

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»

Институт естественных и точных наук

Факультет «Химический»

Кафедра «Экология и химическая технология»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой, д.х.н.

\_\_\_\_\_ В.В. Авдин

\_\_\_\_\_ 2020 г.

Исследование свойств конденсата газогенерации

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ–18.03.01.2020.061.17.00 ПЗ ВКР

Руководитель работы, профессор  
кафедры, д.т.н., с.н.с.

\_\_\_\_\_ Б.Ш. Дыскина

\_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор работы,  
студент группы ЕТ-433

\_\_\_\_\_ В.А. Якупова

\_\_\_\_\_ 2020 г.

Нормоконтролер, доцент кафедры,  
к.х.н.

\_\_\_\_\_ К.Р. Смолякова

\_\_\_\_\_ 2020 г.

Челябинск 2020

## АННОТАЦИЯ

Якупова В.А. Исследование свойств конденсата газогенерации. – Челябинск: ЮУрГУ, ЕТ-433, 65 с., 16 ил., 14 табл., библиогр. список – 29 наим.

Цель работы – исследование свойств и определение показателей качества конденсата газогенерации кускового каменного угля.

Задачи:

- Изучить научную литературу по процессу газогенерации твердого топлива; классификацию процессов газогенерации угля; технологические схемы и аппаратное оформление газогенерации угля; характеристики продуктов процесса газогенерации угля;
- Изучить методики и выполнить определения показателей качества конденсата газогенерации кускового каменного угля.
- Выполнить сравнительный анализ показателей качества исследуемого конденсата и каменноугольных смол.

Объект исследования – конденсат газогенерации кускового каменного угля, полученный с газогенераторной установки (п. Раздолинск, Мотыгинский район, Красноярский край).

Экспериментально проведено определение плотности, массовой доли влаги, выхода летучих веществ, массовой доли серы по методу Эшка, зольности и массовой доли веществ, нерастворимых в толуоле ( $\alpha$ -фракция); по результатам перегонки конденсата газогенерации с постепенным испарением определены температура кипения, выход полученных фракций и их плотность.

Проведен сравнительный анализ полученных значений показателей конденсата газогенерации и смол коксования каменного угля (ТУ У 23.1-00190443-100:2007 ПАО Ясиновский коксохимический завод; ТУ 2453-203-00190437-2005 ОАО «Кокс» г. Кемерово). Показано, что конденсат – продукт

беззольный, бессернистый, содержание веществ, нерастворимых в толуоле, более чем в 3 раза превышает их содержание в смоле (31,48 против 8-13 %). По-видимому, остаток представляет собой смесь антраценовой фракции, пека и сажи.

Разработаны рекомендации о возможности применения – полученные данные могут применяться для дальнейшего анализа конденсата газогенерации и фракций, полученных при его перегонке.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	8
1 ОСНОВЫ ГАЗОГЕНЕРАЦИИ УГЛЯ (Литературный обзор) .....	10
1.1 Классификация процессов газогенерации угля .....	14
1.2 Технологические схемы и аппараты газогенерации угля .....	15
1.2.1 Схема газогенерации в плотном слое .....	16
1.2.2 Схема газогенерации в кипящем слое .....	20
1.2.3 Схема газогенерации в пылевом потоке .....	22
1.3 Характеристика продуктов газогенерации угля .....	24
1.3.1 Генераторный газ .....	24
1.3.2 Аммиак .....	25
1.3.3 Смолы и конденсаты .....	26
1.3.4 Сера .....	29
2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	31
2.1 Объект исследования .....	31
2.2 Методы исследования .....	31
2.2.1 Метод определения плотности ареометром .....	31
2.2.2 Метод определения массовой доли влаги .....	31
2.2.3 Метод определения выхода летучих веществ .....	32
2.2.4 Метод определения массовой доли серы по методу Эшка .....	32
2.2.5 Метод определения зольности .....	34
2.2.6 Метод определения содержания веществ, нерастворимых в толуоле ( $\alpha$ - фракция) .....	34
2.2.7 Метод перегонки с постепенным испарением .....	35
3 ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА КОНДЕНСАТА ГАЗОГЕНЕРАЦИИ КУСКОВОГО КАМЕННОГО УГЛЯ .....	37
3.1 Определение показателей качества конденсата .....	37
3.1.1 Определение плотности ареометром .....	37
3.1.2 Определение массовой доли влаги .....	38
3.1.3 Определение выхода летучих веществ .....	38

3.1.4	Определение массовой доли серы по методу Эшка.....	39
3.1.5	Определение зольности.....	39
3.1.6	Определение содержания веществ, нерастворимых в толуоле ( $\alpha$ - фракция).....	40
3.1.7	Перегонка конденсата газогенерации с постепенным испарением.....	40
3.2	Сравнительная характеристика каменноугольной смолы коксования и конденсата газогенерации .....	44
	Выводы по разделу три .....	46
4	РАСЧЕТ ЗАТРАТ НА ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ ...	48
4.1	Расчет материальных затрат .....	48
4.2	Расчет затрат на электроэнергию .....	48
4.3	Расчет амортизационных отчислений .....	49
4.4	Расчет фонда заработной платы .....	50
4.5	Общая смета затрат.....	50
	Выводы по разделу четыре .....	51
5	БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	52
5.1	Общая характеристика научно-исследовательской лаборатории.....	52
5.2	Состав вредных и опасных факторов .....	53
5.3	Мероприятия по обеспечению безопасных условий труда .....	53
5.3.1	Охрана труда при работе в химической лаборатории .....	53
5.3.2	Вредные вещества.....	55
5.3.3	Вентиляция .....	55
5.3.4	Освещенность.....	55
5.3.5	Шум .....	57
5.3.6	Электробезопасность.....	58
5.3.7	Пожарная безопасность.....	59
	Выводы по разделу пять.....	59
	ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ .....	61
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	63

## ВВЕДЕНИЕ

Каменные угли Кокуйского месторождения (Мотыгинский район Красноярский край) являются ценным сырьем для химической и металлургической промышленности. Запасы данного месторождения имеют высокие технологические характеристики, благодаря чему обеспечивается принципиальная возможность целесообразного и комплексного их применения.

В настоящее время Мотыгинский район – один из крупнейших и перспективных горнодобывающих районов Красноярского края. В районе разведаны запасы рудного золота, сурьмы, железа, полиметаллических и фосфатно-ниобиевых руд, бокситов и магнезита, талька, каменного угля. Ввиду удаленности от промышленных районов, отсутствия нефте- и газопроводов на Нижне-Приангарской производственной площадке Группы Магнезит (филиал компании в Раздолинске) пущена в работу первая газогенераторная установка, обеспечивающая новым топливом шахтную кольцевую печь №1 цеха декарбонизации магнезита. Получаемый генераторный газ гораздо дешевле дизельного топлива, экологичнее и позволяет снизить себестоимость производства декарбонизированного магнезита.

В качестве побочных продуктов процесса газогенерации получены конденсаты. Чтобы максимально использовать получаемые продукты газогенерации кускового каменного угля, группа Магнезит ищет сферы практического применения конденсата возгонов, свойства и состав которого до настоящего времени пока не изучены. В этой связи изучение свойств исследуемого конденсата – актуально.

Объект исследования – конденсат газогенерации кускового каменного угля, полученный с газогенераторной установки (п.Раздолинск, Мотыгинский район, Красноярский край).

Цель работы – исследование свойств и определение показателей качества конденсата газогенерации кускового каменного угля.

Задачи:

- Изучить научную литературу по процессу газогенерации твердого топлива; классификацию процессов газогенерации угля; технологические схемы и аппаратное оформление газогенерации угля; характеристики продуктов процесса газогенерации угля;

- Изучить методики и выполнить определения показателей качества конденсата газогенерации кускового каменного угля.

- Выполнить сравнительный анализ показателей качества исследуемого конденсата и каменноугольных смол.

Проведен сравнительный анализ полученных значений показателей конденсата газогенерации и смол коксования каменного угля (ТУ У 23.1-00190443-100:2007 ПАО Ясиновский коксохимический завод; ТУ 2453-203-00190437-2005 ОАО «Кокс» г. Кемерово). Показано, что конденсат – продукт беззольный, бессернистый, содержание веществ, нерастворимых в толуоле, более чем в 3 раза превышает их содержание в смоле (31,48 против 8-13 %). По-видимому, остаток представляет собой смесь антраценовой фракции, пека и сажи.

Разработаны рекомендации о возможности применения – полученные данные могут применяться для дальнейшего анализа конденсата газогенерации и фракций, полученных при его перегонке.

# 1 ОСНОВЫ ГАЗОГЕНЕРАЦИИ УГЛЯ

(Литературный обзор)

Газогенерация – процесс преобразования твердого топлива в горючий газ (смесь монооксида углерода, водорода и др.) при нагреве до 1000-2000 °С с окислителем. В качестве окислителей обычно используется  $O_2$  воздуха, водяной пар, чистый  $O_2$ , а также смесь пара и воздуха или пара и  $O_2$ . Для преобразования твердого топлива в газ используют устройства, называемые газогенераторами.

На рис. 1.1 представлена схема газогенерации твердого топлива. Условно, процесс газогенерации делят на несколько этапов: 1 – нагрев и сушка топлива; 2 – пиролиз топлива (образуется газ и твердый остаток); 3 – газогенерация углистого остатка.

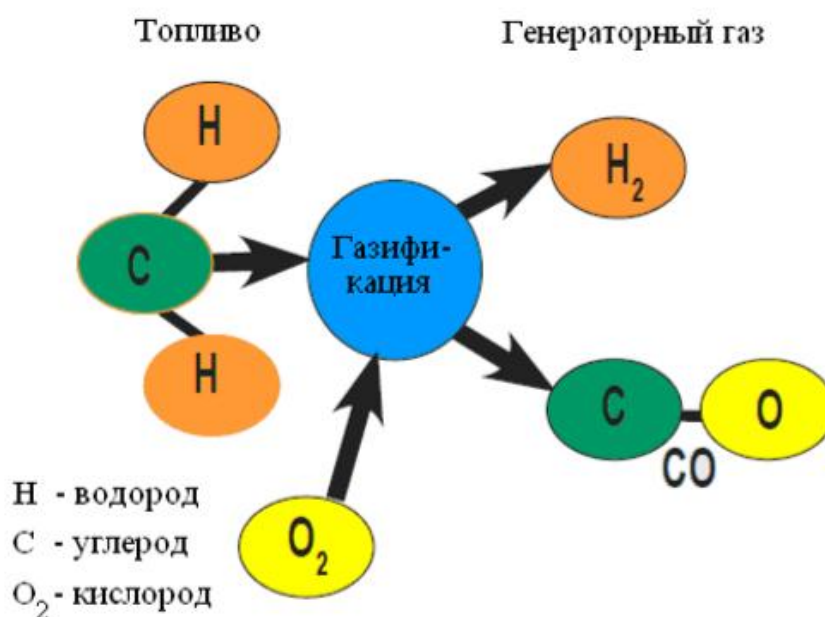


Рисунок 1.1 – Схема процесса газогенерации [20]

При газогенерации остатка угля выделяется генераторный газ – газ, который образуется в реакции углерода с каким-либо окислителем при условии получения в его составе горючих компонентов.

На рис. 1.2 представлена классификация методов газогенерации в зависимости от способа воздействия на сырье. Показаны уровень теплоты сгорания газа, получаемого при использовании различных газогенерирующих агентов, и возможные области его применения.



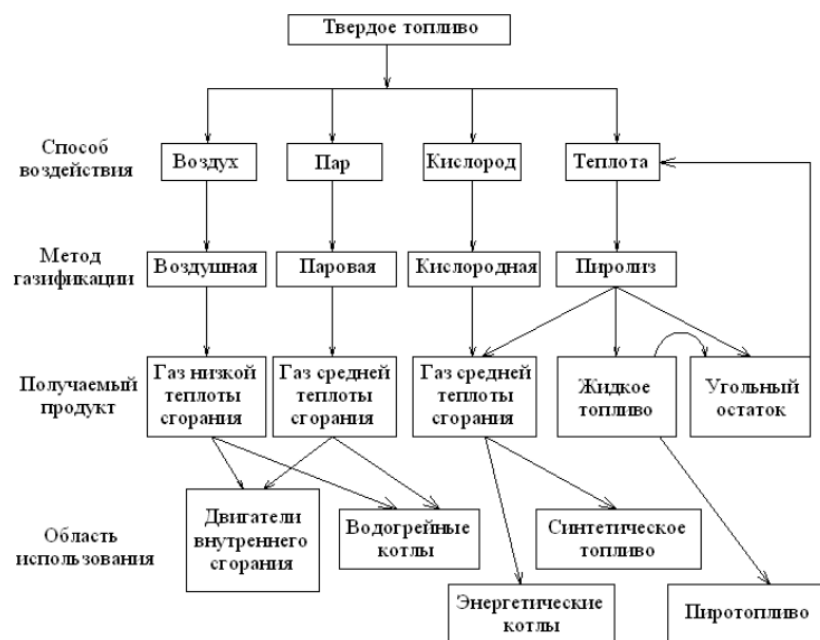


Рисунок 1.2 – Классификация методов газогенерации твердого топлива [20]

В работе [20] отмечено, что при газогенерации кислородом воздуха образуется *воздушный генераторный газ*, состоящий по большей части из  $\text{H}_2$  и  $\text{CO}$ , разбавленный  $\text{N}_2$  воздуха и некоторым количеством  $\text{CO}_2$ . В воздухе содержится 21 %  $\text{O}_2$ , который отвечает за интенсивность процесса газогенерации, поэтому температура в реакторе определяется скоростью подачи воздуха и твердого топлива. Чем меньше подвод воздуха, тем меньше производится газа и больше содержится в нем смол. Низшая теплота сгорания газа 3,5...4,8 МДж/м<sup>3</sup>. Его можно использовать в котлах и двигателях внутреннего сгорания. Он не пригоден для сжигания в газовых турбинах и транспортировки по трубопроводам на большие расстояния.

