

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский горный университет»

*На правах рукописи*

**Еремеева Анжелика Михайловна**



**ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ЗАЩИТЫ ПОДЗЕМНОГО ПЕРСОНАЛА  
УГОЛЬНЫХ ШАХТ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ДИЗЕЛЬ-  
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЛОКОМОТИВОВ**

05.26.01 – Охрана труда (в горной промышленности)

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор  
Коршунов Г.И.

Санкт-Петербург – 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>5</b>
<b>ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ОПЫТА НОРМАЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ШАХТНОЙ АТМОСФЕРЫ ПРИ РАБОТЕ ДИЗЕЛЬ-ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЛОКОМОТИВОВ.....</b>	<b>11</b>
1.1 Анализ условий труда на рабочих местах угольных шахт .....	11
1.2 Источники загрязнения воздуха рабочих зон угольных шахт .....	17
1.3 Требования, предъявляемые к составу шахтного воздуха .....	26
1.4 Влияние вредных факторов на здоровье работников шахт .....	27
1.5 Анализ отечественного и зарубежного опыта снижения выбросов при сжигании топлива дизелевозами .....	31
Выводы по главе 1.....	38
<b>ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА ДОБАВОК К ДИЗЕЛЬНОМУ ТОПЛИВУ, СНИЖАЮЩИХ КОНЦЕНТРАЦИЮ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ.....</b>	<b>40</b>
2.1 Обоснование применения добавок в качестве способа снижения концентрации вредных газов .....	40
2.2 Методы исследования свойств разработанной добавки и дизельного топлива .....	40
2.3 Лабораторные исследования по получению и исследованию свойств добавок .....	44
2.4 Результаты исследований дизельного топлива с добавками.....	56
Выводы по главе 2.....	59
<b>ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОНЦЕНТРАЦИИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ РАБОЧИХ ЗОН ПРИ РАБОТЕ ДИЗЕЛЕВОЗОВ .....</b>	<b>60</b>
3.1 Расчет количества выбросов при работе дизельного оборудования с использованием добавок.....	60
3.2 Стендовые испытания топлива с добавкой .....	65
3.3 Исследования эффективности добавок в дизельном топливе в условиях АО «СУЭК-Кузбасс» .....	71

3.4 Шахтные исследования загазованности атмосферы ДГЛ при работе на стандартном дизельном топливе и с добавками .....	75
Выводы по главе 3.....	80
<b>ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО УЛУЧШЕНИЮ УСЛОВИЙ ТРУДА ПО ХИМИЧЕСКОМУ ФАКТОРУ ПРИ РАБОТЕ ДИЗЕЛЬ-ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ.....</b>	<b>81</b>
4.1 Методика контроля содержания токсичных компонентов в отработанных газах дизельных двигателей.....	81
4.2 Расчет класса условий труда работников шахт по химическому фактору .	85
4.3 Компьютерное моделирование распределения вредных газов в шахтной атмосфере при работе ДГЛ.....	88
4.4 Технико-экономическое обоснование производства добавок в топливо ДГЛ в условиях АО «СУЭК-Кузбасс».....	94
Выводы по главе 4.....	100
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>102</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>104</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А Протокол испытаний дизельного топлива и ДТ с добавкой в подразделении АО «СУЭК-Кузбасс спецналадка».....</b>	<b>118</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б Акт испытания дизельного топлива с добавкой на дизель-гидравлическом локомотиве в подразделении АО «СУЭК-Кузбасс спецналадка» .....</b>	<b>119</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В Протокол испытаний дизельного топлива и ДТ с добавкой в подразделении АО «СУЭК-Кузбасс» ПЕ ш. им. С.М. Кирова .....</b>	<b>120</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Г Протокол испытаний дизельного топлива и ДТ с добавкой в подразделении АО «СУЭК-Кузбасс» ПЕ ш. им. С.М. Кирова .....</b>	<b>121</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Д Протокол испытаний дизельного топлива и ДТ с добавкой в подразделении АО «СУЭК-Кузбасс» ш/у Комсомолец ПЕ «ш. Комсомолец» .....</b>	<b>122</b>

<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Е Акт испытаний дизельного топлива и ДТ с добавкой в подразделении АО «СУЭК-Кузбасс» ш/у Комсомолец ПЕ «ш. Комсомолец» .....</b>	<b>123</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Акт испытания дизельного топлива с добавкой на стендовом дизельном двигателе в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет».....</b>	<b>124</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ И Акт об использовании материалов диссертации .....</b>	<b>125</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования и степень ее разработанности.** Применение дизель-гидравлических локомотивов (ДГЛ) в угольных шахтах значительно повышает производительность труда при перевозке технических и горюче-смазочных материалов, проведении ремонтно-такелажных работ, строительстве и ремонте подземных дорог, перевозке людей и других видах деятельности.

Однако, на горнодобывающих предприятиях, использующих ДГЛ, воздух рабочих зон загрязняется компонентами выхлопных газов. Повышение в воздухе рабочих зон концентрации оксидов азота и угарного газа приводит к профессиональным заболеваниям персонала угольных шахт, около 3 % из которых связаны с токсическими воздействиями данных газов. Соответственно, преимущества от применения ДГЛ в угольных шахтах могут быть достигнуты только при условии минимизации вредных выбросов, которые в противном случае приводят к профессиональным заболеваниям органов дыхания.

В связи с непостоянством газового состава воздуха рабочих зон, определение характера совокупного действия основных компонентов выхлопных газов и нормализация условий труда работников по химическому фактору в угольных шахтах приобретают особое значение.

Решением вопроса снижения вредного влияния отработанных газов ДГЛ на здоровье работников занимались Чеботарёв А.Г., Габидулина И.Ю., Измерова Н.И., Головкова Н.П., Борисенков Р.В., Матюхин Г.И., A. Sydbom, A. Blomberg, S. Parnia, N. Stenfors, T. Sandström, S-E. Dahlén, Ping Chang, Guang Xu и др. В своих трудах авторы описывают необходимость нормализации вредных выбросов в угольных шахтах, но не исследуют способы их снижения.

Иностранные ученые Susan T. Bagley, Winthrop F. Watts, Jason P. Johnson, David B. Kittelson, John H. Johnson, James J. Schauer, Steven E. Mischler, Jay F. Colinet и др. занимались изучением химического состава воздуха рабочих зон и физических характеристик двигателей ДГЛ до и после использования фильтров,

альтернативного топлива и различных модификаций двигателей. В качестве эффективного способа снижения выбросов рассматривались двигатели с электронным управлением, но при этом способе снижение концентрации выбросов происходит только до значений, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК), разрешенные действующими нормами РФ.

Таким образом, разработка способа защиты подземного персонала угольных шахт от воздействия вредных выбросов дизель-гидравлических локомотивов является актуальной задачей.

**Цель работы.** Улучшение условий труда на рабочем месте машиниста дизель-гидравлического локомотива по химическому фактору за счет снижения концентрации вредных газов в воздухе рабочих зон.

**Идея работы.** Снижение концентрации вредных газов от дизель-гидравлических локомотивов на рабочих местах машинистов дизель-гидравлического локомотива угольных шахт обеспечивается применением добавок к дизельному топливу, снижающих объемы выбросов вредных газов при работе дизель-гидравлических локомотивов.

#### **Основные задачи исследований:**

1. Анализ источников, состава и количества вредных газов в воздухе рабочих зон угольных шахт.
2. Анализ условий труда по химическому фактору в рабочих зонах угольных шахт.
3. Разработка состава добавок к дизельному топливу (ДТ) для снижения концентрации вредных выбросов в угольных шахтах и исследование их эффективности при работе ДГЛ.
4. Оценка параметров воздуха рабочих зон при работе ДГЛ с использованием топлива с добавками.
5. Разработка рекомендаций по использованию топлива с добавками в целях защиты подземного персонала от вредных выбросов при работе ДГЛ.

**Научная новизна:**

1. Установлена зависимость изменения концентрации вредных газов в воздухе рабочих зон угольных шахт от количественного состава добавок к дизельному топливу.
2. Получены зависимости изменения состава воздуха на рабочем месте машиниста дизель-гидравлического локомотива угольных шахт от режимов работы двигателя при использовании добавки и без нее.

**Основные защищаемые положения:**

1. Оценка загрязненности воздуха рабочих зон угарным газом и оксидами азота, а также выбор мероприятий по их снижению следует осуществлять с учетом основного источника поступления в воздух рабочих зон оксидов азота и угарного газа – дизель-гидравлических локомотивов, доля выбросов от которых достигает более 90 % от общего количества данных газов.
2. Снижение количества вредных выбросов в воздухе рабочих зон, в том числе угарного газа и оксидов азота, достигается применением добавки к топливу дизель-гидравлических локомотивов, состоящей из смеси сложных эфиров, полученных из растительного масла и спирта в соотношении 2:1.
3. Улучшение условий труда на рабочем месте машиниста дизель-гидравлического локомотива по химическому фактору в условиях угольных шахт за счет снижения концентрации угарного газа и оксидов азота достигается при применении в составе топлива дизель-гидравлических локомотивов добавок, состоящих из смеси сложных эфиров, в количестве до 5 % масс.

**Теоретическая и практическая значимость работы:**

1. Разработан состав добавки к дизельному топливу для снижения концентрации вредных газов в воздухе рабочих зон при использовании ДГЛ в угольных шахтах.
2. Выявлена степень влияния качественного и количественного состава добавки к дизельному топливу на состав шахтного воздуха.

3. Выполнен расчет количества вредных газов, образующихся при использовании дизельного топлива без добавки и с добавкой.

4. Разработаны рекомендации по производству и применению добавок, предназначенных для снижения концентрации вредных газов при работе ДГЛ в составе воздуха рабочих зон в условиях угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс».

**Методология и методы исследований.** Для реализации поставленной цели и решения задач использовались лаборатории на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», а также проводились эксперименты на дизель-гидравлических локомотивах шахт АО «СУЭК-Кузбасс».

В работе использованы теоретические и экспериментальные методы исследования, включающие анализ статистических данных по количеству вредных газов от работы ДГЛ; анализ отечественных и зарубежных литературных источников по вопросу снижения вредных выбросов при сжигании топлива ДГЛ; патентный поиск; анализ протоколов специальной оценки условий труда (СОУТ) по химическому фактору в рабочих зонах машиниста ДГЛ; синтез добавок; определение физико-химических свойств добавок и дизельного топлива с добавками; определение выбросов при сжигании топлива с добавкой расчетным и экспериментальным методами.

