %. Допустимые расхождения между двумя параллельными определениями выхода летучих веществ составляют:

- для топлив с выходом летучих веществ менее 45 % – 0,5 %;

– для топлив с выходом летучих веществ более 45 % – 1,0 %.

5. ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

При определении влажности прямым методом используются ксилол или толуол, которые относятся к классу легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ). Поэтому при выполнении анализа должны соблюдаться все правила работы с ЛВЖ.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

- производить какие-либо работы с ЛВЖ вне вытяжного шкафа;
- выливать отходы ЛВЖ в канализацию;
- производить какие-либо работы с ЛВЖ, не связанные с их нагреванием при включенных электрических приборах и других потенциальных источниках зажигания;
- использовать для нагрева электроплитки с открытой спиралью;
- включать нагрев песочной бани до пуска воды в рубашку холодильников;
- производить разборку установки до полного ее охлаждения;
- оставлять установку без присмотра.

При определении других показателей технического анализа используются сушильный шкаф, муфельная печь, которые являются опасными с точки зрения поражения электрическим током и получения травматических ожогов. Поэтому при выполнении анализа необходимо следить за исправностью заземления, вилок, розеток, соединительных проводов, выключателей. При обнаружении какой-либо неисправности электрооборудования необходимо немедленно его обесточить и сообщить преподавателю или лаборанту об обнаруженных недостатках.

При установке и удалении бюксов, лодочек, тиглей из сушильного шкафа или муфеля использовать специальные тигельные щипцы.

Запрещается применять для этой цели полотенца, тряпки, бумагу или тем более брать голыми руками горячие бюксы, лодочки и ставить холодные лодочки, тигли в нагретый муфель.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Материалы лабораторной работы оформляются в рабочем журнале с указанием фамилии и группы.

Рабочий журнал должен содержать:

- название работы и дату ее выполнения;
- цель работы;
- краткое изложение теоретических основ применяемых методов анализа;
- этапы работы и условия их выполнения;
- четкую запись результатов промежуточных и конечных измерений;
- промежуточные и конечные расчеты;
- основные выводы.

Результаты промежуточных и конечных измерений оформляются в соответствии с приведенным образцом. Оформленная работа должна быть проверена и подписана преподавателем.

6.1. Образец оформления результатов промежуточных и конечных измерений

Образец отхода _____

1. Определение влаги

№	$M_6=$	$M_{6+cy}=$	№	$M_6=$	$M_{6+cy}=$
	$M_{6+y}=$			$M_{6+y}=$	
	$M_y=$	$M_{cy}=$		$M_y=$	$M_{cy}=$

$W^a = ((M_y - M_{cy}) / M_y) \times 100$	$W^a =$
	$W^a =$
	$W^a_{cp} =$

2. Определение зольности

№	$M_{л}=$	$M_{л+ост}=$	№	$M_{л}=$	$M_{л+ост}=$
	$M_{л+y}=$			$M_{л+y}=$	
	$M_y=$	$M_{ост}=$		$M_y=$	$M_{ост}=$

$A^a = (M_{ост} / M_y) \times 100$ $A^d = A^a \times 100 / (100 - W^a)$	$A^a =$
	$A^a =$
	$A^a_{cp} =$ $A^d =$

3. Определение выхода летучих веществ

№	$M_T =$	$M_{T+ост} =$	№	$M_T =$	$M_{T+ост} =$
	$M_{T+y} =$			$M_{T+y} =$	
	$M_y =$	$M_{ост} =$		$M_y =$	$M_{ост} =$
$V^a = ((M_y - M_{ост}) / M_y) \times 100$ $V^d = ((M_y - M_{ост}) / M_y) \times 100 - W^a$ $V^{daf} = V^d \times 100 / (100 - W^a - A^a)$			$V^a =$		
			$V^a =$		
			$V^a_{cp} =$		
			$V^d =$		
			$V^{daf} =$		

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение и задачи технического анализа углей.
2. Виды влаги в углях и методы ее определения.
3. Минеральные компоненты и зола, классификация. Измерение состава минеральных веществ при сжигании и нагреве углей без доступа воздуха.
4. Измерение выхода летучих веществ в зависимости от стадии метаморфизма, петрографического и минерального составов, степени восстановленности углей.
5. Промышленные, генетические и промышленно-генетические классификации углей. Значение показателей технического анализа в различных видах классификаций.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глущенко, Н. М. Теоретические основы технологии твердых горючих ископаемых / Н. М. Глущенко. – Киев: Вища школа, 1980. – 255 с.
2. Аронов, С. Г. Химия твердых горючих ископаемых / С. Г. Аронов, Л. Л. Нестеренко. – Харьков: Изд-во Харьковского ун-та, 1960. – 371 с.
3. Камнева, А. И. Теоретические основы химической технологии горючих ископаемых: учеб. для вузов / А. И. Камнева, В. В. Платонов. – Москва: Химия, 1990. – 287 с.
4. Гюльмалиев А. М. Классификация горючих ископаемых по структурно-химическим показателям и основные пути использования ископаемых углей. / А. М. Гюльмалиев. – Москва, 2007. – 149 с.
5. Арцер А. С. Угли Кузбасса: Происхождение, качество, использование. Книга 2 / А. С. Арцев, С. И. Протасов. – Кемерово: Кузбас. гос. техн. ун-т, 1999. – 168 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБОГАТИМОСТИ УГЛЯ. ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является ознакомление студентов с методом фракционного анализа угля, в результате которого определяется категория обогатимости угля.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Классификация углей по обогатимости позволяет оценить их способность к разделению на продукты различного качества. Для оценки обогатимости используют графические и аналитические методы. Все графические методы оценки обогатимости основаны на использовании кривых обогатимости, которые строят по результатам фракционного анализа угля.