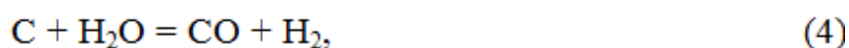
В отличие от газогенерации воздухом, газогенерация паром требует внешнего источника теплоты. В этом случае получают преимущественно  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$  и отчасти  $\text{CO}_2$ , к которым присоединяется водяной пар, подачей которого можно уменьшить температуру в восстановительной зоне и увеличить теплоту получаемого газа за счет образования новых количеств монооксида углерода и водорода. Получаемый газ называется *водяным генераторным газом*. При газогенерации паром образуется газ с более высокой теплотой сгорания (12-20 МДж/м<sup>3</sup>).

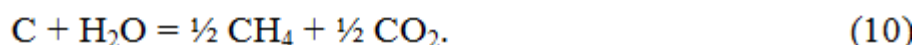
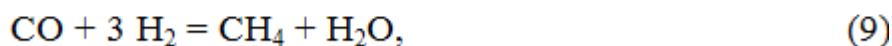
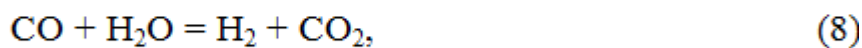
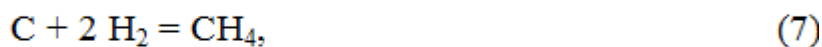
При одновременном использовании пара и воздуха в качестве реагирующих газов получают смесь воздушного и водяного газов ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  и водяной пар). Эта смесь называется *смешанным, полуводяным* или *паровоздушным, газом*.

В этом случае  $\text{O}_2$  воздуха обеспечивает необходимую энергию за счет экзотермической реакции горения твердого топлива. А пар вступает в реакцию с  $\text{CO}$  для получения  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2$ . Количество пара, которое подается в газогенератор, зависит от теплоты, оставшейся после реакций восстановления воздушного газа. Большое количество водяного пара ведет к уменьшению температуры в зоне газогенерации, а это в свою очередь снижает интенсивность процесса всего процесса и может привести к его полной остановке.

При использовании чистого кислорода и пара в качестве газогенерирующего агента получают *оксिवодяной генераторный газ* с высокой теплотой сгорания 10...15 МДж/м<sup>3</sup>. Главным преимуществом применения данного окислителя является то, что в целевом газе отсутствует азот, который является балластом. Следовательно, этот газ можно подавать в трубопроводы, применять для синтеза химических продуктов и синтетических топлив. Но с точки зрения экономики использование чистого  $\text{O}_2$  в качестве окислителя повышает капитальные расходы, т.к. требуется иметь рядом завод, производящий этот газ.

В зависимости от того, процесс газогенерации идет вместе с пиролизическим разложением или после него, углерод топлива вступает в реакцию с разными газообразными окислителями (например, кислород, пар, уголекислота, водород) и получают такие продукты как газ, смола и угольный остаток. Реакции, которые идут в газогенераторной установке, могут быть представлены в следующем виде:





Большая часть  $\text{O}_2$  (чистый и кислород воздуха) расходуется на реакции (1) – (3). Благодаря этому выделяется тепловая энергия, которая используется для сушки топлива, разрушения химических связей и повышения температуры в зоне восстановления, а также для осуществления реакций взаимодействия газов из зоны горения с углерод топлива и водяными парами (4) – (9).

(4) и (5) – основные реакции газогенерации, сопровождаются поглощением теплоты, идут в зоне высоких температур и низких давлений.

(6) – первичная реакция при окислении углерода, сопровождается поглощением теплоты; идет намного медленнее, чем реакция окисления (1).

(7) – реакция взаимодействия  $\text{C}$  с  $\text{H}_2$  с получением  $\text{CH}_4$ ; протекает достаточно медленно, за исключением условий высокого давления.

(8) – важна с точки зрения получения  $\text{H}_2$ , давление не оказывает влияния на увеличение его выхода.

(9) – реакция получения метана, протекает очень медленно при низких температурах.

(10) происходит относительно нейтрально с точки зрения тепловыделения [24].

При организации процесса газогенерации в простейших устройствах перевести весь углерод твердого топлива в газообразное состояние полностью невозможно, т.к. часть его остается в виде смол или уходит со шлаком и уносом.

На рис. 1.3 графически показаны процессы, происходящие в газогенераторе.

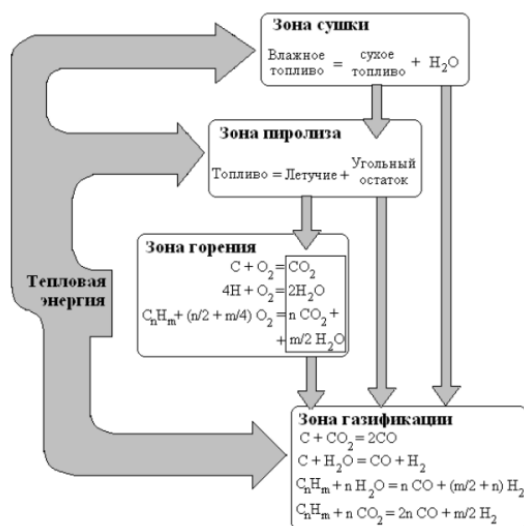


Рисунок 1.3 – Графическое изображение процессов в газогенераторе [20]

### 1.1 Классификация процессов газогенерации угля

Наряду с окислителем, температурой и давлением в зоне газогенерации, существует ряд факторов, которые непосредственно оказывают влияние на протекание процесса. При газогенерации угля необходимо учитывать следующие факторы:

1. гранулометрический состав угля, его класс;
2. подготовка угля;
3. низшая теплота сгорания;
4. время пребывания частиц загружаемого топлива в реакционной зоне;
5. особенности станции, на которой применяется газогенерация.

Б.В. Канторович [22] приводит следующую классификацию процессов газогенерации по ряду признаков:

- По теплоте сгорания получаемых газов (газы с низкой теплотой сгорания 4...8 МДж/м<sup>3</sup>, средней 10...18 МДж/м<sup>3</sup> и высокой 20...35 МДж/м<sup>3</sup>);
- По назначению газов (газ, применяемый для непосредственного сжигания; газ, используемый в технологических целях);
- По размеру частиц используемого топлива (газогенерация крупных, средних, мелких, пылевидных частиц);
- По компонентам дутья (воздух, пар-воздух, кислород, пар-кислород, пар);
- По способу удаления минеральных примесей (жидкое, сухое);

- По давлению газогенерации (атмосферное, среднее до 2-3 МПа; повышенное 2-3 МПа и более);
- По характеру движения газифицируемого топлива (в кипящем слое, плотном слое, в пылевом потоке);
- По температуре газогенерации (низко-, средне- и высокотемпературная газогенерация);
- По способу подвода теплоты в процессе газогенерации (автотермические или аллотермические).

## 1.2 Технологические схемы и аппараты газогенерации угля

В зависимости от организации подачи газифицирующего агента и гранулометрического состава угля выделяют схемы автотермического способа газогенерации твердого топлива: а) газогенерации в плотном слое; б) газогенерации в кипящем слое; в) газогенерации в пылевом потоке (табл. 1.1) [23].

Таблица 1.1 – Технологические параметры газогенерации угля разными способами

	Неподвижный слой	Кипящий слой	Пылевой поток
Система подачи топлива	сухая	сухая	сухая / суспензия
Размер частиц, мм	5-80	0,5-6	<1
Время пребывания топлива в газогенераторе, с	900-1800 (при высоком давлении)	10-100	<5
Температура в газогенераторе, °С	1315-1760 – в зоне горения, 370-510 – в зоне пиролиза	760-1100	980-1900
Давление в реакторе, атм	1-100	1-30	20-80
Газифицирующий агент	O <sub>2</sub> + пар; воздух + пар	воздух + пар; O <sub>2</sub> + пар; пар	O <sub>2</sub> + пар;
Золоудаление	сухое, шлак	сухое	сухое, шлак
Теплотворная способность получаемого газа	Низкая, средняя	Низкая, средняя	Средняя, высокая

Перспективными считаются методы газогенерации угля в пылевом потоке и кипящем слое. В настоящее время наиболее распространены технологии получения высококалорийного горючего газа фирм «Lurgi» (слоевой газогенератор), «Winkler» (газогенератор кипящего слоя), «Техасо» (газогенератор с водоугольной суспензией), «Shell» (газогенератор пылевого потока) [28].

### 1.2.1 Схема газогенерации в плотном слое

Н.Э. Рамбуш в работе [26] отмечает, что все слоевые газогенераторные установки имеют 4 зоны: горения; газогенерации; пиролиза и сушки. Установки представляет собой шахту с футеровкой. Топливо подается сверху, а дутье снизу. Слоевые газогенераторы небольшие по мощности, расход топлива ~ 100 т угля в сутки. Размер частиц угля – 5-80 мм, давление 1-100 атм. В качестве окислителя применяется воздух или пар.

В настоящее время газогенераторы такого типа применяются редко, по сравнению с аппаратами кипящего слоя и пылевого потока. Они менее капиталоемкие и просты в эксплуатации, а также имеют большее время пребывания загружаемого материала в зоне реакции. Среди слоевых газогенераторов наиболее широко используются «Lurgi», которые работают по прямому процессу газогенерации.

*Газогенераторы прямого процесса* – самые первые и простые из разработанных аппаратов, используемых для газогенерации угля (рис. 1.4).

При данном процессе генераторный газ выходит сверху шахты, а подача газифицирующего агента – воздуха производится снизу. В нижней части идет процесс горения углистого остатка загружаемого материала, выделяется теплота и продукты сгорания ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ).

Основные плюсы данного газогенератора – простота конструкции, высокая степень сгорания топлива, возможность использовать уголь различного фракционного состава с различным содержанием влаги. При газогенерации вся зола окисляется. Процент содержания пыли в генераторном газе очень мал из-за

его низкой скорости на выходе из газогенераторной установки, а также вследствие «фильтрации» газа в зонах сушки и пиролиза.

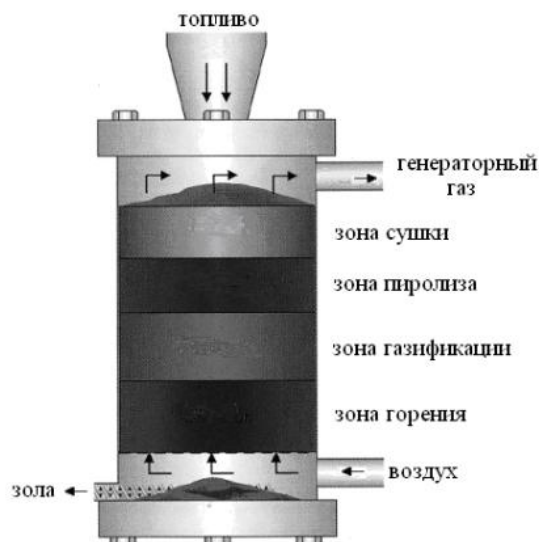


Рисунок 1.4 – Слоевой газогенератор прямого процесса газогенерации [26]

Главный минус слоевого газогенератора прямого процесса – большое количество смол в получаемом газе. Это можно объяснить тем, что отбор газов идет над зоной сушки загружаемого материала, где концентрация смол наиболее высокая.

### Процесс «Lurgi»

Процесс «Lurgi» [28] заключается в газогенерации угля размером 5...30 мм в неподвижном слое с использованием в качестве газифицирующего агента смесь пара и воздуха или пара и кислорода. Газогенераторная установка (рис. 1.5) представляет собой вертикально расположенный цилиндрический сосуд, давление которого составляет 2,5 МПа, с водяной рубашкой для защиты наружной несущей стенки. Пар, который образуется в рубашке, идет на газогенерацию. Внутри газогенератора имеется ворошитель и колосниковая решетка, под которую поступает окислитель. Сначала окислитель проходит сквозь слой горячего шлака, который располагается на решетке, и подогревается. Далее поступает в зону горения кокса (температура 1000-1200 °С). Далее горячие газы идут в зону газогенерации, где протекают реакции с поглощением теплоты, и температура газов снижается. При 700-850 °С реакции прекращаются, продукты газогенерации

участвуют в пиролизе сырого угля и уносят с собой выделившиеся продукты. Полученный газ отправляется в скруббер-холодильник, в котором он промывается водой и охлаждается.