**Достоверность полученных результатов** работы подтверждается высокой схожимостью результатов теоретических, лабораторных, экспериментальных исследований и производственных испытаний, а также основывается на применении стандартизированных методов измерения концентрации вредных веществ в отработанных газах, определения физико-химических свойств компонентов и составов дизельного топлива и добавок.



**Апробация результатов.** Основные положения и результаты диссертации представлялись и обсуждались на следующих конкурсах и конференциях: Всероссийская конференция с элементами научной школы для молодежи «Экотоксикология-2017» (г. Тула, 2017 г.); IV и VI Международная научно-техническая конференция «Наукоемкие технологии функциональных материалов» (г. Санкт-Петербург, 2017 и 2019 гг.); 58 Konferencija Studenckich Kol Naukowych Pionu Gorniczego 7 grudnia (г. Краков, Польша, 2017 г.); II Международная научно-практическая конференция «Безопасность и ресурсосбережение в техносфере» (г. Краснодар, 2018 г.); Выставка молодых изобретателей Санкт-Петербурга, проводимая в рамках VI съезда ЦПТИ Российской Федерации (г. Санкт-Петербург, 2018 г.); 13 Freiberg – St. Petersburger Kolloquium junger Wissenschaftler (TU Bergakademie Freiberg, г. Фрайберг, Германия, 2019 г.); 62nd International Scientific Conference of the University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski” (г. София, Болгария, 2019 г.); IV Международная научно-практическая конференция «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке» (г. Санкт-Петербург, 2019 г.); Всероссийская конференция-школа молодых ученых и специалистов «Развитие технологий добычи и обогащения месторождений полезных ископаемых» (г. Санкт-Петербург, 2019 г.); Конкурс работ молодых ученых по вопросам охраны труда, промышленной безопасности и экологии (г. Москва, 2019 г.); XV Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, 2020 г.).

**Реализация результатов работы.** Разработанные мероприятия и рекомендации по оценке и снижению концентрации угарного газа и оксидов азота в воздухе рабочих зон угольных шахт использованы при планировании мероприятий и способов защиты от вредных газов на рабочих местах машинистов дизель-гидравлических локомотивов шахт АО «СУЭК-Кузбасс».

Результаты научных исследований, полученные в ходе работы, могут использоваться в учебном процессе в Горном университете при изучении дисциплины «Промышленная санитария и гигиена труда».

**Личный вклад автора** состоит в анализе отечественных и зарубежных литературных источников, непосредственном участии в экспериментах по разработке, получению и исследованию составов добавки, определению состава выхлопных газов при её использовании на стендовой установке, а также при производственных экспериментах на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс». Сформулированы цель, идея, задачи, основные защищаемые положения и выводы; разработаны практические рекомендации по улучшению условий труда по химическому фактору в угольных шахтах.

**Публикации.** Результаты диссертации в достаточной степени освещены в 22 печатных работах, в том числе в 1 статье - в издании из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 1 статье – в издании из Перечня ВАК и входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus, в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 2 патента на изобретение.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения, библиографического списка, включающего 112 наименований, и восьми приложений. Изложена на 125 страницах машинописного текста и содержит 38 рисунков и 48 таблиц.

# ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ОПЫТА НОРМАЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ШАХТНОЙ АТМОСФЕРЫ ПРИ РАБОТЕ ДИЗЕЛЬ-ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЛОКОМОТИВОВ

## 1.1 Анализ условий труда на рабочих местах угольных шахт

Показателями тяжести и вредности труда на угольных предприятиях являются классы условий труда. Существует 4 основных класса условий труда [28]:

1. Оптимальные (класс 1).
2. Допустимые (класс 2)
3. Вредные (класс 3, подклассы 3.1-3.4).
4. Опасные (класс 4).

Все нормативно-правовые аспекты, касающиеся проведения СОУТ (специальной оценки условий труда), изложены в законе № 426-ФЗ. При определении класса условий труда производится оценка состояния и необходимые замеры рабочих мест, производственной среды и трудового процесса. Согласно ст. 13 закона № 426-ФЗ, определение класса условий труда проходит по нескольким пунктам [29]:

1. концентрация вредных веществ в воздухе,
2. параметры звукового, светового воздействий и вибраций,
3. биологические факторы,
4. показатели окружающей среды,
5. напряженность трудового процесса,
6. тяжесть и интенсивность трудового процесса,
7. характеристики различных излучений и полей,
8. химические факторы,
9. физические факторы.

Если класс условий труда в рабочей зоне выше, чем второй, работодатель несет дополнительные убытки и обязан компенсировать работникам постоянное влияние вредных факторов (Таблица 1.1) [28].

Таблица 1.1 – Дополнительные условия, предоставляемые работодателем, компенсирующие вредность труда

Класс условий труда по результатам СОУТ	Номер	Доплата, %	Отпуск не менее 7 к/д	Сокращенная рабочая неделя
Опасный	4	+	+	+
Вредный	3.4	+	+	+
Вредный	3.3	+	+	+
Вредный	3.2	+	+	-
Вредный	3.1	+	-	-
Допустимый	2	-	-	-
Оптимальный	1	-	-	-

Одним из наиболее опасных для здоровья работников является химический фактор и концентрация вредных веществ в воздухе, так как превышение нормированных значений именно по данному фактору приводит к отравлениям [14, 16], хроническим и профессиональным заболеваниям [33], не позволяющим качественно и в полной мере выполнять обязанности на рабочем месте.

Около 3 % профессиональных заболеваний приходится на заболевания, связанные непосредственно с химическим фактором, а именно, заболевания, связанные с токсическими воздействиями различных химических веществ (Рисунок 1.1) [33].

Таким образом, нормализация концентрации вредных выбросов в рабочих зонах угольных шахт необходима как с точки зрения улучшения условий труда работников, так и для снижения затрат на дополнительные услуги, компенсирующие вредность труда.

На рисунках 1.2-1.4 приведен анализ состава шахтного воздуха на основе протоколов и карт СОУТ, предоставленных АО «СУЭК-Кузбасс» по шахтам им. В.Д. Ялевского и ш/у Комсомолец ПЕ «ш. Комсомолец».

## Статистика заболеваний подземного персонала угольных шахт

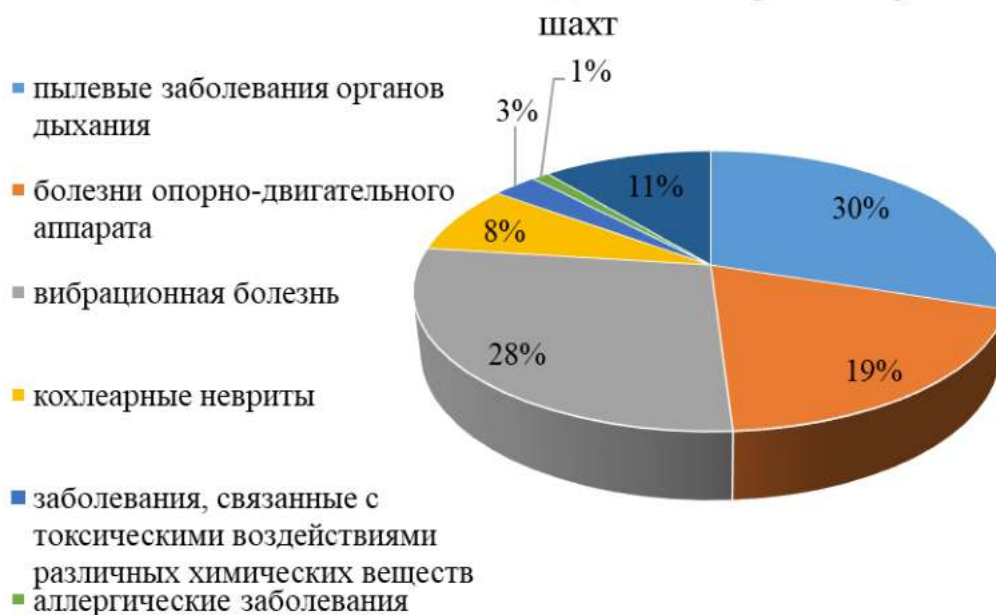


Рисунок 1.1 – Доля профессиональных заболеваний подземного персонала угольных шахт

### Извещение-протокол № 139 от 27.12.2018 о результатах измерений концентраций газов в пробах рудничного воздуха

#### «Шахта им.В.Д. Ялевского АО «СУЭК-Кузбасс»

Отбор проб произведен **27-дек-2018**г. в **08:00** род проб: плановый маршрут: 26

Пробы отобрал: наборщик проб в шахтах Пронь А.В.

#### Методики (методы) измерений:

- Методика измерений объемных долей оксида и диоксида углерода, водорода, кислорода, метана, ацетилена, этилена, этана, пропилена, пропана, изобутана, нормального бутана в рудничном воздухе методом газовой хроматографии от 24.07.2012 (ФР.1.31.2013.15152);

- Методика измерений массовой концентрации оксидов азота в рудничном воздухе с реактивом Грисса-Илосвая фотоколориметрическим методом от 01.08.2011 (ФР.1.31.2007.03205).

Условия выполнения измерений: Температура воздуха: + 22 °С

Относительная влажность воздуха: 38 %

Атмосферное давление: 99,1 кПа

№ п/п	Наименование выработки	Место отбора проб	Концентрация газов, об. %						t °С темп.	Примечание
			CO2 диоксид углерода	O2 кислород	CO оксид углерода	H2 водород	CH4 метан	NO+NO2 оксиды азота		
1	путев.ствол – дизелевоз № 17	на выхлопе (мин.нагрузка)	6,19	12,49	0,0028	-	0,00	0,0017	+21	
2	путев.ствол – дизелевоз № 17	на выхлопе (макс.нагрузка)	4,81	14,35	0,0072	-	0,00	0,0021	+26	

Рисунок 1.2 – Протокол о результатах измерений концентраций газов в пробах рудничного воздуха на шахте им. В.Д. Ялевского АО «СУЭК-Кузбасс» (маршрут 26)

Из анализа результатов измерений концентрации газов в пробах рудничного воздуха на шахте «им. В.Д. Ялевского» видно, что концентрация угарного газа

(0,0028 % об. и 0,0072 % об.) превышает нормированное значение (0,0017 % об.) на выходе из выхлопной трубы дизель-гидравлического локомотива. Концентрация оксидов азота (0,0017 % об. и 0,0021 % об.) превышает допустимую концентрацию (0,00035 % об.) [31].