Сущность фракционного анализа заключается в последовательном расслоении пробы угля на фракции в жидкостях различной плотности, определении массовых выходов и зольности полученных фракций.

Угли крупностью более 1 мм расслаиваются в статических условиях, а угли крупностью менее 1 мм – в центробежном поле.

В качестве тяжелых жидкостей для фракционного анализа применяют водные растворы хлорида цинка $ZnCl_2$, растворы четыреххлористого углерода CCl_4 , в бензоле, бромформа в четыреххлористом углероде (или бензоле, бензине, ацетоне).

Из аналитических методов оценки обогатимости углей общепризнанным является оценка обогатимости углей по отношению суммарного выхода (%) фракций промежуточной плотности 1500–1800 кг/м³ к выходу беспородной массы (фракция плотностью менее 1800 кг/м³), т. е. по показателю обогатимости T .

По результатам фракционного анализа определяют обогатимость в соответствии с табл. 3.1.

При оценке углей, используемых для коксования, к легким фракциям относятся фракции плотностью менее 1500 кг/м³, а к тяжелым – фракции плотностью более 1800 кг/м³.

С увеличением плотности фракций увеличивается зольность. Больше всего золы содержит порода, состоящая в основном из минеральных компонентов. Следовательно, чем больше в угле породы, тем больше идет затрат на обогащение угля.

В зависимости от значения показателя обогатимости уголь делят на категории в соответствии с табл. 3.2.

Таблица 3.1

Распределение продуктов обогащения по плотности для углей

Наименование угля	Плотность фракций, кг/м ³		
	в концентрате	в промежуточном продукте	в породе
Каменный уголь	до 1500	1500–1800	1800
Антрацит	до 1800	1800–2000	2000

Таблица 3.2

Классификация углей по степени обогатимости

Показатель обогатимости T , %	Категория
До 5	1 (легкая)
Свыше 5 до 10 включительно	2 (средняя)
Свыше 10 до 15 включительно	3 (трудная)
Свыше 15	4 (очень трудная)

Классификацию по категориям используют при планировании сырьевых баз углеобогачительных фабрик, группировке углей для совместного или отдельного обогащения, шихтовке и усреднении углей перед обогащением, предварительной оценке результатов обогащения.

3. ОБОРУДОВАНИЕ И РЕАКТИВЫ

Реактивы: хлорид цинка (водный раствор) плотностью 1400, 1600, 1800 кг/м³; уголь различных марок класса 1–1,5 мм.

Оборудование: центрифуга электрическая лабораторная стаканчикового типа; стеклянная палочка; ложка металлическая или фарфоровая для снятия всплывших частей проб; противни для просушки; сушильный шкаф; весы технические с набором разновесов; цилиндр мерный емкостью 100 мл; склянки для проб;

фильтровальная установка для фильтрования под пониженным давлением (колба Бунзена, воронка Бюхнера, насос Камовского или водоструйный); фильтры бумажные средней плотности.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. На технических весах взвешивают две навески угля массой 15 г с точностью до 0,01 г, которые помещают в стаканчики центрифуги.

2. В стаканчики с навеской угля заливают жидкость с наименьшей плотностью (ZnCl_2 , $\rho = 1,4 \text{ г/см}^3$) в количестве 60 мл, тщательно перемешивают стеклянной палочкой.

3. Стаканчики помещают в гильзы держателя центрифуги и производят центрифугирование углей с раствором в течение 5 мин при числе оборотов центрифуги 3000 в минуту (что соответствует напряжению на автотрансформаторе ЛАТР-1 около 60 В). Пуск и остановка центрифуги должны осуществляться плавно, без рывков.

4. Всплывшую фракцию вместе с жидкостью ложечкой переносят на предварительно взвешенный фильтр, на котором записывают номер пробы, класс и плотность жидкости; фугат осторожно сливают на фильтр, не взмучивая и не сливая, осадка.

5. Жидкость из колбы сливают в склянку с жидкостью соответствующей плотности.

6. Осадок на фильтре промывают небольшим количеством дистиллированной воды от остатков ZnCl_2 . Промывные воды сливают в раковину.

7. Оставшийся на фильтре осадок вместе с фильтром переносят на противень для просушки и сушат в сушильном шкафу при $t = 80^\circ\text{C}$ до постоянной массы. Находят массу первой (самой легкой) фракции (m_1).

8. В стаканчики с потонувшей фракцией (п. 4) наливают по 60 мл раствора ZnCl_2 следующей плотности ($1,6 \text{ г/см}^3$). Повторяют процедуру с этим новым раствором – см. п. 3–7. Получают массу второй фракции (m_2).