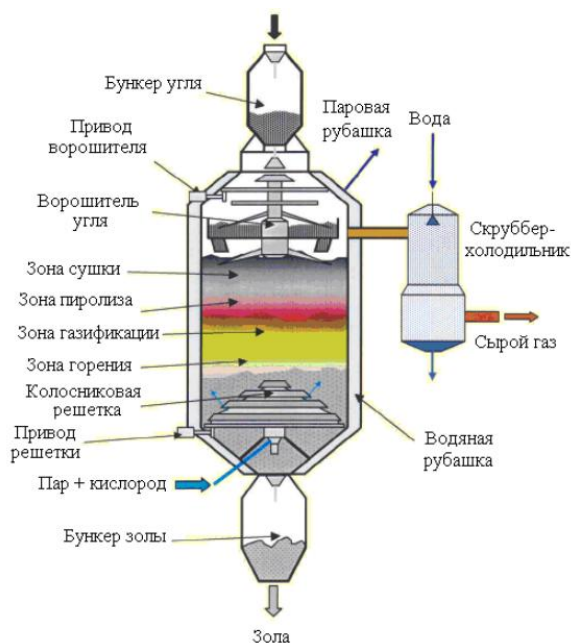


Рисунок 1.5 – Газогенератор «Lurgi» [28]

Особенность данной газогенераторной установки – получаемый газ отбирается по двум каналам. Благодаря этому одновременно можно получать газ с разными характеристиками.

Назначение ворошителя – препятствует агломерации угля и взрыхляет слой. Это способствует равномерному распределению газов в слое топлива.

Производительность газогенераторных установок типа «Lurgi» по топливу достигает нескольких тонн в час.

Недостатки процесса «Lurgi»:

1. Необходимо использовать угля определенной фракции;
2. Наряду с газогенерацией происходит пиролитическое разложение угля, продукты которого уносятся с газом, поэтому необходимо применять сложную системы очистки.

3. Огромное количество сточных вод, а также высокие затраты на их очистку.

Преимуществам процесса «Lurgi»:

1. Широкие масштабы внедрения газогенераторов типа «Lurgi»;



2. Газогенерация идет под давлением, поэтому в случае получения синтез-газа можно сэкономить на компрессии.

Состав получаемого газа зависит от температур. При использовании смеси пара и кислорода в качестве газифицирующего агента и жидкое шлакоудаление получают газ следующего состава (по объему): 58 % окиси углерода, 6 % диоксида углерода, 26 % водорода, 9 % метана и 1 % азота.

*Газогенераторы обращенного процесса.* При данном процессе газогенерации воздух подается в срединную часть газогенераторной установки – в зону горения, а полученный газ отводится из шахты в нижней ее части (рис. 1.6).

Пиролитическое разложение и подсушка загружаемого материала осуществляются в результате свободной конвекции горючих газов. Получившаяся в ходе процессов пиролитического разложения и подсушки смесь пара и газа проходит сверху вниз высокотемпературную зону горения загружаемого материала. В результате чего газ очищается от паров смол, затем, обтекая частицы углистого остатка загружаемого материала, газифицирует их, обогащается продуктами газогенерации и далее выходит из нижней части шахты газогенераторной установки.

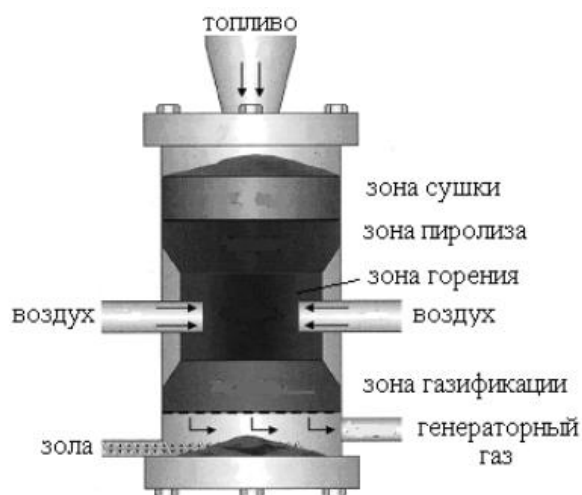


Рисунок 1.6 – Газогенератор обращенного процесса [26]

Преимущество газогенераторных установок данного типа – малое количество смол в получаемом газе. Газ после охлаждения может быть применен в ДВС.

*Газогенераторы поперечного процесса.* При поперечном процессе газогенерации газифицирующий агент – воздух подается внизу шахты газогенераторной установки с одной стороны, а образующаяся генераторный газ выходит через отверстия на противоположной стороне шахты (рис. 1.7).

Эти газогенераторы разработаны для газогенерации древесного угля при температуре 1500 °С. Главное преимущество – возможность работы при малых мощностях. Недостатки – малая производительность и большой процент содержания смол в получаемом газе. Из-за этого установки данного типа не получили широкого применения.

По механизму процессов газогенерации, термохимического разложения и подсушки процесс газогенерации с поперечным дутьем занимает промежуточное положение, между прямым и обращенным процессами.

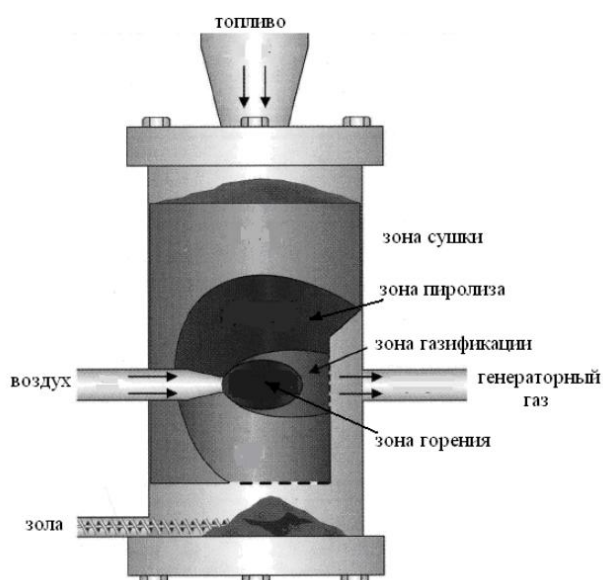


Рисунок 1.7 – Газогенератор поперечного процесса газогенерации [26]

### 1.2.2 Схема газогенерации в кипящем слое

В таких установках газифицирующим агентом является воздух или кислород, используется псевдооживленный или циркулирующий слой, частицы угля размером 0,5...5 мм, время пребывания в газогенераторе которых 10...100 с. Материал поступает в газогенераторную установку в восходящем потоке газа. Данный газ псевдооживляет топливо внутри газогенератора, обеспечивая большую площадь для взаимодействия углерода загружаемого материала и

окислителя. Обычно слой создается из угля, песка, сорбента и зольного остатка. Газогенераторные установки данного типа работают при более низких температурах, чем установки пылевого потока.

Газогенераторы, использующие в качестве окислителя воздух, производят горючий газ низкой теплотворной способности, а при использовании кислорода – средней. Некоторые установки кипящего слоя имеют подвод теплоты извне, пар применяется в качестве основного псевдоожижающего агента. Данными газогенераторами получают газ, богатый  $H_2$  средней теплотворной способностью. В данном случае не требуется установка по производству чистого  $O_2$ .

Недостаток газогенераторных установок кипящего слоя, по сравнению с газогенераторами пылевого потока, – это низкая конверсия углерода в одной стадии в связи с их более низкой температурой. Для того чтобы повысить скорость преобразования углерода необходимо чтобы недогоревшие угольные частицы либо возвращались обратно в газогенераторную установку либо сжигались в отдельном блоке – сепаратор пыли (гибридный цикл). В аппаратах данного типа отсутствуют системы охлаждения газа, т.к. они работают при более низких температурах, чем установки пылевого потока [26].

### Процесс «Winkler»

Дробленый и подсушенный уголь подают в кипящий, или псевдоожиженный слой газогенераторной установки (рис. 1.8). Для поддержания реакций некоторая часть загружаемого материала сжигается.

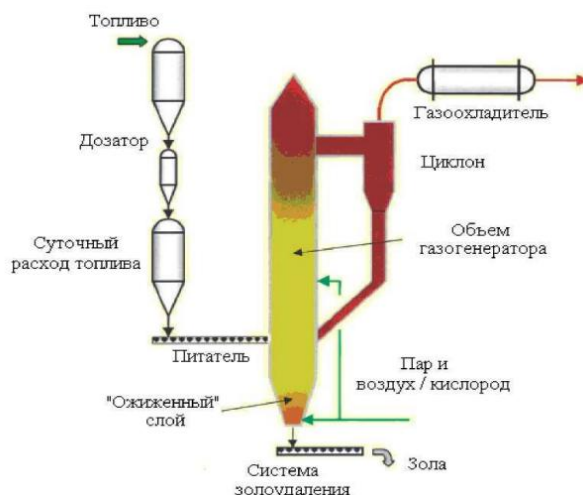


Рисунок 1.8 – Процесс «Winkler» [28]

Из-за особенностей процесса удаления золы, температура в реакторе не должна быть больше 1300 °С. Обычно она составляет 750...800 °С. Реакция идет при атмосферном или повышенном давлении (1-3 МПа). Это зависит от цели производимого генераторного газа. Конверсия углерода 85-90 %.

Преимущества технологии – высокая степень апробации этого метода, возможность использования мелких углей любых марок с высокой зольностью, отсутствие смолы и углеводородов.

Недостатки данной технологии – часть угля сжигается для поддержания реакции газогенерации; большое количество окиси углерода в горючем газе; внушительный унос частиц загружаемого материала с генераторным газом [28].

### 1.2.3 Схема газогенерации в пылевом потоке

На данный момент газогенераторные установки пылевого потока являются наиболее универсальными. Они широко применяются для выработки электрической энергии. В таких аппаратах используется кислородное дутье.

Газогенераторные установки пылевого потока используются для производства горючего газа, который может являться топливом на станциях с IGCC циклом, для получения электрической энергии, для производства чистого H<sub>2</sub> и синтеза химикатов.

В газогенераторную установку уголь подается в сухом виде или в виде суспензии. Размеры частиц должны быть менее 1 мм из-за короткого времени пребывания угольной пыли в газогенераторной установке.

Газогенераторы данного типа работают при повышенном давлении и температуре 1400-2000 °С. Благодаря высокой температуре велика конверсия углерода. Получается горючий газ средней теплотворной способности без содержания в нем фенолов и смол. Однако высокая температура отрицательно сказывается на горелках и материалах газогенераторной установки, уменьшая срок их службы и увеличивая эксплуатационные расходы. Рекомендуется применять угли низкой зольности и низкой температуры плавления [26].

Применение таких газогенераторных установок не целесообразно с экономической точки зрения в малых масштабах ввиду высоких капитальных затрат, связанных со строительством станции получения чистого  $O_2$  и применением дорогостоящих теплообменных аппаратов. Процесс газогенерации угля в пылевом потоке считается наиболее перспективной из всех существующих на сегодняшний день.

### Процесс «Shell» [28]

В газогенераторной установке «Shell» (рис. 1.9) выделяют 3 основные части:

- зона газогенерации, в которой загружаемый материал переходит в генераторный газ при участии кислорода и пара;
- газоохладитель, генерирующий пар высокого давления;
- система очистки газа, из которого удаляются остаточный углерод и зола.

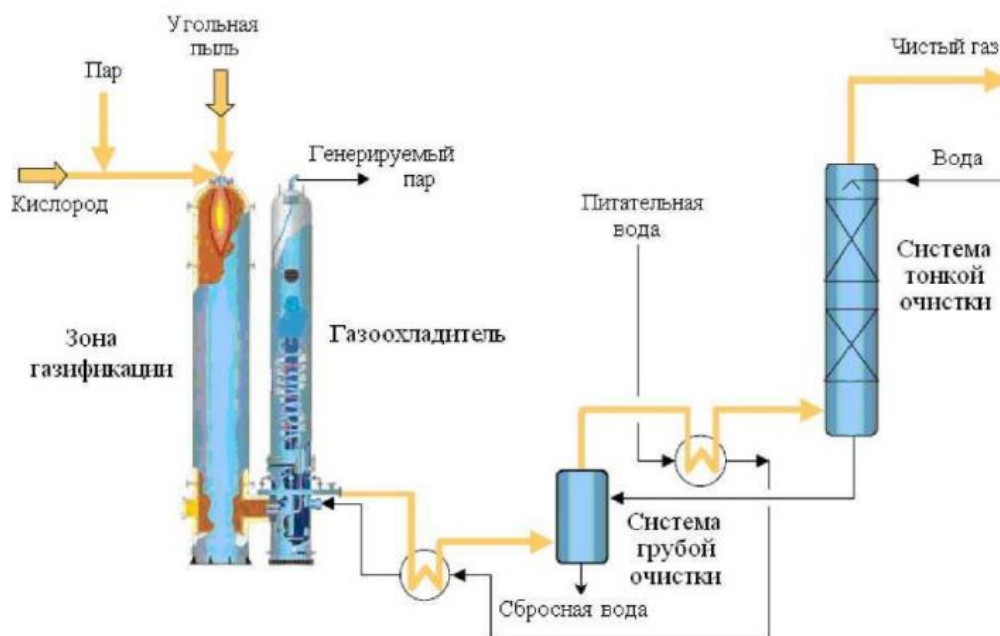


Рисунок 1.9 – Газогенератор «Shell» [28]

В газогенераторную установку сверху подается сухая угольная пыль с размером частиц  $< 100$  мкм (90%) и газифицируется в потоке при  $1450-1750$  °С и давлении  $3,1$  МПа, в результате чего образуется  $CO$  и некоторое количество  $CO_2$ , зола переходит в жидкий шлак. Поток создается горелками, которые располагаются друг напротив друга. Газифицирующий агент подогревается, для того чтобы сократить потребление чистого  $O_2$ , смешивается с водяным паром и

подается в горелку. Интенсивное смешение газифицирующего агента и угля обеспечивает высокую скорость реакций и степень конверсии углерода за малое время их пребывания в установке. Синтез-газ, получаемый в процесс газогенерации, состоит в основном из водорода, окиси углерода и следов метана.