**Извещение-протокол № 140 от 27.12.2018**  
о результатах измерений концентраций газов в пробах рудничного воздуха

**«Шахта им.В.Д. Ялевского АО«СУЭК-Кузбасс»**

Отбор проб произведен 27-дек-2018г. в 08:00 род проб: плановый маршрут: 28

Пробы отобрал: наборщик проб в шахтах Петренко И.В.

**Методики (методы) измерений:**

- Методика измерений объемных долей оксида и диоксида углерода, водорода, кислорода, метана, ацетилен, этилена, этана, пропилена, пропана, изобутана, нормального бутана в рудничном воздухе методом газовой хроматографии от 24.07.2012 (ФР.1.31.2013.15152);

- Методика измерений массовой концентрации оксидов азота в рудничном воздухе с реактивом Грисса-Илюсвая фотоколориметрическим методом от 01.08.2011 (ФР.1.31.2007.03205).

Условия выполнения измерений: Температура воздуха: + 22 °С

Относительная влажность воздуха: 38 %

Атмосферное давление: 99,1 кПа

№ п/п	Наименование выработки	Место отбора проб	Концентрация газов, об. %						t °С темп.	Примечание
			CO2 диоксид углерода	O2 кислород	CO оксид углерода	H2 водород	CH4 метан	NO+NO2 оксиды азота		
1	путев. ствол пл.50 (ОПП) - дизелевоз № 15	на выхлопе (мин.нагрузка)	3,20	17,38	0,0040	-	0,00	0,00004	+21	
2	путев. ствол пл.50 (ОПП) - дизелевоз № 15	на выхлопе (макс.нагрузк)	3,06	17,52	0,0090	-	0,00	0,00009	+27	
3	вент. кв-г пл.52 на пл.50 -дизелевоз № 16	на выхлопе (мин.нагрузка)	2,72	18,07	0,0051	-	0,00	0,00008	+20	
4	вент. кв-г пл.52 на пл.50 -дизелевоз № 16	на выхлопе (макс.нагрузка)	2,69	17,72	0,011	-	0,00	0,00041	+29	

Рисунок 1.3 – Протокол о результатах измерений концентраций газов в пробах рудничного воздуха на шахте «им. В.Д. Ялевского» АО «СУЭК-Кузбасс» (маршрут 28)

По результатам протокола № 140 на ш. «им. В.Д. Ялевского» (Рисунок 1.3) концентрация угарного газа превышает норму на 85 % (0,011 % об. против 0,0017 % об. по ПДК), концентрация оксидов азота превышает норму при работе ДГЛ №16 практически в 2 раза.

Аналогично шахте им. В.Д. Ялевского анализировался состав рудничного воздуха ш/у Комсомолец ПЕ «ш. Комсомолец» (Рисунок 1.4). Как видно из результатов, концентрация оксидов азота значительно превышает норму, практически на 98 % (0,01688 % об. против 0,00035 % об. по ПДК), а также концентрация оксидов углерода превышает норму в 3-5 раз (0,0084 % об. против 0,0017 % об. по ПДК).

ФГУП "ВГСЧ" филиал "Кемеровский ВГСО" Контрольно-испытательная лаборатория  
г. Ленинск-Кузнецкий, ул. Спасстанция, 11, тел/факс 8-384-56-7-53-89  
Свидетельство о состоянии измерений в лаборатории № 998/16. Действительно до 26.08.2019 г.

### ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 1665 В-0 от 21.09.2018

Заказчик: АО "СУЭК - Кузбасс" ш/у Комсомолец ПЕ "ш.Комсомолец"

Фактический адрес: 652519, Кемеровская обл., г. Ленинск-Кузнецкий, ул. Рубинштейна, 1

Дата поступления проб: 21.09.2018 Время: 12:30

Дата выполнения испытаний: 21.09.2018 Время: 18:20

Цель испытаний: Измерение об. доли газов, %

Идентификация используемого метода: ФР.1.31.2013.15152, ФР.1.31.2007.03205,

Средства измерений:

Хроматографы: Кристалл-5000.2 : № 052672  №854041  , №252149  , №252135  , №252151  , №252140  ,

Кристалл-2000М : № 739  , поверка действительна до 07.12.2018

Спектрофотометр: ПЭ-5300В : № 472  , поверка действительна до 07.12.2018

Газохром-2000 : №130507  , поверка действительна до 08.12.2018

Газохром-2000 : №330651  , №330629  , поверка действительна до 08.12.2018

Условия проведения испытаний  $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P_{\text{атм}} = 98,2 \text{ кПа}$ ,  $W = 45 \text{ } \%$

Пробы отобрал: наборщики проб Небаев ЮЛ, Беляков АВ

Отбор проб произведен 21-сен-2018 г. в 07:00-12:00 род проб плановый маршрут : 8

№ п/п	Наименование выработки	Место отбора проб	CO2	O2	CO	H2	CH4	Оксиды азота	t о С	P, кПа	Примечание
1	Дизелевоз DLZ 110F №4	на выхлопе на холостом ходу	0,49	20,14	0,0074	0,0000	0,00	0,01077	32	101,2	
2	Дизелевоз DLZ 110F №4	на выхлопе с наибольшей нагрузкой	0,53	20,09	0,0084	0,0000	0,00	0,01688	36	101,2	

Рисунок 1.4 – Протокол испытаний измерений концентраций газов в пробах рудничного воздуха в ш/у Комсомолец ПЕ «ш. Комсомолец» АО «СУЭК-Кузбасс»

В таблице 1.2 представлены усредненные качественные и количественные значения вредных выбросов дизель-гидравлических локомотивов в шахтной атмосфере на предприятии АО «СУЭК-Кузбасс».

Таблица 1.2 – Состав шахтного воздуха на основных позициях

№ п/п	Место измерения	Концентрация газов, % об.			
		O <sub>2</sub>	Оксиды азота	CO <sub>2</sub>	CO
1	В кабине машиниста ДГЛ	20,92113	0,00064	0,04012	0,00182
2	На исходящей струе	20,92097	0,00002	0,03152	0,00061
3	На выходе из выхлопной трубы (min)	16,06351	0,00008	2,02328	0,00424
4	На выходе из выхлопной трубы (max)	16,05063	0,00014	2,04069	0,00763
5	На расстоянии 20 м от ДГЛ	20,62069	0,00002	0,11853	0,00013

Исходя из данных таблицы 1.2, содержание оксидов азота и оксидов углерода достигает достаточно высоких значений, превышающих требования стандартов. Монооксид углерода – бесцветный газ, не имеющий ни вкуса, ни запаха. При большой концентрации угарный газ может вызывать симптомы плохого самочувствия, такие как головокружение, тошноту, возможно обморочное состояние у работников [28].

Анализ рабочих мест показал, что на рабочих местах присутствуют повышенные значения содержания в воздухе вредных газов. Данный факт находит отражение и в протоколах специальной оценки условий труда (СОУТ) по химическому фактору [31]. Основные специальности, где класс условий труда по химическому фактору равен 3.1 (вредные условия труда 1 степени) и 3.2 (вредные условия труда 2 степени), возникающих после продолжительной экспозиции (пятнадцать и более лет) представлены в таблице 1.3. Вредные условия труда 1 степени - условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, после воздействия которых измененное функциональное состояние организма работника восстанавливается, как правило, при более длительном, чем до начала следующего рабочего дня (смены), прекращении воздействия данных факторов, и увеличивается риск повреждения здоровья [31]. Вредные условия труда 2 степени - условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, уровни воздействия которых способны вызвать стойкие функциональные изменения в организме работника, приводящие к появлению и развитию начальных форм профессиональных заболеваний или профессиональных заболеваний легкой степени тяжести (без потери профессиональной трудоспособности) [31].

Анализ протоколов СОУТ показал, что в условиях шахт АО «СУЭК-Кузбасс» необходима разработка мероприятий по снижению вредного воздействия химического фактора.



## 1.2 Источники загрязнения воздуха рабочих зон угольных шахт

В угольных шахтах существует несколько основных источников появления вредных веществ в воздухе рабочей зоны. В большинстве случаев вредные газы образуются при пожарах, окислении угля, ведении взрывных работ и работе машин с двигателями внутреннего сгорания [9].

Транспортное оборудование с дизельными двигателями используется на большинстве горнодобывающих предприятий. Большое значение имеет дизельный транспорт и в угольных шахтах, так как он используется для повышения производительности труда работников, облегчения тяжести труда, а именно, для транспортировки материалов и людей, крепления горных выработок, доставки и ремонта оборудования, что в свою очередь приводит и к повышению скорости проходческих работ [28].

В таблице 1.3 приведено количество ДГЛ, применяемых в выработках на предприятии АО «СУЭК-Кузбасс» [31].

Из приведенных данных следует, что наибольшее количество работающей дизельной техники приходится на шахту «им. В.Д. Ялевского» и шахту «им. С.М. Кирова». Время работы дизелевозов 3 смены по 7 часов, количество охватываемых маршрутов 1-2 [31].

Таблица 1.3 – Количество применяемых дизель-гидравлических локомотивов на предприятие АО «СУЭК-Кузбасс»

Наименование шахты	Количество дизель-гидравлических локомотивов
ш/у «Комсомолец»	6
ш. «Полысаевская»	6
ш. «им. С.М. Кирова»	12
ш. «А.Д. Рубана»	3
уч. Магистральный	8
ш. «7 Ноября»	2
ш/у «им. В.Д. Ялевского»	12
ш. «Т -Западная»	11
Общее количество:	60

Системный анализ маршрутов движения дизель-гидравлических локомотивов показал, что большая часть их проходит по капитальным выработкам с главными поступающими и исходящими струями воздуха. Поступающий воздух предназначен для проветривания нескольких «потребителей», в том числе очистных и проходческих забоев [31]. В связи с высокой метанообильностью выработок выемочных участков и тупиковых подготовительных выработок на большинстве шахт АО «СУЭК-Кузбасс», основным критерием, определяющим количество воздуха в вентиляционных струях, является разбавление метана до предельно допустимых концентраций. Таким образом, расчетный расход воздуха, необходимый для разбавления выхлопных газов дизельных двигателей практически всегда в разы меньше принятого расхода воздуха для проветривания выработок [31]. После системного анализа маршрутов движения дизель-гидравлических локомотивов с планами горных выработок можно выделить несколько потенциально проблемных участков. Следует отметить, что рассматриваемые ниже участки горных выработок соответствуют планам, представленным на апрель 2019 года, и могут не совпадать с текущей ситуацией вследствие постоянного развития горных работ и связанного с ним изменения не только собственно некоторых маршрутов движения дизелевозов, а также схем и параметров проветривания горных выработок. Данное уточнение не носит принципиального характера, так как процесс развития горных работ является условно цикличным: отработка запасов текущего выемочного столба, подготовка следующего столба, проведение (углубка) капитальных горных выработок, перенос очистного оборудования для выемки запасов следующего столба, возведение вентиляционных сооружений, перераспределение воздуха и т.д., что обуславливает возникновение подобных потенциально проблемных участков на следующих этапах отработки запасов [31].