9. Аналогично п. 3–8 производят опыт с третьим раствором ZnCl_2 , $\rho = 1,8 \text{ г/см}^3$. Вместо бумажного фильтра используют тканевый, так как концентрированный ZnCl_2 растворяет фильтровальную бумагу. Получают массу третьей фракции (m_3).

10. Пробу, утонувшей в жидкости плотностью $1,8 \text{ г/см}^3$, переносят на фильтр, промывают дистиллированной водой, отфильтровывают, сушат до воздушно-сухого состояния и взвешивают. Получают массу остатка (породы) – m_4 .

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Данные фракционного анализа заносят в табл. 3.3

По ГОСТ 10100-84 определяют показатель обогатимости (T , %), который рассчитывается как отношение выхода промежуточных фракций к беспородной массе по формуле (3.1):

$$T = \frac{\gamma_2 + \gamma_3}{100 - \gamma_4} \cdot 100 \% \quad (3.1)$$

В зависимости от показателя обогатимости уголь делят на категории в соответствии с табл. 3.2.

Таблица 3.3

Результаты фракционного анализа

№ п/п	Плотность фракции, кг/м^3	Выход фракции, %
1	1400	$\gamma_1 = \frac{m_1}{\sum m_i} \cdot 100 \% \quad (3.2)$
2	1600	$\gamma_2 = \frac{m_2}{\sum m_i} \cdot 100 \% \quad (3.3)$
3	1800	$\gamma_3 = \frac{m_3}{\sum m_i} \cdot 100 \% \quad (3.4)$
4	Свыше 1800	$\gamma_4 = \frac{m_4}{\sum m_i} \cdot 100 \% \quad (3.5)$

6. ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Расслоение в тяжелых жидкостях проводят с соблюдением всех мер предосторожности против ожога и порчи обуви и одежды.

Разгрузку центрифуги, фильтрование и подсушивание фракций необходимо производить в вытяжном шкафу.

В работе используют сушильный шкаф и центрифугу, которые являются опасными с точки зрения поражения электрическим током и получения термических ожогов. Поэтому при выполнении

анализов необходимо следить за исправностью заземления, вилок, розеток, соединительных проводов, выключателей. При обнаружении какой-либо неисправности электрооборудования необходимо немедленно его обесточить и сообщить преподавателю или лаборанту об обнаруженных неисправностях.

7. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

При выполнении работы все записи должны быть занесены в рабочий журнал и протокол испытаний.

Рабочий журнал должен содержать:

- название работы и дату ее выполнения;
- цель работы;
- этапы исследования и условия эксперимента;
- четкую запись промежуточных и конечных результатов испытания;
- промежуточные и конечные расчеты, графические зависимости;
- выводы.

Оформленная работа должна быть проверена и подписана преподавателем.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение понятиям «обогащаемость», «классификация углей по обогащаемости».

2. Какова физическая основа фракционного анализа углей? Принцип метода, где применяется?

3. Как влияет крупность фракции на обогащаемость угля? В чем причина?

4. Назовите промышленные методы обогащения углей, сущность методов.

5. Как определяется показатель обогащаемости?

6. Назовите основные минеральные включения, входящие в кузнецкие угли.

7. Назовите основные компоненты золы кузнецких углей.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бедрань, П. Г. Обогащение углей. – Москва: Недра, 1968. – 206 с.
2. ГОСТ 10100-84. Угли каменные и антрациты. Метод определения обогатимости.
3. ГОСТ 4790-80. Угли каменные и антрацит. Фракционный анализ.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

АНАЛИЗ ЧИСТЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Настоящая работа предназначена для освоения аспирантами методик определения качественных характеристик чистых бензольных продуктов, получаемых на коксохимических предприятиях, а также изучения влияния технологических параметров на качество этих продуктов.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Сырой бензол представляет собой смесь большого количества разнообразных химических соединений. Основная масса его компонентов выкипает до 180 °С. Выше этой температуры кипят содержащиеся в сыром бензоле компоненты поглощительного масла, называемые сольвент-нафтой, и некоторые непредельные соединения.

Наиболее важными по ценности компонентами сырого бензола являются бензол и его гомологи, а также некоторые виды непредельных соединений.

Бензол является исходным материалом для получения синтетического фенола, циклогексана, адипиновой кислоты и иных продуктов – важнейших исходных веществ для производства разнообразных пластических масс, капрона, нейлона и т. д.

Значительное количество бензола расходуется для производства этилбензола, из которого получают стирол – один из важней-

ших исходных материалов при производстве синтетического каучука и пластических масс.

Толуол – следующий за бензолом по своему содержанию компонент сырого бензола. Он обладает свойством замерзать при очень низкой температуре, что делает его ценной добавкой при приготовлении авиа- и мототоплива. Кроме того, толуол находит применение в фармацевтической и в ряде других отраслей промышленности.

Другим коксохимическим продуктом, получаемым из сырого бензола, является ксилол. Ксилол применяется преимущественно как растворитель в резиновой и лакокрасочной промышленности.