Полученный газ и зола покидают газогенераторную установку при температуре 1400-1700 °С, газ охлаждается до 900 °С и поступает в теплообменник. Система очистки синтез-газа работает при 400 °С. Примерно 95% уловленного уноса возвращается в газогенератор, повышая степень конверсии загружаемого материала.

### 1.3 Характеристика продуктов газогенерации угля

При газогенерации угля выделяется генераторный газ, а также образуются побочные продукты, такие как  $\text{NH}_3$ , сжижаемые углеводороды и другие органические соединения, содержащиеся в газе, конденсаты и сера.

#### 1.3.1 Генераторный газ

При газогенерации угля образуется генераторный газ. Для получения этого газа применяют такие окислители как  $\text{O}_2$  воздуха, водяной пар, чистый  $\text{O}_2$ , а также смесь пара и воздуха или пара и кислорода. Состав дутья подбирается таким образом, чтобы тепла, выделяющегося в реакциях с выделением теплоты, хватило для протекания всего процесса.

В зависимости от применяемого газифицирующего агента и режима газогенерации получают следующие газы:

*Генераторный, или воздушный, газ*, получаемый при воздушном дутье. Основным при получении этого газа является стремление превратить возможно полное весь углерод топлива в монооксид углерода, для этого подводят воздух к загружаемому материалу в достаточном только для образования  $\text{CO}$  количестве.

Состав генераторного газа зависит от следующих параметров: температуры, давления, длительности взаимодействия, реакционной способности топлива и т. п.

Получаемый газ состоит в основном из CO (25%), N<sub>2</sub> (70%) и некоторого количества CO<sub>2</sub> (4%). Рабочая теплотворная способность данного генераторного газа ~ 1050 ккал/м<sup>3</sup>. Его можно использовать в котлах и двигателях внутреннего сгорания, но он не пригоден для сжигания в газовых турбинах и для транспортировки по трубопроводам на большие расстояния.

*Кислородный генераторный газ*, получаемый при кислородном дутье. При использовании технического 98% O<sub>2</sub> получают газ с содержанием 95-97% CO. Этот газ применяют главным образом как химическое сырье органического синтеза.

*Водяной газ*, получаемый при подаче в слой угля водяного пара.

Так как получение данного газа сопровождается поглощением теплоты, то процесс его получения чередуется с получением воздушного или кислородного газа, что позволяет поддерживать уголь в раскаленном состоянии. Водяной газ при таком способе получения содержит в среднем 44% окиси углерода, 45% водорода, 5% углекислоты, 6% азота. Водяной газ является хорошим топливом и химическим сырьем, используется для синтеза NH<sub>3</sub>.

*Смешанный генераторный газ*, получаемый при одновременном использовании пара и воздуха в качестве реагирующих газов. Получаемый газ состоит из 30% монооксида углерода, 15% водорода; 5% диоксида углерода и 50% азота [29].

### 1.3.2 Аммиак

Д.М. Гинзбург в работе [21] отмечает, что содержание азота в топливе обычно невелико и в редких случаях превышает 3%. Как правило, уголь содержит тем больше азота, чем больше в нем летучих веществ, в особенности же кислорода.

Азот загружаемого материала при газогенерации в основном переходит в газ в виде N<sub>2</sub> и NH<sub>3</sub>. Некоторая часть азота переходит в смолу.

Азот, который содержится в топливе, является единственным источником образования NH<sub>3</sub>, соответственно, чем больше его в топливе, тем вероятнее высокий выход NH<sub>3</sub>.

Поступающее в газогенератор топливо подвергается постепенному нагреву, причем сначала происходит сухая перегонка с выделением летучих веществ (за счет тепла нагретых газов, идущих снизу), а затем уже газогенерация коксового остатка. Поэтому все количество образовавшегося  $\text{NH}_3$  можно рассматривать полученным в две стадии: при сухой перегонке топлива и при последующей газогенерации кокса. Эти стадии могут перекрывать друг друга. Всё зависит от количества летучих веществ, конструкций генератора и количества воздуха и пара в подаваемой под колосники газогенератора паровоздушной смеси.

### 1.3.3 Смолы и конденсаты

Получаемая при газогенерации любого битуминозного топлива смола по своему характеру в зависимости от процесса и типа газогенератора может быть первичной или вторичной.

Первичные смолы получают в тех случаях, когда топливо, загружаемое в генератор, не поступает сразу в зону высоких температур, а подвергается постепенному и медленному нагреву.

Генераторный газ, который проходит через зону возгонки, не должен быть перегретым, а выделяющаяся смола не должна оседать на холодных частях топлива в верхних частях газогенераторной установки. В противном случае сконденсировавшаяся на топливе смола начнет снова перегоняться и таким образом в некоторой степени разложится.

Получаемые смолы обладают признаками первичных смол и незначительно отличаются по своему составу и свойствам от низкотемпературных смол, полученных в аппаратах, работающих под вакуумом.

Вторичные смолы получают тогда, когда холодные куски загружаемого в газогенераторную установку материала тут же поступает в высокотемпературную зону ( $450\text{ }^\circ\text{C}$  и выше) и подвергаются резкому нагреву.

Разложение смол происходит частично в токе горячих газов, поднимающихся из нижней части газогенератора, частично на нагретых поверхностях кусков



топлива. Вследствие происходящего разложения выход вторичных смол из одного и того же топлива, как правило, значительно ниже, чем первичных.

Вторичные смолы, получаемые в газогенераторах, отличаются высоким содержанием ароматических и ненасыщенных циклических углеводородов и по своему составу и свойствам приближаются к смолам, получаемым в коксовальних установках.

О выходе смолы из какого-либо вида топлива нельзя судить по его элементарному анализу и по содержанию в нем летучих, так как последние для различных видов топлив в процессе термического разложения ведут себя различно.

*Каменноугольная смола.* Выходы и состав первичной каменноугольной смолы в сильнейшей степени зависят от природы угля.

Из табл. 1.2 видно, что выход смолы увеличивается с переходом от тощих к длиннопламенным углям, причем одновременно растет и содержание фенолов в первичной смоле.

Таблица 1.2 – Выход первичной смолы

Угли	Выход первичной смолы в %	Фенолов в первичной смоле в %
Тощие	~ 1,5	0
Жирные	~ 3,5	15÷20
Газовые	~ 8,0	~ 30
Длиннопламенные	~ 12,8	~ 45

Таким образом, по содержанию фенолов в первичной смоле можно сказать о возрасте загружаемого топлива.

При термоллизе каменных углей образование смолы начинается в некоторых случаях уже при температуре около 250 °С, однако обычно первые погоны появляются при температуре 350÷400 °С.

Основным признаком первичности каменноугольной смолы считается отсутствие в ней нафталина и содержание лишь незначительных количеств бензола и карболовой кислоты. Фенолы первичной каменноугольной смолы

состоят главным образом из высших гомологов карболовой кислоты. Количество же самой карболовой кислоты составляет только десятые доли процента.

Состав фенолов первичной смолы, полученной из газового – пламенного угля (в % от веса смолы) [25]:

карболовая кислота.....	0,06
крезолы.....	1÷2
ксиленолы.....	1÷2
пирскатехин.....	0,25
фенолы, кипящие выше ксиленолов.....	30÷32
кислые смолы.....	10

При разложении первичной смолы, в результате крекинга высших фенолов получается карболовая кислота, ее количество в смоле возрастает. Поэтому вторичные смолы содержат большой процент содержания карболовой кислоты.

Вторичные каменноугольные смолы отличаются высоким содержанием бензола, нафталина, тиофена, и антрацена. Особого внимания заслуживает высокое содержание нафталина.

Смолы, получаемые при газогенерации каменных углей, обладают относительно малым удельным весом по сравнению с другими промышленными видами смол. Смолы газогенераторов по составу отличаются от смол коксовых заводов. Однако на данный момент применение этих смол поставлено далеко не удовлетворительно. Чаще всего они употребляются после обезвоживания в качестве жидкого топлива, хотя ценность отдельных продуктов никак не определяется их тепловым эффектом при сжигании. Целесообразно использовать комплексно-химическую переработку. Она позволяет выделить из смолы отдельные ценные продукты, такие как фенолы, смазочные масла, моторное топливо и т.д., которые находят себе применение в различных отраслях промышленности. Так например, фенолы могут быть использованы в производстве дезинфекционных средств, для изготовления пластмасс, для

предохранения дерева от гниения и т.д; пек – в дорожном строительстве и для брикетирования.

В горячем неочищенном газе, покидающем генератор, помимо веществ, определяемых при помощи обычного газового анализа, содержатся влага, смола, пылеобразные частицы топлива и сажа. Теплосодержание (физическое тепло) последних трех из перечисленных агентов, как правило, очень невелико и значительно меньше теплосодержания газа и влаги. Влага, находящаяся в газе, образуется благодаря:

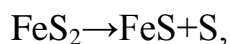
- неразложенному водяному пару, добавляемому к воздушному дутью;
- влаге загружаемого материала;
- пирогенетической воде – продукту термолиза загружаемого топлива.

При охлаждении газа выделившаяся пирогенетическая вода вместе с парами смолы конденсируются, а далее после отстаивания расслаиваются [29].

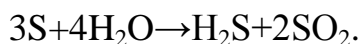
#### 1.3.4 Сера

Содержание серы в отходящем генераторном газе зависит главным образом от ее количества в топливе и может меняться в очень широких пределах. Сера содержится в топливе в форме различных неорганических и органических соединений. Серу топлива принято разделять на минеральную серу, связанную с неорганическим веществом угля – золой, и органическую серу, связанную с органической массой угля. Минеральную обычно делят на серу пиритную и сульфатную.

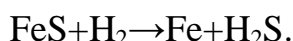
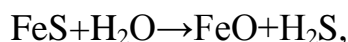
До сих пор природа серы в угле и ее превращения при различных процессах переработки не вполне изучены. Картина превращений сернистых соединений в значительной степени меняется в зависимости от способа переработки угля, режима процесса, вида загружаемого материала, общего содержания серы в угле и относительных количеств различных ее видов. Поступающее в генератор топливо начинает выделять  $H_2S$ . Его образование идет по реакциям, приведенным ниже. При нагревании пиритная сера разлагается с образованием элементарной серы



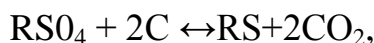
которая в присутствии водяного пара гидрализуется по следующему уравнению:



Образовавшаяся  $\text{SO}_2$  восстанавливается водородом газа в  $\text{H}_2\text{S}$ . Одновременно идет образование  $\text{H}_2\text{S}$  из сульфида.



Сульфатная сера восстанавливается углеродом до сульфидной,



которая под влиянием водяных паров и водорода может образовывать новые количества  $\text{H}_2\text{S}$  или же в небольшом количестве окисляться обратно в сульфатную.

Для каменных углей выделение сероводорода начинается при  $300\text{ }^\circ\text{C}$ .

Превращения органической серы начинаются с наиболее низких температур и продолжаются до конца перегонки. Органическая сера в основном переходит в сероводород и лишь отчасти в сернистые соединения смолы. Разложение пиритной серы начинается в интервале температур  $300\div 400\text{ }^\circ\text{C}$  и полностью заканчивается при  $600\text{ }^\circ\text{C}$ . В интервале температур до  $500\text{ }^\circ\text{C}$  выделяется около 85% всего сероводорода. Поэтому газы низкотемпературной перегонки углей всегда содержат много сероводорода [26].

Представляет интерес изучение свойств и показателей качества конденсата, образующегося при эксплуатации нового газогенератора, запущенного в п. Раздолинск, Мотыгинский район, Красноярский край.

## 2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Объект исследования

Объект исследования – конденсат газогенерации кускового каменного угля, полученный с газогенераторной установки (п. Раздолинск, Мотыгинский район, Красноярский край).