На примере плана горных работ шахты «им. В.Д. Ялевского», рассмотрим типы горных выработок, в которых снижение выбросов выхлопных газов дизелевозов может привести к существенному положительному эффекту не

только в качестве нормализации параметров шахтной атмосферы, но и с точки зрения снижения расчётного количества воздуха для проветривания:

1. Тупиковые части проводимых подготовительных выработок. Согласно п.п. 3.2 РД 05-312-99 «Технические требования по безопасной эксплуатации транспортных машин с дизельным приводом в угольных шахтах» [40]: в выработки и на участки, по которым проходят маршруты движения транспортных машин с дизельным приводом, должен подаваться свежий воздух в количестве, обеспечивающем разбавление вредных компонентов выхлопных газов до ПДК, но не менее 5 м<sup>3</sup>/мин на 1 л.с. номинальной мощности дизельных двигателей. Используемые на шахте «им. В.Д. Ялевского» дизельные локомотивы (например, Becker KPCS-96) обладают мощностью двигателя до 130 л.с., что при использовании локомотива в тупиковой части выработки приводит к необходимости подачи свежего воздуха через трубопровод в количестве более 10 м<sup>3</sup>/с. При проходке вентиляционного штрека 5006 (рисунок 1.5), согласно предоставленным данным, в тупиковой части может потенциально работать два локомотива (Becker KPCS-96 и Ferrit DZL110F), что обуславливает необходимость подачи 20 м<sup>3</sup>/с воздуха в тупиковую часть. Исследование изменения количества выхлопных газов при работе локомотивов с использованием специальных добавок к топливу может стать основанием для уменьшения нормативного количества воздуха для проветривания выработок по данному фактору.

2. Демонтажные камеры (Рисунок 1.6). Используемые технологии демонтажа очистного оборудования на предприятии АО «СУЭК-Кузбасс» подразумевают «вырождение» демонтажной камеры в тупиковую выработку по мере извлечения секций механизированной крепи и обрушения пород кровли. На этом этапе демонтажная камера проветривается с помощью ВМП и трубопровода. В случае продолжительного демонтажа механизированного комплекса, критерием по величине необходимого количества воздуха для проветривания камеры может быть работа дизелевоза. Следует также отметить, что при восходящем порядке

демонтажных работ в камере, у углов наклона участков демонтажной камеры более  $5-10^{\circ}$ , дизельный локомотив работает в условиях максимальной мощности, с малыми скоростями передвижения, что может привести к превышению предельно-допустимых концентраций выхлопных газов на рабочих местах.

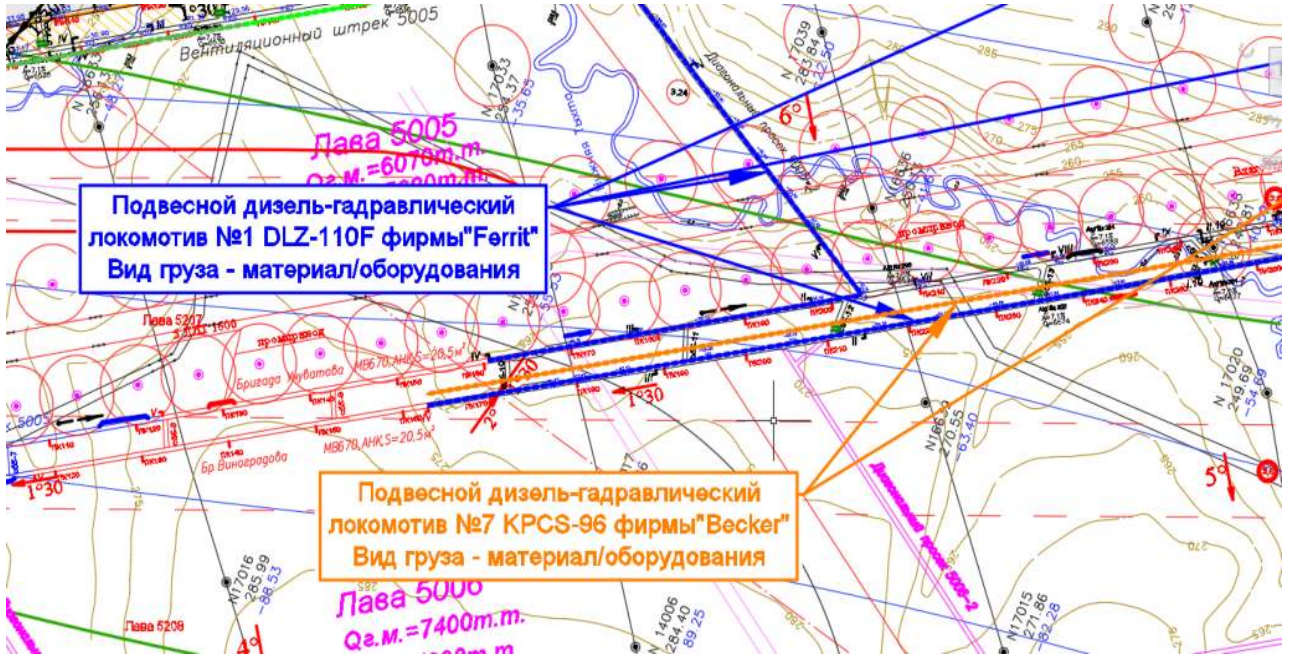


Рисунок 1.5 – Проведение вентиляционного штрека 5006 и конвейерного штрека 5005

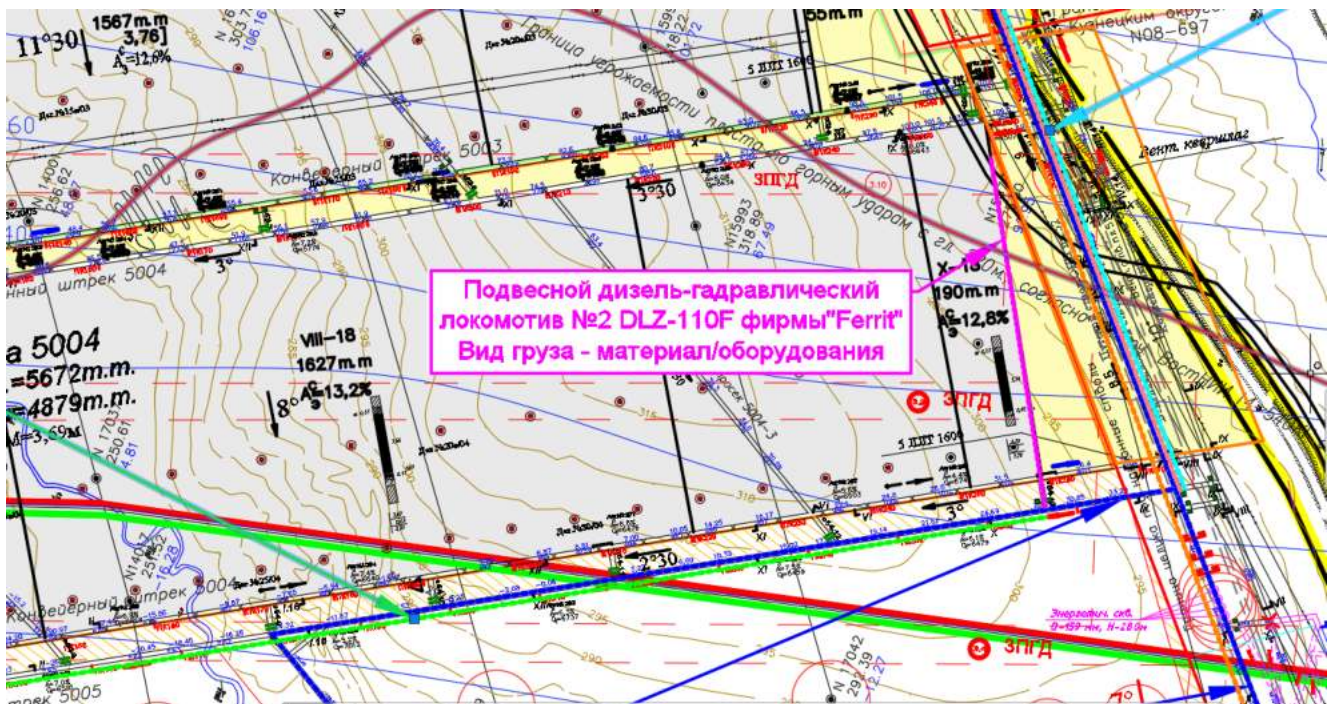


Рисунок 1.6 – Демонтажная камера лавы 5004

3. Выработки, оборудованные шлюзами. Пространство шлюза проветривается за счет утечек воздуха через ограждающие его перемачки или воздухом, проходящим через вентиляционные окна. Таким образом, во-первых, через шлюз обычно проходит малое количество воздуха, во-вторых, во внутришлюзовом пространстве присутствуют слабопроветриваемые «застойные» зоны, что при прохождении локомотива через шлюз может способствовать повышению концентраций выхлопных газов в этих зонах. Снижение вредных выбросов при помощи топливных добавок уменьшает вероятность превышения выхлопными газами предельно-допустимых концентраций. На рисунке 1.7 показан маршрут движения локомотива №13 через шлюз вентиляционного просека 5213.



Рисунок 1.7 – Шлюз вентиляционного просека 5213

4. Поддерживаемые выработки, проветриваемые по минимальной скорости движения воздуха. При прохождении маршрута движения дизельного локомотива через такие выработки в них необходимо подавать количество воздуха, достаточное для разбавления выхлопных газов ДВС. Снижение выхлопов позволит снизить расход воздуха в таких выработках (вплоть до минимальной скорости движения), и получить дополнительные резервы воздуха для его перераспределения на других «потребителей». Так, при подготовке

парными штреками, один из штреков предназначен для обслуживания следующего выемочного столба и при отработке предыдущего столба может проветриваться по минимальной скорости движения воздуха: см. например, конвейерный штрек 5214 при действующей лаве 5213 (Рисунок 1.8).