Все бензольные углеводороды в чистом виде представляют собой легкоподвижные, бесцветные, прозрачные жидкости, не смешивающиеся с водой. Они чрезвычайно горючи, а их пары с воздухом образуют взрывчатые смеси.

3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Анализ чистых бензольных продуктов включает в себя определение плотности, степени окраски с серной кислотой, бромного числа, пределов кипения.

Определение плотности производится с помощью ареометра или пикнометрическим методом. Степень окраски с серной кислотой, характеризующая количество осмоляющихся веществ, определяется сравнением цвета сернокислотного слоя после обработки продукта концентрированной серной кислотой с цветом образцовой шкалы. Определение бромного числа осуществляется путем обработки анализируемого образца избытком бромид-бромата и последующего определения избыточного брома. Пределы кипения определяются путем перегонки пробы анализируемого вещества и замера температуры падения первой капли и температуры, при которой перегоняется определенное количество продукта.

3.1. Определение плотности

Оборудование: пикнометр вместимостью 10–25 мл; термостат; термометр ртутный с пределом измерения шкалы от 0 до 30 °С и ценой деления 0,1 °С; пипетка с оттянутым капилляром.

Ход работы.

В предварительно взвешенный сухой и чистый пикнометр с помощью пипетки наливается испытуемый продукт при температуре 18–20 °С до уровня, немного превышающего мерную метку на пикнометре. Пикнометр закрывается пробкой и помещается на 30 мин в термостат, в котором поддерживается постоянная температура 20 °С. После этого избыток продукта, находящийся выше метки, удаляется с помощью фильтровальной бумаги. Затем пикнометр вытирается снаружи и взвешивается.

После этого при соблюдении тех же условий определяется масса свежeproкипяченной и охлажденной дистиллированной воды в объеме этого же пикнометра.

Плотность испытуемого продукта по сравнению с плотностью воды при 20 °С (n) определяется по формуле (4.1):

$$n = \frac{G_2 - G}{G_1 - G}, \quad (4.1)$$

где G – масса пустого пикнометра, г; G_1 – масса пикнометра с водой, г; G_2 – масса пикнометра с испытуемым продуктом, г.

Истинная плотность испытуемого продукта (ρ) определяется по формуле (4.2):

$$\rho^{20} = n \cdot (0,99823 - 0,0012) + 0,0012 = 0,99703n + 0,0012, \quad (4.2)$$

где 0,99823 – плотность воды при 20 °С, г/см³; 0,0012 – плотность воздуха при 20 °С и барометрическом давлении 101325 Па, г/см³.

3.2. Определение степени окраски с серной кислотой

Оборудование: пробирки с притертыми пробками вместимостью 10 мл.

Реактивы: 94,5 и 60 %-я серная кислота; химически чистый бихромат калия.

3.2.1. Приготовление образцовой шкалы

В 60 %-й серной кислоте растворяется бихромат калия в таких количествах, чтобы в 1 мл содержалось 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,30;

0,40; 0,50; 0,60; 1,00; 2,00; 3,00; 4,00; 5,00 мг бихромата калия. Полученные растворы образцов наливаются в пробирки из прозрачного бесцветного стекла и запаиваются. На пробирках отмечается концентрация бихромата калия в граммах на литр (г/л).

3.2.2. Ход работы

В пробирку с притертой пробкой наливается 5 мл 94,5 %-й серной кислоты и 5 мл исследуемой пробы. Смесь энергично встряхивается в течение 5 мин, затем отстаивается в течение 2 мин. После этого проводится сравнение цвета сернокислотного слоя в пробирке с исследуемым образцом с цветом растворов в пробирках образцовой шкалы.

Степень окраски испытуемого образца обозначается номером той пробирки образцовой шкалы, интенсивность цвета раствора в которой больше всего приближается к цвету сернокислотного слоя испытуемой смеси.

3.3. Определение бромного числа

Оборудование: колба с притертой пробкой вместимостью 50 мл; пипетки на 2 и 5 мл; микробюретка на 2 мл.

Реактивы: химически чистая серная кислота, разбавленная с водой в соотношении 1:5 (один объем кислоты на 5 объемов воды); 0,1 н. раствор бромид-бромата калия (9,91676 г KBr + 2,7833 г $KBrO_3$ в одном литре раствора); 25 %-ый раствор иодита калия; 0,1 н. раствор тиосульфата натрия; раствор крахмала.

Ход работы.

Бромное число определяется при избытке раствора бромид-бромата калия примерно 0,25 мл. Поэтому при определении бромного числа проводится предварительное испытание для установления необходимого количества раствора бромид-бромата калия.

В колбу с притертой пробкой наливается 10 мл разбавленной серной кислоты (1:5), 5 мл исследуемой пробы и такое количество бромид-бромата калия, чтобы избыток его составлял не менее 0,2 мл и не более 0,3 мл, что устанавливается предварительно. Раствор бромид-бромата калия наливается с помощью микробюретки.

Колба, закрытая пробкой и темной тканью или черной бумагой для защиты от дневного света, тщательно взбалтывается в течение

ние 5 мин и оставляется стоять в покое 1 мин. Верхний углеводородный слой должен при этом окраситься в желтый цвет.