### 2.2. Методы исследования

#### 2.2.1 Метод определения плотности ареометром [2]

Сущность метода заключается в погружении ареометра в исследуемый материал и снятии показания по шкале ареометра при температуре 20 °С.

#### 2.2.2 Метод определения массовой доли влаги [3]

Сущность метода заключается в высушивании исследуемого материала до постоянной массы при  $(105 \pm 2)$  °С.

Две пробы исследуемого материала массой по 1 г помещают в тигли с крышками, устанавливают в муфельную печь и высушивают в течение 1 часа при температуре  $105 \pm 2$  °С; по истечению часа тигли извлекают и охлаждают сначала на воздухе в течение 5 минут, а затем в эксикаторе до комнатной температуры. После охлаждения закрытые тигли взвешивают на аналитических весах. Далее производят контрольные высушивания продолжительностью по 30 минут. Высушивание повторяют до тех пор, пока разница между весами не станет менее 0,001 г или же не начнет увеличение веса. В последнем случае при вычислении используют вес, предшествовавший увеличению.

Содержание влаги в аналитической пробе в % ( $W^a$ ) вычисляют по формуле:

$$W^a = \frac{G - G_1}{G} \cdot 100, \%$$

где  $G$  – навеска пробы до высушивания, г.

$G_1$  – навеска пробы после высушивания, г.

Расхождение между результатами параллельных определений содержания влаги не должно превышать 0,2%.

За результат определения принимают среднее арифметическое результатов двух параллельных определений.

### 2.2.3 Метод определения выхода летучих веществ [4]

Сущность метода заключается в нагревании пробы конденсата газогенерации в фарфоровом тигле с крышкой, при температуре 840-860°C в течении 7 мин и определении выхода летучих веществ по разности между общей потери массы исследуемого материала и потери вследствие испарения влаги.

Две навески массой  $1 \pm 0,01$  г помещают в предварительно взвешенные тигли. Далее тигли с навесками конденсата газогенерации, закрытые крышками, помещают в печь и выдерживают в печи в течении 7 мин. Через 7 мин тигли вытаскивают, охлаждают и взвешивают.

Выход летучих веществ из пробы исследуемого материала в процентах, вычисляют по формуле:

$$V_a = \frac{100(m_2 - m_3)}{m_2 - m_1} - W^a$$

где  $m_1$  – масса пустого тигля, г;

$m_2$  – масса тигля с пробой до испытания, г;

$m_3$  – масса тигля с нелетучим остатком после испытания, г;

$W^a$  – массовая доля влаги в аналитической пробе исследуемого материала, %.

### 2.2.4 Метод определения массовой доли серы по методу Эшка [5]

Сущность данного метода заключается в спекании пробы исследуемого материала со смесью Эшка при температуре  $(800 \pm 25)^\circ\text{C}$ . Происходит сгорание органической массы исследуемого материала и превращение серы в сульфаты натрия и магния, которые далее растворяют в горячей воде. В растворе сульфат-ионы определяют гравиметрическим методом. Массовую долю общей серы в исследуемом материале рассчитывают, исходя из массы осадка  $\text{BaSO}_4$ .

Две навески массой 1 г помещают в предварительно взвешенные тигли. Добавляют в каждый тигель 2 г порошка смеси Эшка и тщательно перемешивают. Содержимое тигля покрывают еще 1 г смеси Эшка. Тигли помещают в холодную муфельную печь, которую постепенно в течение 2-2,5 часов нагревают до 800-850°C и выдерживают при этой температуре 1,5-2 часа. После охлаждения содержимое тигля переносят в стакан. Наливают в стакан 150 мл горячей дистиллированной воды, стенки тигля тщательно обмывают горячей водой, сливают промывную воду в тот же стакан, далее раствор отфильтровывают. К полученному раствору прибавляют 2-3 капли раствора метилоранжа и осторожно нейтрализуют концентрированной соляной кислотой, чтобы не произошло потерь раствора при бурном выделении углекислоты. Далее вводят по 4 мл концентрированной HCl, нагревают до кипения, приливают 10 мл 5%-ного раствора BaCl<sub>2</sub>. Раствор с осадком ставят на водяную баню (на 2 часа), далее в раствор добавляют 2-3 мл пикриновой кислоты. Перемешивают. Охлаждают. Осадок отфильтровывают на плотный беззольный фильтр «синяя лента». Затем промывают осадок на фильтре горячей водой. Фильтр с осадком помещают в тигель, слегка уплотняют, надавливая пальцем. Высушивают фильтр на электроплитке, осторожно обугливают и озоляют, не давая ему воспламениться. После озоления фильтра прокаливают тигель с осадком в муфельной печи (при 800-850°C в течение 20 мин). После чего охлаждают и взвешивают.

Общее содержание серы в пробе исследуемого материала вычисляют по формуле:

$$S_{\text{об}} = \frac{(V_1 - V) \cdot 0,1373 \cdot 100}{n}, \%$$

где  $V_1$  – вес тигля с осадком сульфата бария, в г;

$V$  – вес пустого тигля, в г;

0,1373 – коэффициент пересчета веса BaSO<sub>4</sub> на серу;

$n$  – навеска, в г.

### 2.2.5 Метод определения зольности [6]

Сущность метода заключается в озолении навески конденсата газогенерации в муфельной печи и прокаливании зольного остатка до постоянной массы при температуре 800-830°C.

Две навески массой  $1 \pm 0,01$  г помещают в предварительно взвешенные тигли. Тигли с навесками ставят на пол муфельной печи, нагретой в течение 30 минут до 500°C. Закрывают дверцу и постепенно, в течение 30-60 минут повышают температуру до 800-830°C. При указанной температуре прокаливают зольный остаток в течение 1,5 часов. После этого тигли извлекают из печи, охлаждают и взвешивают. После этого тигли с зольным остатком прокаливают в течение 30 минут и определяют изменение массы.

Зольность аналитической пробы в % ( $A^a$ ) вычисляют по формуле:

$$A = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} 100, \%$$

где  $m_1$  – масса прокаленной лодочки (тигля), г;

$m_2$  – масса лодочки (тигля) с навеской исследуемого материала, г;

$m_3$  – масса лодочки (тигля) с остатком после прокаливания навески исследуемого материала, г.

### 2.2.6 Метод определения содержания веществ, нерастворимых в толуоле ( $\alpha$ -фракция) [7]

Сущность метода заключается во взвешивании некоторой части навески исследуемого материала, которая после кипячения не растворяется в толуоле.

Конденсат газогенерации тщательно перемешивают и отбирают навеску массой 1 г. Цилиндром отмеряют 100 мл толуола, наливают 10-20 мл в коническую колбу, приготовленную для анализа, в эту же колбу переносят навеску исследуемого материала и добавляют оставшийся толуол. Колбу соединяют с обратным холодильником, нагревают на песчаной бане и кипятят в течение часа. Далее берут 2 фильтра для навески и две четвертинки фильтра,



смачивают их в толуоле и сушат в сушильном шкафу при 120°C до постоянной массы. Взвешивают. По истечении часа содержимое колбы в горячем состоянии профильтровывают через стеклянную воронку с двумя фильтрами, подготовленными, как указано в п.4. Остаток в колбе смывают в воронку нагретым до кипения толуолом. Осадок на фильтре промывают небольшими порциями горячего толуола. Фильтры с осадком помещают в сушильный шкаф и высушивают при температуре 120°C до постоянной массы, охлаждая в эксикаторе и взвешивая на аналитических весах.

Содержание веществ, нерастворимых в толуоле ( $\alpha$ -фракция), в процентах определяют по формуле:

$$X = \frac{(m_1 - m_2) \cdot 100}{m} - A$$

где  $m$  – масса навески конденсата газогенерации, г;

$m_1$  – масса фильтра с осадком, г;

$m_2$  – масса фильтра, г;

$A$  – зольность, %.

### 2.2.7 Метод перегонки с постепенным испарением [8]

Сущность метода заключается в перегонке 100 мл исследуемого материала и проведении постоянных наблюдений за показаниями термометра и объемами конденсата.

Отмеряют 100 мл исследуемого материала и переносят в колбу Вюрца, которую закрывают пробкой с термометром и через отводную трубку соединяют с холодильником. В качестве приемника используют четыре предварительно взвешенных стакана. Колбу Вюрца нагревают, отмечают начало кипения (н.к.) первой фракции и отбирают первую фракцию. При температуре отгоняющихся паров 100°C колбу-приемник меняют. Аналогично отбирают следующие фракции. Стаканы с дистиллятами взвешивают и по разности определяют массу каждой фракции, далее определяют объем и рассчитывают плотность. Плотность полученных фракций вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ г/см}^3$$

где  $m$  – масса дистиллята, г;

$V$  – объем дистиллята,  $\text{см}^3$ .

### 3 ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА КОНДЕНСАТА ГАЗОГЕНЕРАЦИИ КУСКОВОГО КАМЕННОГО УГЛЯ

Конденсат газогенерации представляет собой вязкую жидкость темного цвета с резким запахом, при нагревании вязкость снижается, горит коптящим пламенем. Конденсат газогенерации не смачивается водой (рис. 3.1) (образуется эмульсия типа масло в воде; при введении ПАВ происходит пептизация эмульсии – дезагрегация осадка из слипшихся частиц на отдельные коллоидные частицы).

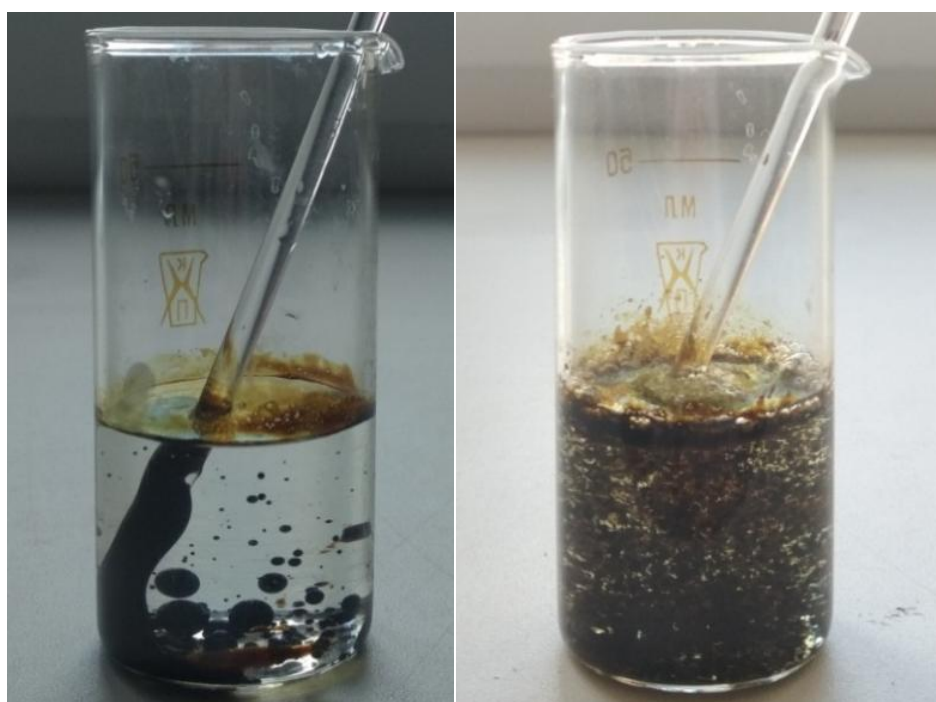


Рисунок 3.1 – Эмульсия типа масло в воде до и после добавления ПАВ

3.1. Определение показателей качества конденсата газогенерации (далее по тексту конденсат)

#### 3.1.1 Определение плотности ареометром

Плотность конденсата газогенерации определяли по методике, описанной в главе 2 (п.2.2.1). Измерение плотности при 20 °С проводили два раза. Первое – 25 марта 2020 г. ( $\rho = 0,975 \text{ г/см}^3$ ), повторное измерение – 21 мая 2020 г. ( $\rho = 1,030 \text{ г/см}^3$ ). Отсюда следует, что при хранении плотность конденсата увеличивается, вероятно, происходит процесс полимеризации.

### 3.1.2 Определение массовой доли влаги

Определение массовой доли влаги проводили в соответствии с методикой, описанной в главе 2 (п.п. 2.2.2).

Две параллельные пробы конденсата сушили в муфельной печи при температуре 143 °С – 60 мин.

Навеска пробы 1 до высушивания  $G = 1,0028$  г; после сушки  $G_1 = 0,9673$  г.

$$W^a = \frac{1,0028 - 0,9673}{1,0028} \cdot 100 = 3,54 \%$$

Навеска пробы 2 до высушивания  $G = 1,0071$  г; после сушки  $G_1 = 0,9715$  г.

$$W^a = \frac{1,0071 - 0,9715}{1,0071} \cdot 100 = 3,53 \%$$

Расхождение между результатами параллельных определений не превышает 0,2 %. Среднее арифметическое значение двух определений  $W^a = 3,54 \%$ .