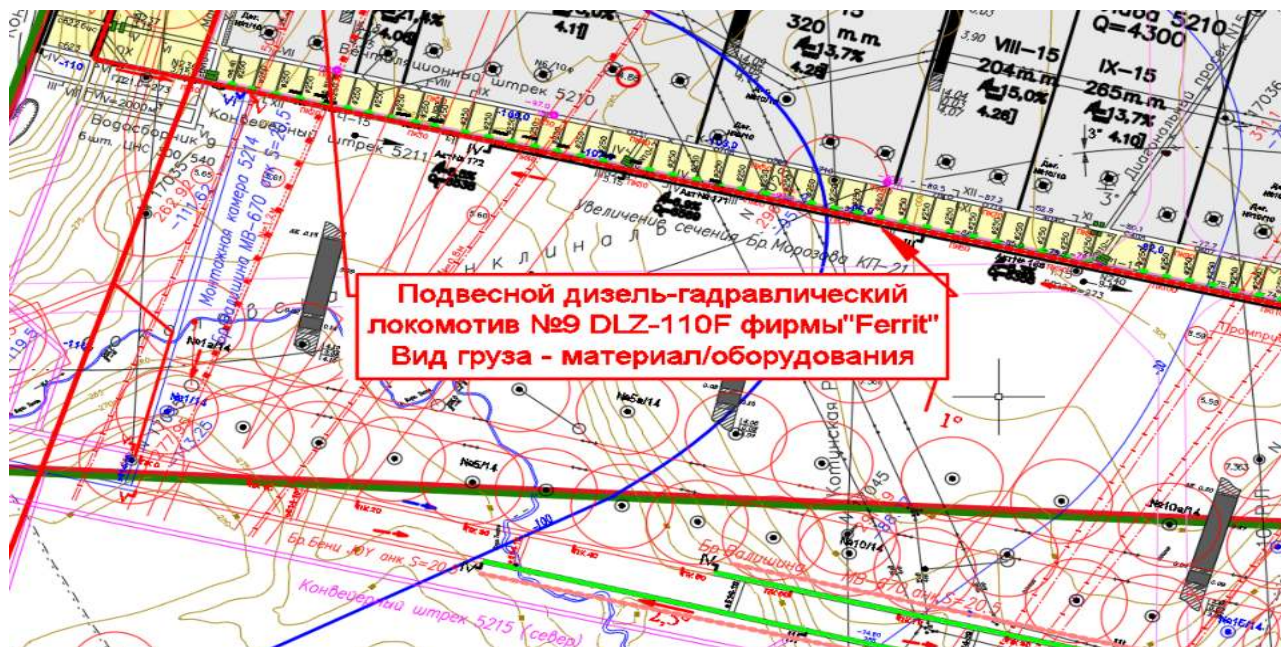


Рисунок 1.8 – Конвейерный штрек 5214

5. Выработки с двумя и более маршрутами движения дизельных локомотивов (Рисунки 1.9, 1.10). При работе нескольких дизелевозов в одной выработке, количество выбрасываемых выхлопных газов растет пропорционально общей мощности одновременно работающих двигателей, что может привести к превышению предельно-допустимых концентраций на рабочих местах.

В таблице 1.4 перечислены выработки шахты «им. В.Д. Ялевского», где могут одновременно работать два и более локомотива.

Для анализа действительного уровня загрязнения вредными газами указанных выработок при работе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) дизелевозов, необходимо проведение испытаний, включающих отбор проб в различных типах выработок при работе дизелевозов с их последующим анализом [38]. Отбор проб при этом должен осуществляться при различных режимах и комбинациях работы дизелевозов, в том числе следует обратить внимание на самые неблагоприятные участки, отобранные методом сравнения отношений

максимальной суммарной мощности одновременно работающих ДВС к количеству воздуха, проходящему по данной выработке [38].

Таблица 1.4 – Горные выработки, по которым проходит несколько маршрутов движения дизелевозов

Горная выработка	Пласт	Кол-во локомотивов	Номера маршрутов
Фланговый путевой квершлаг	50	2	№6, №12
Сбойка 1	50	2	№6, №12
Фланговый путевой ствол	50	2	№6, №12
Путевой ствол ФПП	50	2	№6, №12
Вентиляционный штрек 5005	50	2	№1, №5
Путевой ствол пл. 50	50	4	№1, №3, №7, №11
Путевой ствол ОПШ	50	2	№1, №7
Вентиляционный штрек 5006	50	2	№1, №7
Путевой ствол	52	2	№4, №16
Путевой штрек	52	2	№4, №16
Конвейерный штрек 5214	52	4	№4, №16, №13, №17
Вентиляционный просек 5214	52	2	№4, №17
Вентиляционный штрек 5214	52	2	№4, №17
Конвейерный штрек 5215	52	2	№4, №17

Для некоторых выработок (например, вентиляционный штрек смежного подготавливаемого или уже подготовленного выемочного столба, демонтажная камера и др.), в которых маршруты движения дизелевозов проходят вне маршрутов движения основной вентиляционной струи, возможно ухудшение параметров шахтного воздуха и требуется всесторонняя оценка аэротехногенного воздействия дизелевозов. Кроме того, нельзя исключать накопительный эффект при прохождении вентиляционной струи при одновременной работе нескольких дизелевозов (например, до 5 дизелевозов на шахте «им. В.Д. Ялевского») [14-16].

Вышеназванные факторы предопределяют различие в степени загазованности горных выработок и при оценке параметров шахтной атмосферы требуют учета одновременности работы дизелевозов и их режима. Таким образом, необходимо проведение дополнительных шахтных исследований по определению степени загазованности горных выработок выхлопными газами и потенциала её снижения [14-16, 31].



Рисунок 1.9 – Путь ствол пл.50 (4 маршрута)



Рисунок 1.10 – Конвейерный штрек 5214 (4 маршрута)



В таблице 1.5 приведено содержание в воздухе монооксида углерода и оксидов азота на главной исходящей струе при работе различного количества ДГЛ одновременно.

Таблица 1.5 – Концентрация газов на главной исходящей струе при работе ДГЛ

№ п/п	Количество маршрутов ДГЛ в выработках	Концентрация газов, об. %			
		CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	Оксиды азота
1	1 маршрут ДГЛ	2,02010	22,47114	0,00061	0,00002
2	2 маршрута ДГЛ	2,35157	20,92341	0,00092	0,00008
3	4 маршрута ДГЛ	3,14169	16,06285	0,00150	0,00020

Был проведен анализ объема угарного газа и оксидов азота, содержащихся в шахтном воздухе на исходящей струе шахты «им. В.Д. Ялевского» при работе дизелевозов, и в их отсутствии, результаты замеров представлены на рисунках 1.11, 1.12.

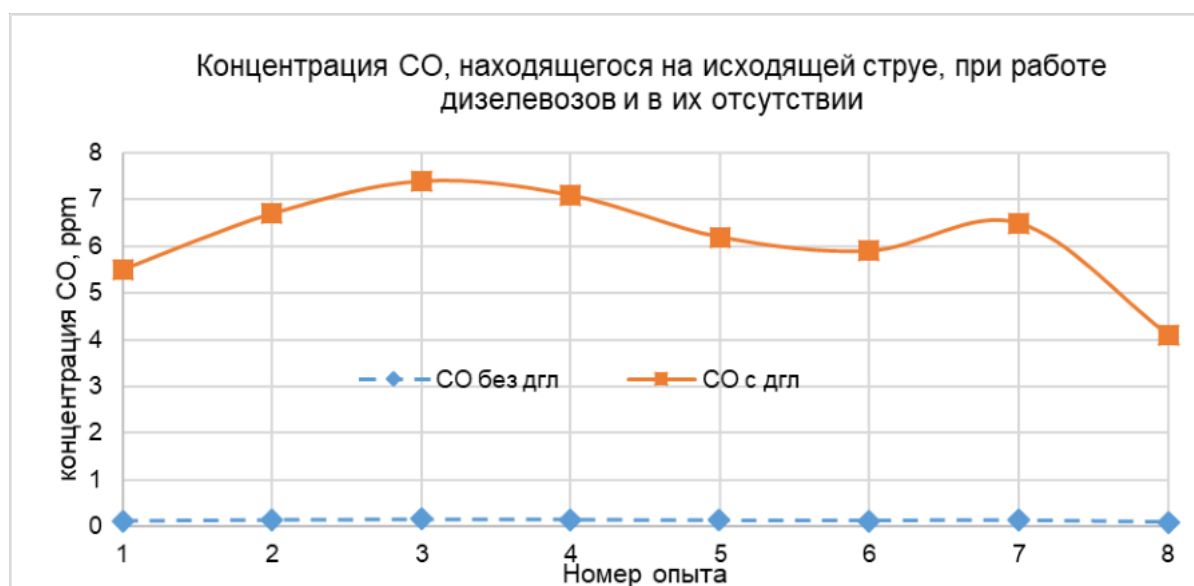


Рисунок 1.11 – Зависимость концентрации угарного газа на главной исходящей струе от наличия ДГЛ в выработке

Из данных рисунков 1.11–1.12 видно, что концентрация угарного газа и оксидов азота в шахтном воздухе при использовании ДГЛ возрастает до 90% в сравнении с составом воздуха в отсутствии ДГЛ.

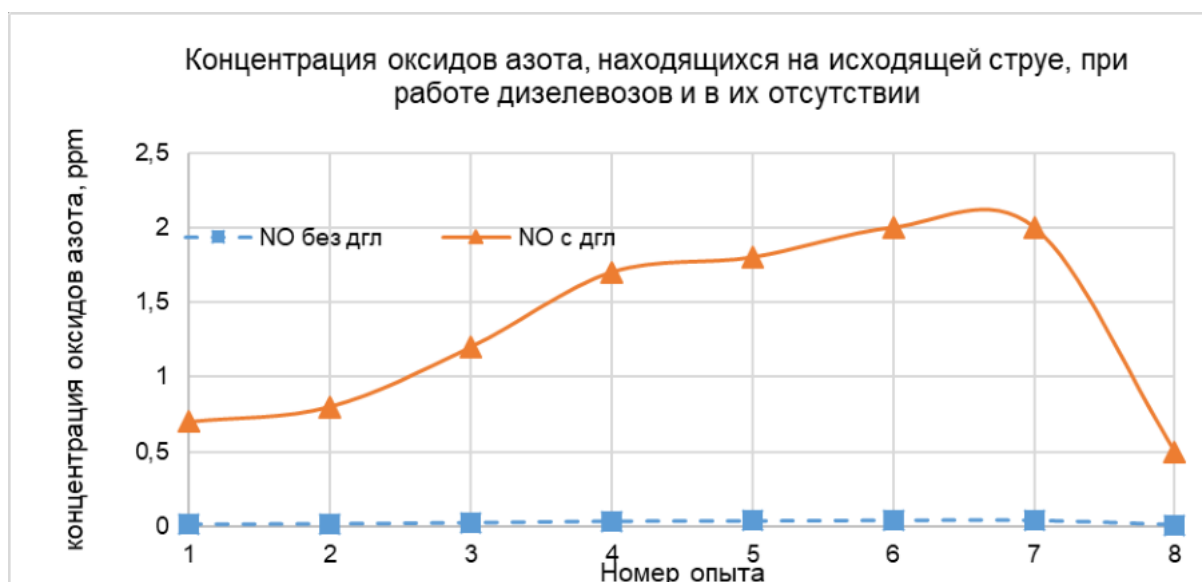


Рисунок 1.12 – Зависимость концентрации оксидов азота на главной исходящей струе от наличия ДГЛ в выработке

### 1.3 Требования, предъявляемые к составу шахтного воздуха

Главным документом, который регламентирует безопасные условия труда в угольных шахтах, является ПБ 05-618-03 «Правила безопасности в угольных шахтах». Значения концентраций вредных веществ в шахтном воздухе соответствуют значениям в таблице 1.6 [31].