После отстаивания к содержимому колбы приливается 2 мл раствора иодита калия и смесь сильно встряхивается, при этом желтая окраска углеводородного слоя переходит в красно-фиолетовую. Выделившийся йод в количестве, эквивалентном избыточному бром, оттитровывается в присутствии крахмала 0,1 н. раствором тиосульфата натрия до обесцвечивания.

Бромное число (X), выраженное в граммах брома на 100 мл исследуемой пробы, вычисляется по формуле (4.3):

$$X = \frac{(V_1 - V_2) \cdot 0,008 \cdot 100}{5} = 0,16 \cdot (V_1 - V_2), \quad (4.3)$$

где V_1 – объем 0,1 н. раствора бромид-бромата калия, взятый для испытания, мл; V_2 – объем 0,1 н. раствора тиосульфата натрия, пошедший на титрование, мл; 0,008 – количество брома, соответствующее 1 мл 0,1 н. раствора бромид-бромата калия, г; 5 – объем испытуемого продукта, взятый для анализа, мл.

3.4. Определение пределов кипения

Оборудование: стеклянная плоскодонная колба емкостью 250 мл; стеклянная круглодонная колба емкостью 150 мл с внутренним шлифом; стеклянная насадка (одношариковый дефлегматор с отводной трубкой); стеклянный холодильник; насадка-двойник; мерный цилиндр вместимостью 100 мл; термометр со шкалой измерения до 180 °С; водяная баня; электроплитка; подъемный столик.

Ход работы.

Для осушки испытуемого образца в стеклянную плоскодонную колбу емкостью 250 мл насыпается 7 г гранулированного хлорида кальция и наливается 150 мл анализируемого бензольного продукта. Содержимое колбы взбалтывается и через 20 мин сливается осушенный продукт.

В сухой чистый мерный цилиндр наливается 100 мл испытуемой осушенной пробы. Содержимое цилиндра переливается в круглодонную колбу емкостью 150 мл, добавляется несколько «кипелок».

Собирается установка, представленная на рис. 4.1, проверяется надежность ее крепления, подается холодная вода через холодильник.