### 3.1.3 Определение выхода летучих веществ

Определение выхода летучих веществ проводили в соответствии с методикой, описанной в главе 2 (п.2.2.3).

Время выдержки проб конденсата в муфельной печи при температуре 840°С составило 7 мин. После загрузки тиглей с навесками в муфельную печь температура понизилась до 823°С, спустя 15 секунд начал выделяться черный дым, который прекратился через 35 секунд.

1) Масса пустого тигля  $m_1 = 30,8893$  г; с пробой до испытания  $m_2 = 31,8979$  г; после испытания с нелетучим остатком  $m_3 = 30,8927$  г.

$$V_a = \frac{100(31,8979 - 30,8927)}{31,8979 - 30,8893} - 0,17 = 99,49 \%$$

2) Масса пустого тигля  $m_1 = 36,4819$  г; с пробой до испытания  $m_2 = 37,5151$  г; после испытания с нелетучим остатком  $m_3 = 36,4880$  г.

$$V_a = \frac{100(37,5151 - 36,4880)}{37,5151 - 36,4819} - 0,17 = 99,24 \%$$

За результат определения принимаем среднее арифметическое значение результатов двух определений  $V_a = 99,37 \%$ .

#### 3.1.4 Определение массовой доли серы по методу Эшка

Определение содержания массовой доли серы по методу Эшка проводили в соответствии с методикой, описанной в главе 2 (п.2.2.4).

В ходе работы при добавлении 5%-ного раствора хлористого бария к раствору содержимого тигля – не выпал осадок (рис.3.2), что свидетельствует об отсутствии серы в аналитической пробе конденсата. По-видимому, это из-за того, что исследуемый материал проходит зону сероудаления.



Рисунок 3.2 – Растворы содержимого тигля при добавлении 5%-ного раствора хлористого бария

#### 3.1.5 Определение зольности

Определение зольности проводили в соответствии с методикой, описанной в главе 2 (п.2.2.5).

Время выдержки проб конденсата в печи составляло 1 ч 30 мин при температуре 850 °С.

1) Масса пустого тигля  $m_1 = 17,5310$  г; с пробой до испытания  $m_2 = 18,5396$  г; после испытания  $m_3 = 17,5310$  г.

$$A = \frac{17,5310 - 17,5310}{18,5396 - 17,5310} 100 = 0 \%$$

2) Масса пустого тигля  $m_1 = 23,7004$  г; с пробой до испытания  $m_2 = 24,7364$  г; после испытания  $m_3 = 23,7000$  г.

$$A = \frac{23,7000 - 23,7004}{24,7364 - 23,7004} 100 = 0 \%$$

За результат определения принимаем среднее арифметическое значение результатов двух определений  $A = 0 \%$ .

### 3.1.6 Определение содержания веществ, нерастворимых в толуоле ( $\alpha$ -фракция)

Определение содержания веществ, нерастворимых в толуоле ( $\alpha$ -фракция), проводили в соответствии с методикой, описанной в главе 2 (п.2.2.6).

Масса навески конденсата  $m = 1,08$  г; масса фильтра с осадком  $m_1 = 4,70$  г; масса фильтра  $m_2 = 4,36$  г.

Содержание веществ, нерастворимых в толуоле ( $\alpha$ -фракция), в процентах:

$$X = \frac{(4,70 - 4,36) \cdot 100}{1,08} = 31,48 \%$$

### 3.1.7 Перегонка конденсата газогенерации с постепенным испарением

Перегонку с постепенным испарением конденсата и определение плотности фракций проводили в соответствии с методикой, описанной в главе 2 (п.2.2.7).

Результаты эксперимента представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Материальный баланс фракционной перегонки конденсата

Название продукта (фракции)	Пределы кипения, °С	Объем, см <sup>3</sup> , мл	Масса, г	Плотность, г/см <sup>3</sup>		Выход, %
				расчетн.	эскп.	
Взято: Конденсат			98,250		1,030	100
Получено:						
1.	н.к. - 100	2,5	2,15	0,860		2,19
2.	100-150	0,08	0,14			0,14
3.	150-200	0,36	0,44			0,45
4.	200-280	26,5	24,835	0,937		25,28
5.	250-290	6,5	6,285	0,967		6,40
Остаток			63,965			65,10
Потери			0,435			0,44
Всего			98,250			100

Кривая ИТК конденсата имеет монотонный характер, что свидетельствует о равномерном выкипании смеси (рис. 3.3).

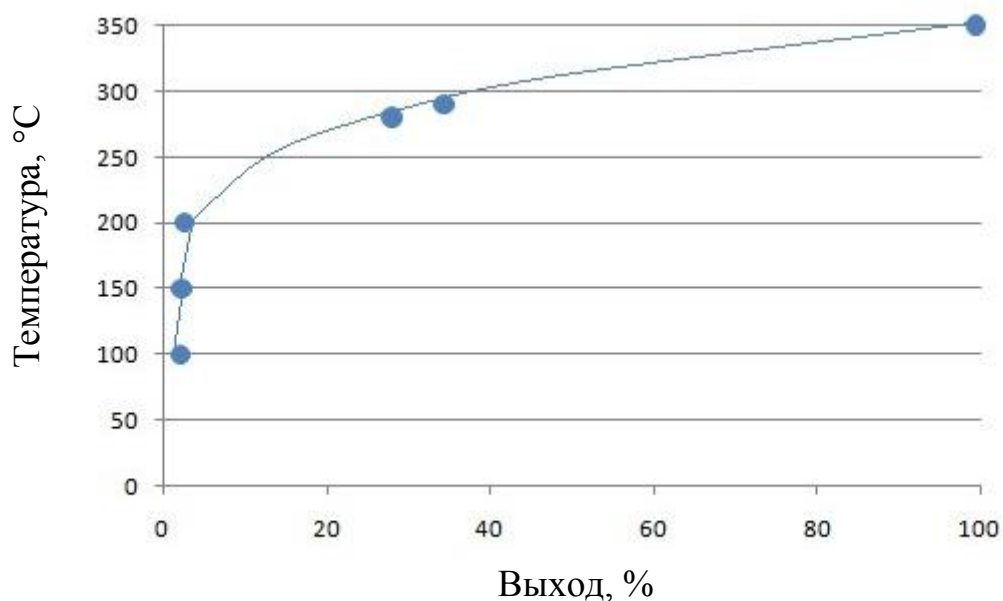


Рисунок 3.3 – Кривая ИТК конденсата газогенерации

Фракция, выкипающая до 100, представляет собой жидкость светло желтого цвета (рис. 3.4, а). По запаху напоминает бензин марки АИ 76. Выход фракции с температурой н.к. - 100 °С составил 2,2 %.

Выход фракции 100-150 °С и фракции 150-200 °С ничтожно мал и составляет 0,59 %, цвет жидкости – слегка коричневый (рис. 3.4, б, в).

Фракция 200-280 °С, выход которой 25,3 %, представляет собой жидкость темно оранжевого цвета (рис. 3.4, г) По запаху данная фракция напоминает дизельное топливо.

Фракция 250-290 °С по внешнему виду практически ничем не отличается от предыдущей фракции. Отличается лишь плотностью, которая растет с увеличением температуры их кипения.

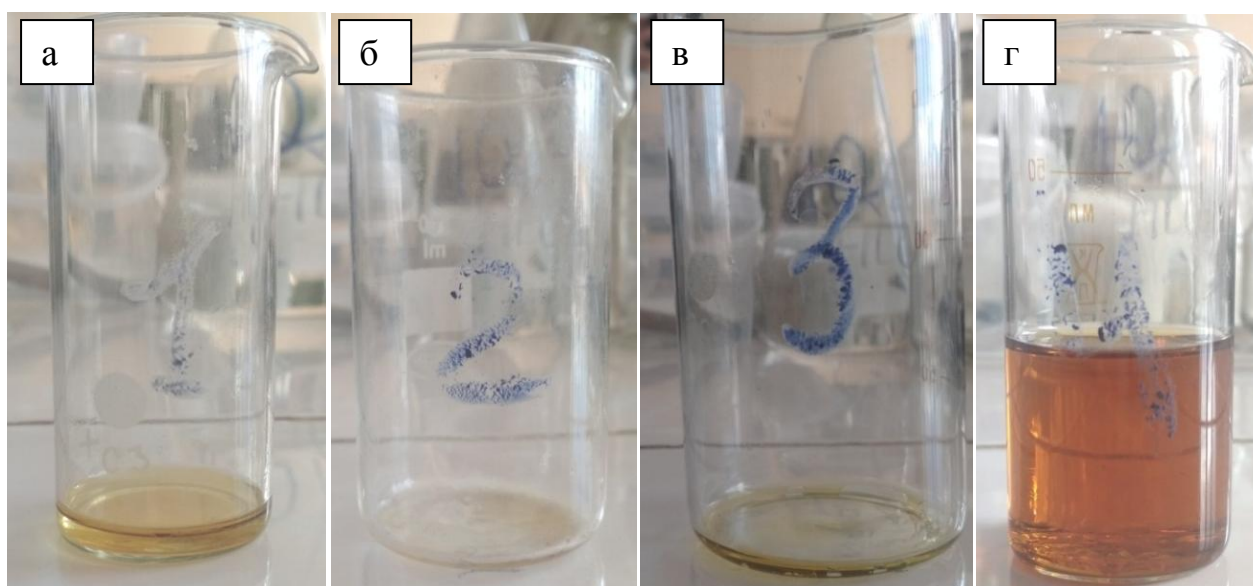


Рисунок 3.4 – Фракции, полученные при перегонке конденсата:  
а – н.к. - 100 °С; б – 100-150 °С; в – 150-200 °С; г – 200-280 °С

Через 20 ч все отобранные фракции потемнели, по-видимому, в процессе окисления (рис. 3.5), а в колбе Вюрца образовалось черное вещество матового оттенка по внешнему виду аналогичное пеку (рис. 3.6).





Рисунок 3.5 – Фракции конденсата газогенерации спустя 20 ч

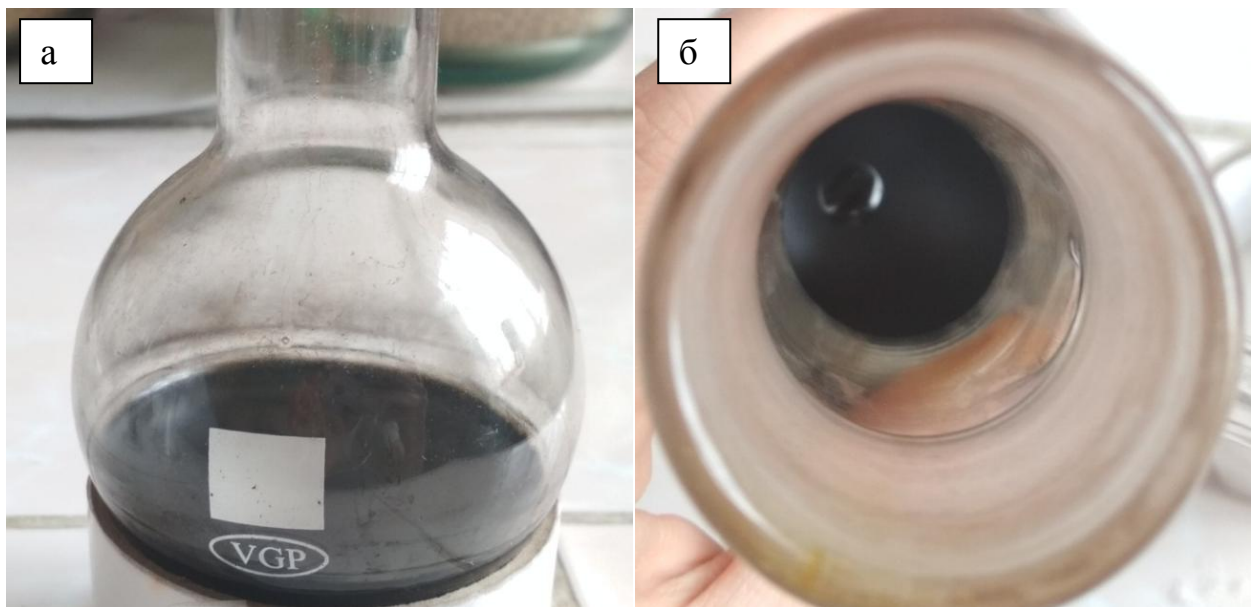


Рисунок 3.6 – Остаток перегонки конденсата газогенерации:  
а – вид спереди; б – вид сверху (снимок сделан из отверстия колбы)

Характеристика конденсата газогенерации кускового каменного угля представлена в сводной таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Сводная таблица показателей качества конденсата

Показатели	Единицы измерения	Значение показателя
Плотность при 20 °С	г/см <sup>3</sup>	1,030
Массовая доля воды	%	3,54
Выход летучих веществ	%	99,37
Массовая доля серы	%	0
Зольность	%	0
Массовая доля веществ, нерастворимых в толуоле ( $\alpha$ -фракция)	%	31,48
Выход фракций при перегонке до 100 °С	%	2,19
100-150 °С	%	0,14
150-200 °С	%	0,45
200-280 °С	%	25,28
250-290 °С	%	6,40
Остаток (пекообразное вещество)	%	65,10

### 3.2 Сравнительная характеристика каменноугольной смолы коксования и конденсата газогенерации

Каменноугольная смола – вязкая жидкость черного цвета, продукт пирогенетического разложения первичной смолы при 850-950 °С. Выход смолы 2,8-3,5 % от массы сухой угольной шихты [27].