Действующим нормативно-техническим документом для нормирования отработанных газов при работе дизельных двигателей в угольных шахтах [31] является Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12 января 2016 г N 7 "Об утверждении Руководства по безопасности "Рекомендации по использованию в угольных шахтах транспортных машин с дизельным приводом" [28], согласно которого ПДК выхлопных газов сведены в таблицу 1.6 [31].

Анализируя данные таблиц 1.6 и 1.7, можно сделать вывод о том, что значения выбросов оксидов азота и оксидов углерода превышают норму на выхлопе (при максимальной и минимальной нагрузке), однако концентрация диоксидов углерода превышает норму во всех местах измерения [14-16, 31].

Таблица 1.6 – Рекомендации по использованию в угольных шахтах транспортных машин с дизельным приводом [28]

Наименование газа	Максимально допустимая концентрация газа в действующих горных выработках [28]	
	мг/м <sup>3</sup>	ppm
угарный газ	20	17
оксиды азота	5	2,5
оксид азота IV	2	1
Сернистый ангидрид	10	3,8
сероводород	10	7

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1)» [38] предельно допустимые концентрации вредных веществ приведены в таблице 1.7 [31].

Таблица 1.7 – Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [31]

Вредные газы	Значение ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Особенности действия на организм
Азота оксиды	7	III	О
Углерода оксид	20	IV	О
Сернистый ангидрид	10	III	
Сероводород	10	II	О

Примечание: О - вещества с остронаправленным механизмом действия, требующие автоматического контроля за их содержанием в воздухе.

Опираясь на значения ПДК в ГОСТ 12.1.005-88, концентрации оксидов азота и оксидов углерода превышают норму на выхлопе (при максимальной и минимальной нагрузке) [31].

#### 1.4 Влияние вредных факторов на здоровье работников шахт

Из загрязнителей воздуха, производимых транспортными средствами, частицы выхлопных газов дизельных двигателей (ЧВГДД) составляют

значительный процент частиц, выбрасываемых в воздух [17-19]. При полном сжигании дизельного топлива образовывается только вода и двуокись углерода, но использование дизельного топлива в двигателях транспортных средств обычно приводит к неполному сгоранию и образованию различных газов, жидкостей и твердых частиц. По сравнению с бензиновыми двигателями, дизельные двигатели производят гораздо меньше оксида углерода, но при этом образуют большее количество оксидов азота и альдегидов, которые наиболее часто вызывают раздражение верхних дыхательных путей. Дизельные двигатели также производят субмикронные частицы сажи. Выбросы твердых частиц от дизельных двигателей на пройденное расстояние более чем в 10 раз выше, чем выбросы от бензиновых двигателей эквивалентной мощности, работающих на неэтилированном бензине, и более чем в 100 раз выше, чем выбросы от бензиновых двигателей, оснащенных каталитическими нейтрализаторами [16, 17].

Доза частиц, попадающих в легкие, зависит от их концентрации во вдыхаемом воздухе и от их размера. Частицы диаметром  $< 5$  мкм [18, 19] достигают альвеол и откладываются там, тогда как частицы размером более 5 мкм достигают только проксимальных дыхательных путей. 83 % частиц со средним массовым диаметром 2,5 мкм откладываются в легких, тогда как только 31% частиц размером 11,5 мкм могут откладываться [20]. Более 80 % частиц ЧВГДД имеют размер  $\leq 0,1$  мкм; ЧВГДД состоят из углеродистой сердцевины, подобной углеродной саже, на которой адсорбируется 18 000 различных высокомолекулярных органических соединений [21]. В состав выхлопных газов дизельного двигателя (ВГ), помимо частиц выхлопных газов дизельных двигателей, входят и такие вещества как монооксид углерода, оксиды азота, диоксид углерода, сернистые соединения, летучие углеводороды, формальдегид, переходные металлы и другие вещества, оказывающие негативное воздействие на организм человека [22-26].

Здоровье работников напрямую зависит от содержания в воздухе рабочих зон вредных летучих соединений, влияние основных из которых представлено в таблице 1.8 [27, 81-82].

Таблица 1.8 – Влияние вредных веществ в выхлопных газах на здоровье работников

Компонент	Объемная доля в выбросах при работе дизельного двигателя, %	Токсичность	Влияние на здоровье человека
Азот	76-78	Нетоксичен	Наркотическое состояние и удушье
Диоксид углерода	1-10	Нетоксичен	Бронхит, астма, др. болезни дыхательных систем
Оксид углерода	0,01-5,00	Токсичен	Мигрень, головокружение, при избытке – смерть
Углеводороды	0,009-0,500	Токсичны	Сильные канцерогены

Наибольшее влияние на здоровье человека оказывают выбросы диоксида азота и оксида углерода [3]. Основные характеристики газов, содержащихся в шахтном воздухе, непосредственно влияют на степень воздействия данных газов на организм человека и на возможность обнаружения его в воздухе рабочих зон.

Одним из основных является бесцветный, невидимый угарный газ (монооксид углерода), не имеющий запаха. Возможности человека не позволяют ощущать данный газ в воздухе, однако содержание угарного газа в воздухе рабочих зон достаточно высоко [3]. Угарный газ поступает в организм человека и попадает сразу в кровь, где молекулы газа объединяются с молекулами гемоглобина. Данная связь является более крепкой, чем связь молекул кислорода с молекулами гемоглобина. Исходя из этого можно сделать вывод, что чем больше угарного газа находится в воздухе рабочей зоны, тем меньше кислорода может удержаться в крови у человека, вследствие чего может образовываться кислородная недостаточность. При этом необходимо отметить, что содержание 1 % угарного газа в воздухе рабочей зоны в течение нескольких минут приводит к

тому, что происходит отмирание клеток в связи с нарушением их дыхания. К тому же, наличие данного газа в организме приводит к сердечным приступам [28]. Воздействие угарного газа на состояние и здоровье человека при вариативном содержании данного газа в воздухе рабочей зоны и различной длительности воздействия представлены в таблице 1.9.

Таблица 1.9 – Влияние действия угарного газа в различной концентрации на организм человека

Степень отравления угарным газом	Концентрация угарного газа в воздухе, % об.	Время воздействия угарного газа, ч	Степень воздействия угарного газа на организм человека
I	0,016	2-3	Почти незаметно
II	0,048	1	Слабое отравление
III	0,128	0,5-1	Тяжелое отравление
IV	0,400	кратковременно	Смертельное отравление

Исходя из вышесказанного, необходимо разработать мероприятия, позволяющие снизить содержание СО в отработанных газах.

Оксиды азота ядовиты, раздражают слизистые оболочки, могут вызвать отёк лёгких. Выделяют несколько стадий отравления человека оксидами азота. В начальной стадии появляются легкий кашель, слабость, головная боль. Через 30...60 минут наступает мнимое благополучие, которое длится 4 – 6 часов (иногда 20...30 часов). В это время начинается отёк лёгких, который сопровождается нарастанием боли в груди, кашлем, усилением одышки, что может привести к смертельному исходу. Смертельное отравление оксидами азота наступает при концентрации их в воздухе рабочей зоне 0,025 % [28-29].

Кислород — еще один бесцветный газ без вкуса и запаха, плотность данного газа больше плотности воздуха. Необходимость в потреблении кислорода человеком различна в зависимости от нагрузки на организм: при высокой нагрузке необходимость в кислороде составляет от 1 до 3,5 л/мин, при слабой нагрузке – 0,3 л/мин. Снижение содержания кислорода до 17—18 % вызывает одышку и учащенное сердцебиение, до 12 % приводит к обморочному состоянию, 9% - смертельный исход. Исходя из правил безопасности в угольных шахтах,

процент содержания кислорода в шахтном воздухе не должен снижаться менее 20 %. Снижение концентрации кислорода в шахтном воздухе может быть обусловлено тем, что кислород расходуется в процессе окисления угля, а также при работе двигателей дизель-гидравлических локомотивов, что приводит к повышению концентрации других вредных газов в воздухе рабочей зоны.

Диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ) — бесцветный газ со слабокислым вкусом и запахом. Плотность данного газа по отношению к плотности воздуха — 1,52. В зависимости от содержания данного газа в шахтной атмосфере изменяется и воздействие данного газа на организм человека. Например, при концентрации 1–2 % — учащается дыхание до 50 %; при 3–4 % — происходит кислородное голодание; при 8–10 % — человек теряет сознание. Углекислый газ образуется в рудничной атмосфере при ведении взрывных работ, шахтных пожарах, при работе двигателей дизель-гидравлических локомотивов, при выделениях из горных пород [28-30].

В условиях угольных шахт воздействие избытка угарного газа на человека может привести к сильнейшему отравлению организма, и, впоследствии, к летальному исходу, а воздействие других вредных газов приводит к ухудшению самочувствия, потере концентрации внимания, производственному травматизму и профессиональным заболеваниям.

### **1.5 Анализ отечественного и зарубежного опыта снижения выбросов при сжигании топлива дизелевозами**

Изучением вредного влияния отработанных газов при работе шахтного монорельсового оборудования на здоровье работников в России занимались и занимаются до сих пор Чеботарёв А.Г., Габидулина И.Ю., Измерова Н.И., Головкова Н.П., Борисенков Р.В., Матюхин Г.И. и др [37, 39, 43-47]. В своих статьях учёные описывают необходимость нормализации вредных выбросов в угольных шахтах, но не исследуют способы снижения данных выбросов.