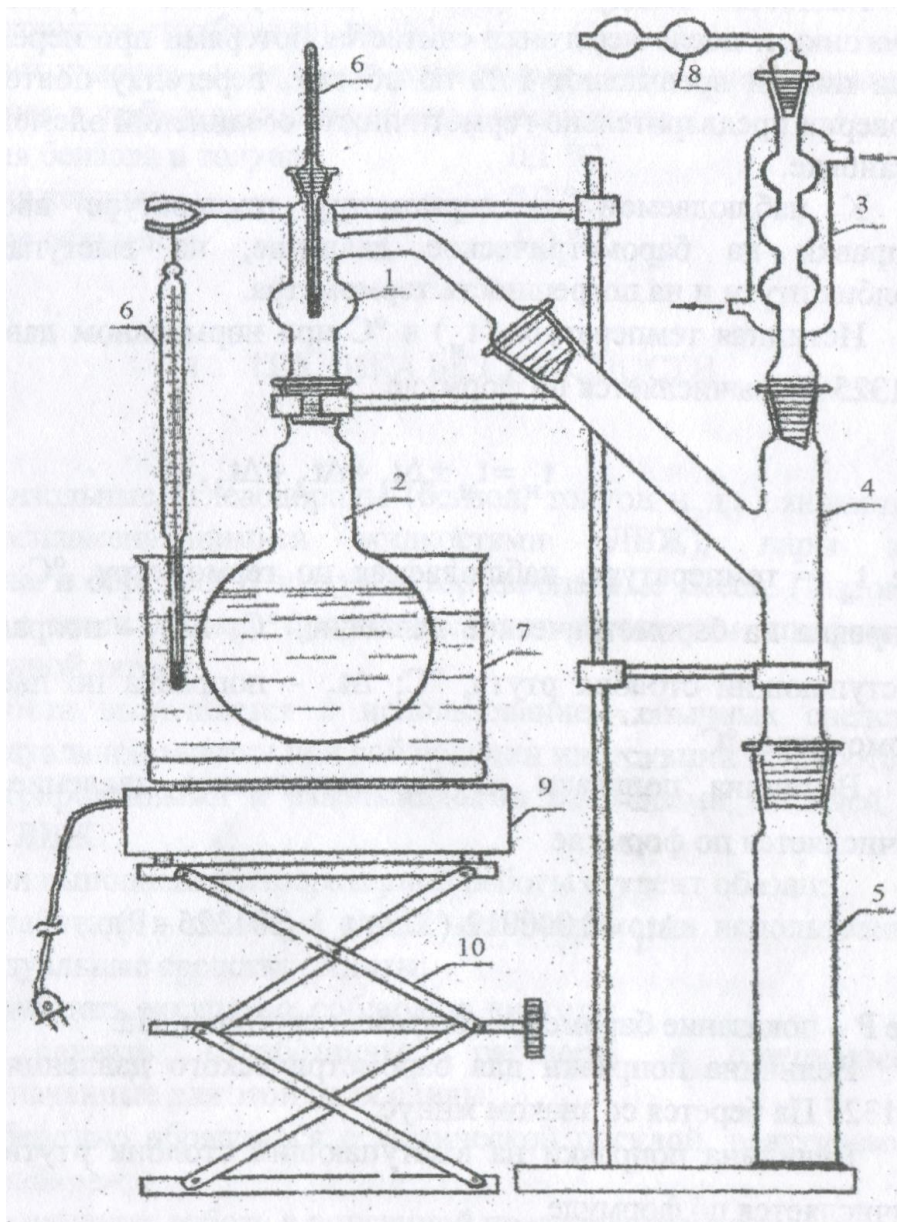


Рис. 4.1. Схема установки для определения пределов кипения:
1 – стеклянная насадка с отводной трубкой; 2 – круглодонная колба;
3 – холодильник; 4 – насадка; 5 – мерный цилиндр; 6 – термометр;
7 – водяная баня; 8 – хлоркальциевая трубка; 9 – электроплитка;
10 – подъемный столик

Включается электроплитка. Скорость перегонки регулируется так, чтобы количество отгона составляло 4–5 мл/мин. Начальной температурой кипения (началом перегонки) считается температура, при которой падает первая капля конденсата с конца насадки 4 в

приемник 5. Конечной температурой кипения (концом перегонки) считается температура, при которой в приемном мерном цилиндре будет находиться 90 мл отгона.

После замера конечной температуры кипения выключается электроплитка и из-под колбы сразу убирается водяная баня. Через 3 мин после окончания перегонки к отгону в цилиндре приливается остаток из колбы, в которой осуществлялась перегонка. Замеряется объем жидкости в мерном цилиндре.

Разность между объемами испытуемого образца до перегонки и после перегонки считается потерями при перегонке. Если потери превышают 1 % по объему, перегонку повторяют, проверив предварительно герметичность соединений элементов в установке.

К наблюдаемой по термометру температуре вводятся поправки на барометрическое давление, на выступающий столбик ртути и на погрешность термометра.

Истинная температура ($t_{\text{И}}$) в °С при нормальном давлении 101325 Па вычисляется по формуле (4.4):

$$t_{\text{И}} = t_{\text{Н}} \pm \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3, \quad (4.4)$$

где $t_{\text{Н}}$ – температура, наблюдаемая по термометру, °С; Δt_1 – поправка на барометрическое давление, °С; Δt_2 – поправка на выступающий столбик ртути, °С; Δt_3 – поправка по паспорту термометра, °С.

Величина поправки на барометрическое давление (Δt_1) вычисляется по формуле (4.5):

$$\Delta t_1 = 0,000012 \cdot (273 + t_{\text{Н}}) \cdot (101325 - P), \quad (4.5)$$

где P – показание барометра во время перегонки, Па.

Величина поправки для барометрического давления выше 101325 Па берется со знаком минус.

Величина поправки на выступающий столбик ртути (Δt_2) вычисляется по формуле (4.6):

$$\Delta t_2 = 0,00016 \cdot h \cdot (t_{\text{Н}} - t_{\text{В}}), \quad (4.6)$$

где h – высота выступающего над пробкой столбика ртути в градусах шкалы термометра; t_H – наблюдаемая температура по термометру, °С; t_B – температура окружающего воздуха, замеренная другим термометром на уровне середины выступающего столбика ртути, °С.

4. ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Бензольные углеводороды (бензол, толуол и др.) являются легковоспламеняющимися жидкостями (ЛВЖ), пары их токсичны и образуют с воздухом взрывоопасные смеси. Поэтому работа с ними должна проводиться под вытяжным шкафом с включенной тягой.

Работа выполняется с использованием обычных средств индивидуальной защиты при соблюдении инструкций по работе с концентрированными и разбавленными растворами щелочей и кислот, ЛВЖ.

При выполнении лабораторной работы студент обязан:

- работать в халате, в случае необходимости использовать индивидуальные средства защиты;
- работать аккуратно, соблюдать чистоту;
- сливать отработанные растворы в специально предназначенные для этой цели сливы;
- бережно обращаться с химической посудой, реактивами, оборудованием;
- выполнить работу в описанной последовательности.

5. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- краткое изложение теоретических основ применяемого метода исследования;
- этапы работы и условия их выполнения;
- перечень применяемого в работе оборудования, посуды, реактивов и их особенности;
- запись результатов промежуточных и конечных измерений, их размерности, погрешности определения;
- промежуточные и конечные расчеты, вывод конечных формул для расчета и др.;

Оформленная работа должна быть проверена и подписана преподавателем.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие основные товарные продукты получают из сырого бензола? Где они применяются?
2. Какие показатели качества используются для бензольных продуктов? Как они определяются?
3. Какие существуют сорта бензола? Чем они отличаются друг от друга?
4. Какие примеси находятся в чистом бензоле?
5. Как получают фракции БТК (бензол, толуол, ксилол) из сырого бензола?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глузман, Л. Р. Лабораторный контроль коксохимического производства / Л. Р. Глузман, И. И. Эдельман. – Москва: Металлургия, 1968. – 472 с.
2. Коляндра, Л. Я. Улавливание и переработка химических продуктов коксования / Л. Я. Коляндра. – Харьков: Металлургиздат, 1962. – 468 с.
3. Макаров, Г. Н. Химическая технология твердых горючих ископаемых / Г. Н. Макаров, Г. Д. Харлампович. – Москва: Химия, 1986. – 496 с.
4. Назаров, В. Г. Обработка коксового газа. Справочник инженера-технолога. Часть 1 / В. Г. Назаров. – Екатеринбург: ВУХИН, 1997. – 281 с.
5. Назаров, В. Г. Обработка коксового газа. Справочник инженера-технолога. Часть 2 / В. Г. Назаров. – Екатеринбург: ВУХИН, 1998. – 354 с.