#### Характеристика каменноугольной смолы

Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup> .....	1,180-1,220
Содержание веществ, нерастворимых в толуоле, %.....	7,1-8
Нафталин .....	7,0-10,7

Фенолы .....	0,6-2,2
Антрацен (сырой).....	4,4-5,5
Хинолиновые основания.....	1-3
Влагосодержание, %.....	2,5
Зольность, %.....	0,1

Разделение смолы на фракции производится в ректификационных колоннах. К.И. Сысков приводит следующие данные (табл. 3.3).

Таблица 3.3 – Параметры отбора фракций при переработке смол

Фракции	Выход от смолы, %	Температура отбора, °С	Содержание, %		
			нафталина	фенолов	оснований
Легкая	0,6	80-165	2,0	0,5	0,8
Фенольная	2,5	165-210	18,0	38,0	6,2
Нафталиновая	10,0	210-230	82,0	6,0	3,8
Поглотительная	9,5	230-270	8,0	5,0	4,5
Антраценовая:					
I	17,4	270-320	2,5	–	–
II	8,0	320-360	1,5	–	–
Пек	52,0	>360	–	–	–

Сравнительная характеристика каменноугольной смолы коксования и конденсата газогенерации представлена в сводной таблице 3.4.

Каменноугольная смола коксования на коксохимических производствах перерабатывается в другие продукты, такие как бензол, толуол, каменноугольный пек и др. Для сравнения использовали данные ТУ У 23.1-00190443-100:2007 с изм. 1, 2 «Смола каменноугольная» (ПАО Ясиновский коксохимический завод) и ТУ 2453-203-00190437-2005 ОАО «Кокс» г. Кемерово.

Таблица 3.4 – Сравнительная характеристика каменноугольной смолы коксования и конденсата газогенерации

Наименование показателя	Каменноугольная смола		Конденсат газогенерации
	ПАО Ясиновский коксохимический завод	ОАО «Кокс»	
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> , не более	1190-1220	1184	1030
Массовая доля воды, %, не более	3,0-4,0	4,0	3,5
Массовая доля веществ, нерастворимых в толуоле, %, не более	8,0-13,0	11,0	31,5
Массовая доля веществ, нерастворимых в хинолине, %, не более	3,0-6,0	4,0	не определяли
Массовая доля серы, %, не более	нет данных	0,40	0
Зольность, %, не более	0,08-0,10	0,10	0

#### Выводы по разделу три

1. Проведено исследование конденсата газогенерации кускового каменного угля, полученного с газогенераторной установки (п.Раздолинск, Мотыгинский район, Красноярский край).

2. Изучены методы и экспериментально определены следующие показатели качества: плотность (1,030 г/см<sup>3</sup>), массовая доля влаги (3,54 %), выход летучих веществ (99,37 %), массовая доля серы по методу Эшка (0 %), зольность (0 %), содержание веществ, нерастворимых в толуоле (31,48 %). Представляет интерес, что конденсат беззольный, бессернистый.

3. В результате перегонки конденсата с постепенным испарением получен следующий фракционный состав:

выход фракций при перегонке, %

до 100 °С.....	2,2
100-290 °С.....	32,3
Остаток более 290 °С .....	65,1

4. Проведен сравнительный анализ полученных значений показателей конденсата газогенерации и смол коксования каменного угля (ТУ У 23.1-00190443-100:2007 ПАО Ясиновский коксохимический завод; ТУ 2453-203-00190437-2005 ОАО «Кокс» г. Кемерово). Показано, что конденсат – продукт беззольный, бессернистый, содержание веществ, нерастворимых в толуоле, более чем в 3 раза превышает их содержание в смоле (31,48 против 8-13 %). По-видимому, остаток представляет собой смесь антраценовой фракции, пека и сажи.

#### 4 РАСЧЕТ ЗАТРАТ НА ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

Научно-исследовательская работа – это один из видов экономической деятельности, результатом которой является информационный продукт, в данном случае, конденсат газогенерации с определенными в ходе работы показателями качества. Проведение научно-исследовательской работы требует затрат денежных средств, которые вычислены в ходе экономической части выпускной работы.

##### 4.1 Расчёт материальных затрат

Материальные затраты представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Материальные затраты

Наименование материала	Единица измерения	Цена за единицу, руб.	Количество о ед.	Стоимость материала, руб.
Конденсат	л	5	1	5
Толуол	л	93	0,5	47
Смесь Эшка	кг	822	0,01	8
Соляная кислота	л	232	0,01	2
Барий хлористый	л	800	0,02	16
Итого				78

##### 4.2 Расчёт затрат на электроэнергию

Затраты электроэнергии представлены в таблицах 4.2 и 4.3.

Таблица 4.2 – Расчет потребляемой электроэнергии на приборы

Наименование приборов	Мощность, кВт	Фактическое время работы, ч	Стоимость, руб
Весы аналитические	0,1	3	0,399
Муфельная печь	3,5	10	47
Песчаная баня	2,0	2	4,5
Вытяжной шкаф	0,7	20	18,62
Итого			70,519

Таблица 4.3 – Расчет потребляемой электроэнергии на освещение

Расход в месяц, кВт·ч	Количество месяцев	Стоимость 1 кВт·ч, руб	Полная стоимость, руб.
86,4	1	1,33	114,912

Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии составляет 1 рубль 33 копейки. Предусматривается 8 часовой рабочий день. Всего затраты на электроэнергию (приборы + освещение) составляют 185 рублей.

#### 4.3 Расчёт амортизационных отчислений

Расчёт амортизационных отчислений производится по формуле:

$$A = \frac{C_6 \cdot N_a \cdot T_{\phi}}{T_{\text{год}} \cdot 100},$$

где  $C_6$  – балансовая стоимость, руб;

$N_a$  – норма амортизационных отчислений, %;

$T_{\phi}$  – фактическое время работы оборудования, дней;

$T_{\text{год}}$  – годовой фонд рабочего времени, 365 дней.

Данные расчета амортизационных отчислений представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Амортизационные отчисления на проведение НИР

Наименование оборудования	Кол-во, шт	Балансовая стоимость	Годовая норма амортизации, %	Время использова ния, дней	Сумма аморт. отчислений, руб
Муфельная печь	1	30 000	10	4	33
Песчаная баня	1	10 500	10	2	5,75
Весы	1	10 500	10	6	17,26
Вытяжка	1	14 000	10	4	15
Итого					71,01

На оборудование, стоимость которого не превышает 10000 руб. амортизационные отчисления не производятся.

#### 4.4 Расчёт фонда заработной платы

Данные расчета фонда заработной платы представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Фонд заработной платы

Этапы работы	Состав исполнителей, чел	Установл. должност. оклад, руб	Доплата к окладу, %	Время работы, дней	Зарплата, руб
Теор. часть	Профессор-1	12 000	15	15	10 350
	Инженер-1	9 000	15	15	7 760
Эксп. часть	Лаборант-1	7 000	15	6	2 415
Итого					20 525

#### 4.5 Общая смета затрат

Из расчёта всех затрат составляется общая смета затрат на проведение исследовательской работы (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Смета затрат на проведение исследовательской работы

Наименование статьи затрат	Сумма затрат, руб	Обоснование
Материальные затраты на проведение исследовательской работы	78	таблица 4.1
Затраты на электроэнергию	185	таблицы 4.2 и 4.3
Затраты на зарплату	20 525	таблица 4.5
Единый социальный налог	5 337	26% от ФЗП
Амортизационные отчисления	71	таблица 4.4
Накладные расходы	2 053	10% от ФЗП
Итого		28 249



## Выводы по разделу четыре

Учтены все основные затраты на проведение исследовательской работы. Большую часть расходов составляют затраты на зарплату – 73%. Материальные затраты составляют менее 1%.

## 5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНИДЕЯТЕЛЬНОСТИ

При проведении исследования возникают факторы, влияющие на здоровье.

Перед выполнением научно-исследовательской работы был проведен инструктаж по правилам техники безопасности при работе с химическими реактивами и правилам оказания первой медицинской помощи.

### 5.1 Общая характеристика научно-исследовательской лаборатории

Расположение учебного и лабораторного оборудования указано на рисунке 5.1.

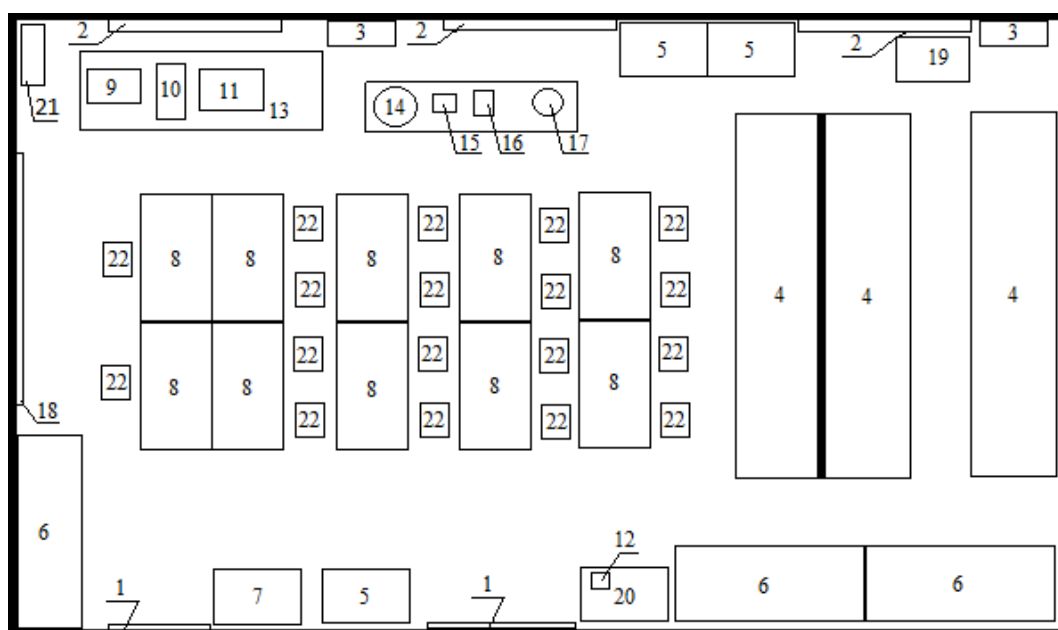


Рисунок 5.1 – Схема лаборатории

1 – дверь; 2 – окно; 3 – раковина; 4 – стол кафельный; 5 – шкафы для химических реактивов и химической посуды; 6 – вытяжной шкаф и вытяжка; 7 – сушильный шкаф; 8 – столы учебные; 9 – фотоэлектроколориметр; 10 – аналитические весы; 11 – мешалка; 12 – колбонагреватель; 13 – стол с приборами; 14 – лабораторные весы; 15 – плитка; 16 – весы технические электронные; 17 – эксикатор; 18 – доска; 19 – письменный стол; 20 – лабораторный стол; 21 – сейф; 22 – стулья

Размеры помещения – 5х10 метров. Имеется три окна 1,5х2 метра, 2 раковины, 15 розеток 220 В, 7 лабораторных столов, 11 письменных столов, 3 вытяжных шкафа и 2 вытяжки.

## 5.2 Состав вредных и опасных факторов

Согласно [9] обнаружены следующие вредные и опасные факторы производства:

- физические: повышенная температура поверхностей оборудования, материалов; повышенная температура воздуха рабочей зоны; шум; вибрация; электромагнитное излучение; освещение;
- химические: вредные вещества и соединения;
- опасные факторы: пожароопасность; опасный уровень напряжения в электрической цепи.

## 5.3 Мероприятия по обеспечению безопасных условий труда

### 5.3.1 Охрана труда при работе в химической лаборатории

Оценка производственного микроклимата осуществляется в соответствии с [19].

Санитарные правила и нормы предназначены для предотвращения неблагоприятного воздействия микроклимата рабочих мест, производственных помещений на самочувствие, функциональное состояние, работоспособность и здоровье человека.

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Температура наружной поверхности стенки печи составляет  $45^{\circ}\text{C}$ ,  $I_{\text{max}} = 140 \text{ Вт/м}^2$ , что удовлетворяет требованиям. Также выделение избыточного тепла при работе печи не происходит.

При работе с материалами и оборудованием соблюдаются следующие меры предосторожности:

- используются теплоизоляционные средства защиты рук (рукавицы х/б с брезент наладонником);
- используются металлические щипцы с прорезиненными ручками.

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведенным в таблице 5.1, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года. При выполнении исследований, в теплый период,  $t$  воздуха составляла  $22^{\circ}\text{C}$ , влажность воздуха – 60%.