Исследованиями изменения состава топлива и создания составов улучшенного дизельного топлива с добавками занимались такие отечественные

ученые, как Кондрашева Н.К., Данилов А.М., Крылов И.Ф., Лавренов А.В., Дворецкий С.И., Зазуля А.Н., Нагорнов С.А., Витер В.Н., Зубоко А.В., Смирнова Т. Н., Подгаецкий В. М., Васильев И.П., Козин В.Г., Башкирева Н.Ю. и другие [2, 8, 27, 23-27, 30, 71, 85-86]. В своих работах авторы описывали способы создания биотоплива и топлива с добавками и присадками, но для использования только в автомобильном транспорте. В шахтах и на рудниках проблема повышения экологичности топлива является не менее важной, чем при использовании наземной техники.

За рубежом данную проблему начали изучать раньше, чем в России, и также разрабатывали способы снижения влияния вредных выбросов от ДГЛ на подземных работах. Это отражено в работах американских, европейских, австралийских и других ученых [49-51, 55].

Американские ученые Susan T. Bagley, Winthrop F. Watts, Jason P. Johnson, David B. Kittelson, John H. Johnson, James J. Schauer, Steven E. Mischler, Jay F. Colinet и др. [52-56, 101-103] занимались изучением химического состава воздуха рабочих зон и физических характеристик двигателей ДГЛ до и после использования фильтров, альтернативного топлива и различных модификаций двигателей. В качестве эффективного способа снижения выбросов рассматривались двигатели с электронным управлением, но при этом способе снижение концентрации выбросов происходит только до значений, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК), разрешенные действующими нормами РФ.

В Питтсбургском университете [59-65] занимались методами контроля выбросов и снижением воздействия твердых частиц отработанных газов на работников шахт. При сжигании дизельного топлива твердые частицы составляют меньшую часть от общего количества выбросов, поэтому необходимо рассматривать методы, которые позволяют снижать одновременно и вредные газы.

В работах австралийских ученых [99-100] отражена взаимосвязь технического обслуживания двигателя и количества вредных выбросов при его



использовании [69, 75, 79]. В качестве способа улучшения условий труда в данных работах предлагается использование фильтров. Одним из главных недостатков данного способа является необходимость в постоянной замене фильтров, что значительно увеличивает затраты.

Вентиляция является основным средством разбавления атмосферных загрязнений на подземных работах [49, 75]. Большая часть оборудования в шахтах и рудниках – это транспорт с дизельными двигателями, которые производят токсичные газы, такие как угарный газ (CO) и оксиды азота (NO<sub>x</sub>), а также канцерогенное дизельное вещество (DPM) [111]. Количество воздуха для шахты обычно основывается на мощности двигателей дизельных транспортных средств, умноженной на единицу потребности в воздушном потоке, например, от 0,05 до 0,06 кубического метра в секунду на киловаттную мощность двигателя (м<sup>3</sup>/с на кВт), используемой в Австралии, или от 0,047 до 0,092 м<sup>3</sup>/с на кВт, используемой в Канаде (Таблица 1.10) [97].

Таблица 1.10 – Значения количества необходимого воздуха при работе дизельного оборудования в шахтах

№	Страна	Основание	Нормируемое значение
1	США [94]	Регулирует центральное (федеральное) правительство	0,048 м <sup>3</sup> /с на кВт
2	Австралия	Регулирует местное правительство (штат и территория)	0,06 м <sup>3</sup> /с на кВт НО! Если неочищенные выхлопные газы содержат менее 1500 ч/млн СО и 1000 ч/млн NO <sub>x</sub> , используют 0,05 м <sup>3</sup> /с на кВт
3	Канада [94]	Количество воздушного потока, необходимого для достижения Индекса качества выхлопных газов, равного 3	0,06 м <sup>3</sup> /с на кВт
4	Южная Африка	Рекомендации, основанные на наилучших практиках	Рекомендуемое значение - 0,06 м <sup>3</sup> /с на кВт

Данные требования к воздушному потоку указаны в местных правилах по охране труда и технике безопасности, однако обоснование данных значений в документах не представлено. В связи с этим, значения в требованиях, предъявляемых к количеству свежего подаваемого воздуха при работе дизель-гидравлических локомотивов, зачастую завышены [88-89].

Внедрение оборудования с двигателями Tier IV в горнодобывающей промышленности также требует пересмотра текущих требований. Хотя утверждается, что токсичные выбросы (газы и DPM) этих двигателей будут снижены на 90%, требования к воздушному потоку вряд ли уменьшатся на 90%. Тесты двигателей не были изучены авторами, так как не были доступны для тестирования во время этого исследования [101, 111].

Альтернативным вариантом снижения выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива является установка фильтров (модулей) в дизельный двигатель [32, 80, 112].

Внешние методы снижения вредных выбросов при работе ДВС:

1) Одним из методов снижения вредных выбросов при работе дизельных двигателей является использование сажевых фильтров, так как одним из компонентов отработанных газов являются частицы сажи, находящиеся во взвешенном состоянии. Данный тип фильтра располагается в двигателе на глушителе. Наиболее распространенными в наше время являются фильтры с полимерным наполнителем, керамические, гофрированные металлической пленкой (Рисунок 1.13). Максимальная эффективность от использования сажевых фильтров может достигать 85 %. Но вместе с этим, сажевые фильтры имеют ряд недостатков, например, фильтры требуют их частой замены и очистки, также их возможно применять только с малосернистым гидроочищенным дизельным топливом с улучшенными эксплуатационными характеристиками без добавок и присадок (что практически невозможно).



Рисунок 1.13 – Примеры коммерческого керамического дизельного сажевого фильтра

Так как действие сажевых фильтров однонаправленно, рекомендовано применять их в связке с нейтрализаторами, позволяющими одновременно снижать и другие вредные компоненты отработанных газов дизельных двигателей [75].

2) Вторым способом уменьшения содержания вредных веществ в выбросах ДВС при работе дизельного двигателя является применение жидкостных нейтрализаторов. Воздействие указанных нейтрализаторов направлено на удержание мелкодисперсных твердых частиц, которое проходит в несколько стадий:

— удержание твердых частиц достигается за счет поглощения частиц специальной жидкостью, в качестве которой может быть использована как вода, так и химические растворы, например, 10 % водный раствор сульфита натрия с добавкой 0,5 % гидрохинона;

— абсорбция вредных газов той же жидкостью.

При данных процессах необходимо соблюдение условия: температура отработанных газов должна быть ниже критической температуры рассматриваемых компонентов [75].

3) Помимо жидкостных нейтрализаторов существуют и каталитические нейтрализаторы, которые используются в дизельных двигателях [75, 110].

4) Еще одним способом для снижения концентрации вредных компонентов отработанных газов является использование термических реакторов (или термических нейтрализаторов), которые предназначены для перераспределения количества компонентов выхлопных газов, а именно, для догорания угарного газа,

углеводородов, альдегидов и других продуктов до конечных безвредных веществ ( $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ) при повышенных температурах (650-850°C) [75].

5) Одним из наиболее эффективных способов снижения вредных примесей отработанных газов – это применения комплексных систем очистки [75].

Принцип работы окислительных систем очистки отработанных газов основан при помощи объединения двух предыдущих методов: каталитических и термических нейтрализаторов. Для обеспечения дополнительным количеством воздуха данные системы используют пульсаторы, насосы или эжекторы. Пульсаторы имеют ограниченный срок эксплуатации и небольшую пропускную способность, эжекторы, в свою очередь, могут частично выбрасывать отработанные газы, насосы требуют для работы определенный привод, усложняющий конструкцию двигателя [75].

Одним из ключевых компонентов, который повышает эффективность очистки и уменьшает загрязняющие вещества, является катализатор. Переходные металлы, такие как медь, ванадий, никель могут эксплуатироваться, но их использование в качестве катализатора ограничивается из-за низкой стабильности при повышенных температурах, и из-за высокой чувствительности к загрязнению топлива (Таблица 1.11) [76, 92].

Таблица 1.11 – Активные компоненты катализаторов для очистки выхлопных газов

№	Металл, используемый в катализаторе	Эффект при использовании
1	Медь	Исп. редко: низкая стабильность к высоким температурам и чувствительность к загрязнению топлива
2	Ванадий	
3	Никель	
4	Платина	Исп. чаще всего: высокая термостойкость и хорошие характеристики
5	Палладий	
6	Родий	Исп. иногда: для ускорения окисления $\text{NO}_x$

Активные вещества, такие как платина (Pt) и палладий (Pd), чаще всего применяются в катализаторах благодаря их высокой термостабильности и хорошей производительности. Родий (Rh) иногда используется для ускорения окисления  $\text{NO}_x$  на катализаторах [76-77].

Монолит или соты - это наиболее часто используемая подложка для применения катализаторов благодаря своим нескольким преимуществам. Монолитная структура доступна в виде керамики и металла с переменным каналом, формой и размером.

Основные реакции, проходящие на катализаторах:



Применение биодобавок, биокомпонентов и биодизельного топлива в традиционных дизельных двигателях значительно снижает выбросы в атмосферу углеводородов, оксида углерода, сульфатов, ароматических углеводородов и твердых частиц [4]. Использование биодизельного топлива в чистом виде (B 100) уменьшает риск раковых заболеваний на 94%. Смесь, состоящая из 20% биодизеля и 80% обычного дизеля (B 20), уменьшает риск раковых заболеваний на 27%. Благодаря тому, что биодизель не содержит серы, при его сжигании в атмосферу не поступает диоксид серы. А высокое содержание в биодизеле кислорода способствует более полному сжиганию СО. Кроме того, в выбросах сокращается содержание углерода в твердых частицах. В связи с этим биодизель прекрасно подходит для такой технологии контроля выбросов в атмосферу как каталитический нейтрализатор. По сравнению с нефтяным дизельным топливом, при сжигании чистого биодизеля объемы выбросов в атмосферу диоксида углерода уменьшаются более чем на 75%, а при сжигании смеси из 20% биодизеля - на 15% (Таблица 1.12) [11, 12].

Исходя из данных, представленных в таблице 1.12, одним из эффективных способов коллективной защиты от влияния вредных газов на работников является использование биодобавок (добавок) к нефтяному дизельному топливу.

Таблица 1.12 – Выбросы в атмосферу при сжигании биодизельного топлива

Вещество	Процентное соотношение концентрации веществ
СО	– 40 %
С <sub>x</sub> Н <sub>y</sub>	– 50 %
Твердые частицы	– 50 %
N <sub>x</sub> O <sub>y</sub>	+ 3 %

Таким образом, из анализа отечественного и зарубежного опыта снижения выбросов при сжигании топлива дизель-гидравлическими локомотивами следует, что значительного снижения концентрации вредных газов в воздухе рабочих зон возможно достичь за счет комплексного подхода, предусматривающего использование современных ДГЛ с двигателем на электронном управлении, применение фильтров на выхлопе, своевременное и качественное обслуживание техники и использование биодизельного топлива (или добавок) в смеси с нефтяным дизельным топливом.