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

Самостоятельная работа студентов включает в себя выполнение домашних заданий, подготовку к лабораторным работам и оформление отчетов по ним.

ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ

Домашние задания ДЗ посвящены подготовке студентов к текущему контролю знаний ТК после 4, 8 и 12 недель. Текущий контроль проводится в виде письменного опроса Т. Подготовка домашнего задания проверяется при проверке отчетов к лабораторным работам.

ДЗ1: Самостоятельное изучение вопросов: обогащение углей, факторы загрязнения окружающей среды, пути сокращения негативного влияния на окружающую среду.

ДЗ2: Самостоятельное изучение вопросов: требования промышленной и экологической безопасности опасных производственных объектов. Экологическая безопасность как составляющая промышленной и экологической безопасности.

ДЗ3: Самостоятельное изучение вопроса: правовое регулирование в области промышленной и экологической безопасности.

ДЗ4: Самостоятельное изучение вопросов: правила допустимого экологического риска. Составляющие экологического риска. Факторы, уровень риска и анализ риска.

ПОДГОТОВКА К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТОВ

Подготовка к лабораторной работе и оформление отчета Л_{зп} производится для проведения текущего контроля знаний ТК по выполненной лабораторной работе после 4, 8 и 12 недель. Текущий контроль проводится в виде устной защиты лабораторной работы. Студенты готовятся к устной защите по литературным источникам и лекциям.

Письменный опрос

Для текущего контроля знаний студентов ТК в виде письменного опроса Т разработаны контрольные вопросы.

Текущий контроль по разделу «Опасные производственные объекты» будет заключаться в представлении студентом результатов самопознания и опрос по контрольным вопросам. Например:

1. Назовите основные требования промышленной и экологической безопасности опасных производственных объектов?

2. Назовите федеральный орган исполнительной власти, специализирующийся в области промышленной и экологической безопасности.

3. Какие виды деятельности в области промышленной и экологической безопасности подлежат лицензированию?

4. Назовите основные требования промышленной и экологической безопасности к эксплуатации опасного производственного объекта.

5. Как осуществляется производственный контроль за соблюдением требований промышленной и экологической безопасности?

Текущий контроль по разделу «Экологическая безопасность» будет заключаться в представлении студентом результатов самопознания и опрос по контрольным вопросам. Например:

1. Функциональная подсистема экологической безопасности единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, ее основные функции и задачи.

2. Структура и порядок функционирования функциональной подсистемы экологической безопасности.

Текущий контроль по разделу «Экологический риск и загрязнение окружающей среды» будет заключаться в представлении студентом результатов самопознания и опрос по контрольным вопросам. Например:

1. Правила допустимого экологического риска.
2. Составляющие экологического риска.
3. Факторы, уровень риска и анализ риска.
4. Оценка риска для здоровья человека при воздействии вредных факторов окружающей среды.
5. ПДК для основных видов загрязнителей атмосферного воздуха. Пределы допустимых выбросов в атмосферу вредных веществ.
6. Мероприятия по снижению уровня выбросов в атмосферу.

Отчет по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе должен содержать наименование, цель, основные теоретические положения, экспериментальные данные, обработку результатов, выводы.

Контрольные вопросы для защиты лабораторных работ

Лабораторная работа № 1

1. Для каких целей применяется вода в химических производствах?
2. Как классифицируются природные воды? Какие примеси в них содержатся?
3. Основные стадии промышленной водоподготовки.
4. Какие показатели, характеризуют качество воды? В чем суть нормативных показателей ПДК, ПДС, ХПК и БПК для воды?
5. Проблема охраны водоемов. Каковы пути ее решения?

Лабораторная работа № 2

1. Назначение и задачи технического анализа углей.

2. Виды влаги в углях и методы ее определения.
3. Минеральные компоненты и зола, классификация. Измерение состава минеральных веществ при сжигании и нагреве углей без доступа воздуха.
4. Измерение выхода летучих веществ в зависимости от стадии метаморфизма, петрографического и минерального составов, степени восстановленности углей.
5. Промышленные, генетические и промышленно-генетические классификации углей. Значение показателей технического анализа в различных видах классификаций.

Лабораторная работа № 3

1. Дайте определение понятиям «обогащаемость», «классификация углей по обогащаемости».
2. Какова физическая основа фракционного анализа углей? Принцип метода, где применяется?
3. Как влияет крупность фракции на обогащаемость угля? В чем причина?
4. Назовите промышленные методы обогащения углей, сущность методов.
5. Как определяется показатель обогащаемости?
6. Назовите основные минеральные включения, входящие в кузнечные угли.
7. Назовите основные компоненты золы кузнечных углей.