Данная исследовательская работа относится к категории тяжести трудового процесса 1б. К этой категории относятся работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением.

Таблица 5.1 – Оптимальные параметры микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	Температура поверхностей, $^{\circ}\text{C}$	Относит. влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	1б (140...174)	21...23	20...24	60...40	0,1
Теплый	1б (140...174)	22...24	21...25	60...40	0,1

### 5.3.2 Вредные вещества

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 (2001) «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [10], содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны при выполнении технологических процессов не должно превышать предельно допустимых значений (ПДК).

В ходе проведения исследовательской работы использовались химически опасные вещества.

Основными характеристиками вредных веществ являются: величина предельно допустимой концентрации вещества в воздухе рабочей зоны; преимущественное агрегатное состояние вещества; класс опасности вещества; особенности действия на организм человека.

### 5.3.3 Вентиляция

Необходимые характеристики микроклимата воздуха рабочей зоны обеспечиваются вентиляцией.

В лаборатории применяется вытяжная местная вентиляция – вытяжные шкафы. Местная вытяжная вентиляция используется для удаления вредных веществ. Она не только более экономична, но и наиболее эффективна.

Вытяжные шкафы позволяют производить работы при концентрациях вредных веществ внутри шкафа, во много раз превышающие предельно допустимые концентрации.

### 5.3.4 Освещенность

Безопасность и здоровье условия труда в большой степени зависят от освещенности рабочих мест. Пользуются естественным, искусственным и совмещенным освещением. Нормирование освещения внутри зданий производится по СНиП 23–05–95 «Естественное и искусственное освещение» [16].

Освещение является одним из важнейших условий нормальной жизнедеятельности. Правильно устроенное освещение обеспечивает хорошую

видимость и создает благоприятные условия труда ГОСТ 12.003–74 (1993). «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [9].

Существует раздельное нормирование естественного, искусственного и совмещенного освещения.

Естественное освещение нормируется коэффициентом естественного освещения, % в зависимости от характеристики зрительной работы, разряда зрительной работы и системы освещения. Данный разряд работы относится к четвертому.

Нормируемыми параметрами искусственного освещения являются: величина освещенности и сочетание показателя ослепленности и коэффициента пульсации.

Коэффициент естественного освещения:

$$KEO = \frac{S_{ок} \cdot t_{общ} \cdot r}{S_{п} \cdot N_0 \cdot K_3 \cdot K_{зд}} \cdot 100\%$$

где  $S_{ок}$  – суммарная площадь оконных проемов,  $m^2$ ;

$t_{общ}$  – общий коэффициент светопропускания;

$r$  – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию;

$S_{п}$  – площадь пола,  $m^2$ ;

$N_0$  – коэффициент световой активности проема;

$K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий эксплуатационное снижение освещенности вследствие загрязнения светильников и ламп, а также уменьшение светового потока ламп, в процессе их эксплуатации;

$K_{зд}$  – коэффициент, учитывающий затемнение окон противостоящими зданиями;

$K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий эксплуатационное снижение освещенности вследствие загрязнения светильников и ламп, а также уменьшение светового потока ламп, в процессе их эксплуатации.

$$t_{общ} = t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot t_4 \cdot t_5$$

где  $t_1$  – коэффициент светопропускания материала (0,87);  
 $t_2$  – коэффициент, учитывающий потери света в световых проемах (0,5);  
 $t_3$  – коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях (1);  
 $t_4$  – коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных приборах (1);  
 $t_5$  – коэффициент, учитывающий потери света в защитной сетке, установленной под фонарями (0,9).

Проведя расчёты, получаем КЕО = 2,1%. В светлое время суток КЕО на рабочем месте должен составлять 1,5%, получили 2,1 %, что удовлетворяет требуемым условиям.

Искусственное освещение вычисляется из формулы коэффициента использования светового потока:

$$E = \frac{\Phi \cdot N \cdot n}{K_3 \cdot S \cdot Z}$$

где  $\Phi$  – световой поток светильника, лм;  
 $N$  – число светильников;  
 $S$  – освещаемая площадь, м<sup>2</sup>;  
 $Z$  – коэффициент неравномерности освещения;  
 $n$  – коэффициент использования системы освещения, зависящий от типа светильника, коэффициентов отражения потолка и стен, а также индекса помещения.

Проведя расчёты, получаем  $E = 212,5$  лк. Норма искусственного освещения должна быть не меньше 200 лк. По результатам проделанного анализа освещения лаборатории можно сделать вывод, что и естественное и искусственное освещение соответствует нормам освещения химических лабораторий.

### 5.3.5 Шум

При проведении научно-исследовательской работы возникают механические шумы источниками, которых являются: приточно-вытяжная вентиляция, сушильный шкаф.

Допустимые шумовые характеристики рабочих зон регламентируются ГОСТ 12.1.003-83 (1999) ССБТ «Шум. Общие требования безопасности» [11] и ГОСТ 12.1.012-90 (2001) ССБТ «Вибрационная безопасность. Общие требования» [12].

Действие шума на организм человека вызывает утомление, резкое снижение работоспособности, головные боли.

В таблице 5.2 указаны предельно допустимые уровни звука для трудовой деятельности средней степени напряженности.

Таблица 5.2 – Предельно допустимый уровень звука для трудовой деятельности средней степени напряженности в дБ

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса	
	Легкая физическая нагрузка	Средняя физическая нагрузка
I степени	60	60

В ходе проведения исследовательской работы уровень шума не превышал допустимого значения.

### 5.3.6 Электробезопасность

Химическая лаборатория попадает под класс помещений повышенной опасности, т.к. в ней находится электрооборудование, создающее потенциальную электроопасность: сушильный шкаф, муфельная печь, фотоэлектроколориметр, технические и аналитические весы, электрические плиты.

Электробезопасность в лаборатории достигается применением следующих мероприятий в соответствии с ГОСТ 12.019 - 79 (2001) «Электробезопасность.

Общие требования и номенклатура видов защиты»:

- размещение токоведущих частей на недоступной высоте;
- ограждение токоведущих частей;
- изоляция, которая обеспечивает защиту от поражения электрическим током в случае прикосновения;



- защитное заземление для устранения опасности поражения током при появлении напряжения на корпусе отпускной печи в соответствии с ГОСТ 12.030-81 (2001) «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление» [14].

Подсоединение приборов к сети должно соответствовать ГОСТ 12.11.038 (2001) «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений и токов» [15].

### 5.3.7 Пожарная безопасность

Исходя из пожарных свойств веществ и условий их применения, помещение лаборатории относится к пожароопасной категории «В4» в соответствии с федеральным законом [1]. В4 – Пожароопасные помещения (горючие и трудно-горючие жидкости, твердые и трудно-горючие вещества, способные только гореть при условии, что эти помещения не относятся к А и Б). Лаборатория снабжена медицинской аптечкой со средствами для оказания первой помощи при несчастных случаях. В лаборатории имеются следующие средства пожаротушения: огнетушитель ОП-5 – 1 шт; песок; асбестовое волокно.

Для обеспечения пожарной безопасности приняты следующие меры:

- ограничение массы и объема горючих веществ;
- применение оборудования, не образующего источник зажигания;
- поддержание в исправном состоянии оборудования, измерительных электроприборов, электропроводки, вытяжной вентиляции;
- пожарная сигнализация – 1 датчик, реагирующий на повышение температуры, 2 датчик, реагирующий на задымление;
- пожарный инвентарь (ящики с песком, огнетушитель, ведра);
- проведен инструктаж по технике пожарной безопасности.

Выводы по разделу пять

С целью предотвращения травм работа с химическими реагентами требует осторожности и повышенного внимания. В связи с этим, прежде всего, необходимо при работе с едкими веществами надевать резиновые перчатки,

исключать их попадание на кожу, в глаза (защитные очки), защитить органы дыхания (респиратор). Помещение лаборатории оборудовано в соответствии требованиями безопасности в области пожарной безопасности, охраны труда, электробезопасности.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Проведено исследование конденсата газогенерации кускового каменного угля, полученного с газогенераторной установки (п.Раздолинск, Мотыгинский район, Красноярский край).

2. Выполнен литературный обзор: изучена научная литература по процессу газогенерации твердого топлива, классификация, технологические схемы и аппаратное оформление, а также характеристики продуктов процесса газогенерации угля.

3. Изучены методы и экспериментально определены следующие показатели качества: плотность ( $1,030 \text{ г/см}^3$ ), массовая доля влаги (3,54 %), выход летучих веществ (99,37 %), массовая доля серы по методу Эшка (0 %), зольность (0 %), содержание веществ, нерастворимых в толуоле (31,48 %). Представляет интерес, что конденсат беззольный, бессернистый.

4. В результате перегонки конденсата с постепенным испарением получен следующий фракционный состав:

выход фракций при перегонке, %

до 100 °С.....	2,2
100-290 °С.....	32,3
Остаток более 290 °С .....	65,1

5. Проведен сравнительный анализ полученных значений показателей конденсата газогенерации и смол коксования каменного угля (ТУ У 23.1-00190443-100:2007 ПАО Ясиновский коксохимический завод; ТУ 2453-203-00190437-2005 ОАО «Кокс» г. Кемерово). Показано, что конденсат – продукт беззольный, бессернистый, содержание веществ, нерастворимых в толуоле, более чем в 3 раза превышает их содержание в смоле (31,48 против 8-13 %). По-видимому, остаток представляет собой смесь антраценовой фракции, пека и сажи.

6. Рекомендуется в дальнейшем провести пофракционное опробование конденсата газогенерации.

7. Учтены все основные затраты на проведение исследовательской работы, а именно затраты на материалы, электроэнергию, оплату труда, а также учтены

амортизационные отчисления. Большую часть расходов составляют затраты на зарплату – 73%. Материальные затраты составляют менее 1%.

8. Помещение лаборатории оборудовано в соответствии с требованиями безопасности в области пожарной безопасности, охраны труда студентов и сотрудников при выполнении исследовательской работы, электробезопасности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 27.12.2018) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"
- 2 ГОСТ 3900-85. Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности. – М.: Стандартиформ, 2006. – 37 с.
- 3 ГОСТ 27314-91. Топливо твердое минеральное. Методы определения влаги. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 10 с.
- 4 ГОСТ 6382-2001. Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода летучих веществ. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 12 с.
- 5 ГОСТ 8606-2015. Топливо твердое минеральное. Определение общей серы. Метод Эшка. – М.: Стандартиформ, 2016. – 12 с.
- 6 ГОСТ 11022-95. Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности. – М.: Стандартиформ, 2006. – 19 с.
- 7 ГОСТ 7847-73. Пек каменноугольный. Метод определения массовой доли веществ, нерастворимых в толуоле. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 7 с.
- 8 ГОСТ 2177-99. Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 23 с.
- 9 ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 3 с.
- 10 ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартиформ, 2008. – 48 с.
- 11 ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 11 с.
- 12 ГОСТ 12.1.012-90. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 29 с.

13 ГОСТ 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Стандартиформ, 2019. – 6 с.

14 ГОСТ 12.1.030-81. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 10 с.

15 ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 7 с.

16 СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. – 43 с.

17 ТУ У 23.1-00190443-100:2007. Смола каменноугольная. – Макеевка, 2007. – 1 с.

18 ТУ 2453-203-00190437-2005. Качественные характеристики смолы каменноугольной. – Кемерово, 2005. – 1 с.

19 СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 2001. – 18 с.

20 Алешина, А.С. Газогенерация твердого топлива / А.С. Алешина, В.В. Сергеев – Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета, 2010. – 202 с.

21 Гинзбург, Д.М. Газогенерация топлива и генераторные установки / Д.М. Гинзбург – М.: Гос. изд-во лит-ры по строит. матер., 1938. – 386 с.

22 Канторович, Б.В. Введение в теорию горения и газогенерация твердого топлива / Б.В. Канторович. – М.: Metallurgizdat, 1961. – 355 с.

23 Лавров, Н.В. Введение в теорию горения и газогенерации топлива / Н. В. Лавров, А.П. Шуригин – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1962. – 217 с.

24 Лавров, Н.В. Физико-химические основы горения и газогенерации топлива / Н.В Лавров – М.: Гос. науч-техн. изд-во по черной и цветной металлургии, 1957. – 289 с.

25 Мановян, А.К. Технология переработки природных энергоносителей / А.К. Мановян – М.: Химия, КолосС, 2004. – 456 с.

26 Рамбуш, Н. Э. Газогенераторы / Н.Э. Рамбуш; пер. с англ. инж. П. Г. Рашковского – Ленинград: ГОНТИ, 1939 – 413 с.

27 Сысков, К.И. Коксохимическое производство / К.И. Сысков, Ю.Г. Королев – М.: Изд-во «Высшая школа», 1969. – 150 с.

28 Федосеев, С.Д. Полукоксование и газогенерация твердого топлива / С. Д. Федосеев, А.Б. Чернышев – М: Гос. науч.-техн. изд-во нефтян. горно-топлив. литературы, 1960. – 327 с.

29 Генераторный газ, виды. –  
<https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/007/918.htm>