Лабораторная работа № 4

1. Какие основные товарные продукты получают из сырого бензола? Где они применяются?
2. Какие показатели качества используются для бензольных продуктов? Как они определяются?
3. Какие существуют сорта бензола? Чем они отличаются?
4. Какие примеси находятся в чистом бензоле?
5. Как получают фракции БТК (бензол, толуол, ксилол) из сырого бензола?

ТЕМЫ РЕФЕРАТИВНЫХ РАБОТ

1. Характеристика опасных и вредных факторов при работе угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий.

2. Физические вредные и опасные факторы.
3. Психофизиологические факторы.
4. Влияние на здоровье человека неблагоприятных факторов.
5. Загрязнение гидросферы.
6. Загрязнители сточных вод.
7. Способы очистки сточных вод.
9. Очистка газовых выбросов в атмосферу от пыли.
10. Переработка и утилизация твердых отходов.

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Российское законодательство в области экологической безопасности и охраны окружающей среды.
2. Система государственного управления в области охраны окружающей среды.
3. Государственный экологический контроль действующих предприятий.
4. Организация и проведение производственного экологического контроля на предприятии.
5. Рабочая документация производственного экологического контроля.
6. Порядок осуществления аналитического контроля на предприятии.
7. Нормативные и качественные показатели состояния окружающей среды.
8. Система природоохранных норм и нормативов.
9. Нормативы качества окружающей среды и нормативы предельно допустимых воздействий на окружающую среду.
10. Воздухоохранная деятельность на предприятии.
11. Контроль и надзор в сфере охраны атмосферного воздуха
12. Порядок использования водных ресурсов на предприятии.
13. Права и обязанности водопользователей.
14. Учет источников воздействия и отчетность в области охраны водных объектов.
15. Контроль и надзор за соблюдением законодательства по обращению с отходами.
16. Экономические методы регулирования в области охраны окружающей среды.
17. Плата за негативное воздействие на окружающую среду.

18. Экологические риски и экологическое страхование.
19. Экологический ущерб и порядок возмещения ущерба.
Экологический аудит
20. Требования промышленной и экологической безопасности к эксплуатации опасного производственного объекта.
21. Экологический риск и его составляющие.
22. Требования к месту проведения сварочных работ.
23. Лицензирование видов деятельности в области промышленной и экологической безопасности.
24. Оценка риска для здоровья человека при воздействии вредных факторов окружающей среды.

СПИСОК ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Широков, Ю. А. Экологическая безопасность на предприятии: учебное пособие. – Санкт-Петербург: Лань, 2018. – 360 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/107969>. – Загл. с экрана. (05.06.2019)
2. Саркисов, О. Р. Экологическая безопасность и эколого-правовые проблемы в области загрязнения окружающей среды [Электронный ресурс]. – Москва: Юнити-Дана, 2015. – 231 с. – Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=118197. – Загл. с экрана. (05.06.2019)
3. Дмитренко, В. П. Экологическая безопасность в техносфере [Текст]: учебное пособие для подготовки магистров по направлению «Техносферная безопасность» / В. П. Дмитренко, Е. В. Сотникова, Д. А. Кривошеин. – Санкт-Петербург: Лань, 2016. – 524 с. – Доступна электронная версия: <https://e.lanbook.com/book/76266#authors>

Дополнительная литература

1. Пугач, Л. И. Нетрадиционная энергетика – возобновляемые источники, использование биомассы, термохимическая подготовка, экологическая безопасность [Текст]: учебное пособие / Л. И. Пугач,

Ф. А. Серант, Д. Ф. Серант; отв. ред. Л. И. Пугач; Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск: НГТУ, 2006. – 347 с.

2. Солодов, Г. А. Техническая и экологическая безопасность промышленного предприятия. Анализ аварий, катастроф и их причин. Подготовка руководителей производственных коллективов к действиям при авариях и аварийных ситуациях. Организация и безопасная эксплуатация промышленных предприятий [Текст]: [монография для студентов и аспирантов] / Г. А. Солодов, О. Е. Пермяков, В. И. Косинцев. – Томск: Дельтаплан, 2004. – 184 с. – Доступна электронная версия:

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=20074&type=monograph:common>

3. Промышленность и экологическая безопасность – основа развития Кузбасса [Текст]: ежегод. апр. науч.-практ. конф., [27 апр. 2007 г., г. Прокопьевск]: сб. материалов / ГОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т», Фил. КузГТУ в г. Прокопьевске. – Прокопьевск, 2007. – 151 с. – Доступна электронная версия:

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=80059&type=conference:common>

4. Астахов, А. С. Экологическая безопасность и эффективность природопользования [Текст]: [для аспирантов горных вузов] / А. С. Астахов, Е. Я. Диколенко, В. А. Харченко. – Москва: Горная книга, 2009. – 323 с.

5. Губанов, Л. Н. Экологическая безопасность при строительстве [Электронный ресурс]. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2010. – 97 с. – Режим доступа:

http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=427235. – Загл. с экрана. (05.06.2019)