### Выводы по главе 1

1. Анализ состояния загазованности горных выработок угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс» показал, что при движении ДГЛ по капитальным выработкам количество подаваемого воздуха недостаточно для разжижения вредных выбросов до нормативных значений.

2. Для выработок, в которых движение ДГЛ проходит вне основной вентиляционной струи, требуется всесторонняя оценка влияния отработанных газов на здоровье работников с учетом одновременно работающих дизель-гидравлических локомотивов, режима их работы (под нагрузкой или без) и интенсивности движения.

3. Как показал анализ результатов СОУТ, эффективность проводимых на шахтах мероприятий по снижению выбросов отработанных газов недостаточна.

На рабочих местах горнорабочего подземного, машиниста ДГЛ зафиксированы вредные условия труда по химическому фактору. На рабочем месте машиниста и в 20 метрах от ДГЛ и других основных замерных точках есть превышения по диоксиду углерода, на выхлопе – дополнительно превышение по угарному газу и оксидам азота.

4. Снижение концентрации вредных газов в воздухе рабочих зон при сжигании топлива ДГЛ возможно достичь за счет комплексного подхода, предусматривающего использование современных ДГЛ с двигателем на электронном управлении, применение фильтров на выхлопе, своевременное и качественное обслуживание техники и использование добавок к нефтяному дизельному топливу.

## **ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА ДОБАВОК К ДИЗЕЛЬНОМУ ТОПЛИВУ, СНИЖАЮЩИХ КОНЦЕНТРАЦИЮ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ**

### **2.1 Обоснование применения добавок в качестве способа снижения концентрации вредных газов**

Значительного снижения концентрации вредных выбросов при работе ДГЛ возможно достичь за счет комплексного подхода, предусматривающего реализацию на практике сразу нескольких средств.

Наиболее распространенным способом снижения вредных соединений в воздухе рабочей зоны шахт при работе ДГЛ является разбавление шахтного воздуха чистым до необходимых концентраций, однако эффективно применять данный способ возможно не по всей шахте [106-109].

В связи с этим возникает необходимость в разработке мероприятий, позволяющих снизить концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны без подачи дополнительного объема свежего воздуха.

Особое внимание следует уделить разработке добавок к дизельному топливу для снижения вредных выбросов [9]. Применение добавок (добавка представляет собой биодизельное топливо в меньшем процентном количестве в смеси с дизельным топливом) в традиционных дизельных двигателях значительно снижает количество выбрасываемых углеводородов, оксидов углерода, сульфатов и твердых частиц, токсичных и канцерогенных веществ [4].

Благодаря тому, что биодизель не содержит серы, при его сжигании в шахтную атмосферу не поступает диоксид серы. А высокое содержание в добавках кислорода способствует более полному сжиганию СО [4].

### **2.2 Методы исследования свойств разработанной добавки и дизельного топлива**

В данной работе основными образцами для исследования являлись базовое гидроочищенное дизельное топливо, разработанные и синтезированные добавки, а также смесь дизельного топлива с добавками (Рисунок 2.1).



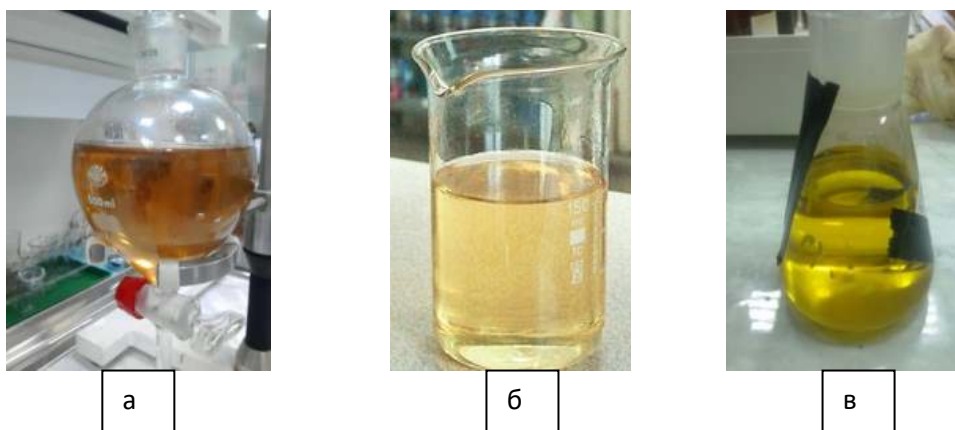


Рисунок 2.1 Образцы топлива, разрабатываемые и исследуемые в работе  
а – биодизель (добавка), б – дизельное топливо, в – смесь ДТ с добавкой

В разделе рассмотрены основные методы исследования состава и физико-химических характеристик полученных образцов.

На данный момент существует множество методов испытаний добавок (или биодизеля). На наш взгляд, наиболее полным и близким к требованиям Российского стандарта ГОСТ Р 53605-2009 является стандарт EN14214, разработанный Европейской организацией стандартов. Методы определения качества добавок, использованные в работе, соответствуют требованиям стандарта EN14214 и приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Основные методы исследования биодизеля (добавок) по стандарту EN14214

№ п/п	Наименование показателя	Методы тестирования по стандарту EN 14214
1	Содержание эфира	EN 14103
2	Плотность при 15°C	EN ISO 3675, EN ISO 12185
3	Вязкость при 40°C	EN ISO 3104
4	Температура вспышки	ISO / CD 3679
5	Сера	EN ISO 20846, EN ISO 20884
6	Цетановое число	EN ISO 5165

Основные показатели качества, которые нормируются в данном стандарте – плотность, вязкость, температура вспышки, содержание серы, цетановое число и, собственно, содержание эфира. Эти показатели определяют пригодность применения данного вида топлива в двигателе внутреннего сгорания. Высокая

вязкость топлива ухудшает его прокачиваемость в системе топливоподачи. Низкая температура вспышки препятствует своевременному воспламенению топливовоздушной смеси в камере двигателя.

Для обеспечения нормальной эксплуатации дизельного двигателя необходимо применять топлива с величиной цетанового числа на уровне 45-55. Понижение данного показателя относительно данной нормы приведёт к быстрому износу двигателя, а увеличение – к чрезмерному и неэкономичному расходу топлива.

Характеристики полученного топлива с добавками исследовали на соответствие требованиям ГОСТ Р 52368 [6], используя методы, представленные в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Основные методы исследования ДТ и ДТ с добавками согласно требованиям ГОСТ Р 52368 на дизельное топливо [6]

Показатель	Метод испытания по ГОСТ Р 52368
Цетановое число	ГОСТ Р 52709
Цетановый индекс	расчетный метод цетанового индекса
Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	ГОСТ Р 51069
Содержание серы, мг/кг	ГОСТ ISO 20884
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	ГОСТ Р ЕН ИСО 2719
Зольность, % (по массе)	ГОСТ 1461
Коррозия медной пластинки (3 ч при 50 °С)	ГОСТ ISO 2160
Окислительная стабильность	ГОСТ Р ЕН ИСО 12205
Смазывающая способность: скорректированный диаметр пятна износа при 60 °С, мкм	ГОСТ Р ИСО 12156-1
Кинематическая вязкость при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	ГОСТ 33
Фракционный состав:	ГОСТ 2177 (метод А)
Содержание метиловых эфиров жирных кислот, % (по объему)	ГОСТ EN 14078

Метод определения качественного и количественного состава добавок и дизельного топлива не регламентируется вышеперечисленными стандартами. Определение группового углеводородного состава представительных образцов

дизельного топлива и дизельного топлива с добавкой было проведено на газовом хромато-масс-спектрометре GCMS-QP2010 SE Shimadzu [82].

Сущность физического метода масс-спектрометрии основана на ионизации молекул представительного образца с последующим разделением ионов по величине отношения массы к заряду и детектированием.

Для проведения испытаний по определению группового углеводородного состава представительных образцов дизельного топлива и дизельного топлива с добавкой был использован газовый хромато-масс-спектрометр GCMS-QP2010 SE Shimadzu (Рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Газовый хромато-масс-спектрометр GCMS-QP2010 SE Shimadzu

Порядок проведения испытания:

1. Представительные образцы дизельного топлива и дизельного топлива с добавкой в количестве 10 мкл растворяли в 1 мл  $\text{CCl}_4$ .

2. Микрошприцом набирали 1 мкл навески представительного образца дизельного топлива и дизельного топлива с добавкой, смешанных с  $\text{CCl}_4$  и вводили в колонку.

3. Параметры колонки: HP-5MS – неполярная, длина – 30 м, толщина – 0,25 мм, толщина покрытия – 0,25 мкм.

4. Параметры съемки: температура испарителя 280 °С, температура интерфейса 280 °С, температура колонки 50 °С – 2 мин; газ-носитель – He; скорость газа в колонке – 1 мл/мин. Скорость нагрева 10 °С/мин до 290 °С, выдерживание изотермы 290 °С – 30 мин.

Идентификацию соединений производили по библиотеке масс-спектров NIST MS 2011 и по индексам удержания, рассчитанным по нормальным парафинам. Расшифровку хроматограмм производили по общему ионному току (TIC) с нормировкой по площадям.

Таким образом, в результате анализа стандартов по определению физико-химических и эксплуатационных характеристик дизельного топлива, добавок и дизельного топлива с добавками, выбраны методы для лабораторных исследований разработанных образцов.

### 2.3 Лабораторные исследования по получению и исследованию свойств добавок

Добавки представляют собой биодизельное топливо, используемое в количестве до 10 % масс. в смеси с базовым дизельным топливом. Сырьем для производства добавки (или биодизельного топлива) служит большой спектр различных веществ: от растительных масел до водорослей и отходов производства [10, 34]. В зависимости от сырья биодизель классифицируется по поколениям. К первому поколению относятся топлива, получаемые из сахара, крахмала, пищевого растительного масла и животного жира, используя различные технологические процессы. Для производства биодизельного топлива второго поколения сырьевую базу расширяют за счет использования биологической массы, состоящей из остаточных непищевых частей растений, таких как стебли, листья, шелуха, оставляемых после извлечения пищевой части. Самым распространенным сырьем для производства биодизеля являются растительные масла (Рисунок 2.3) [34].

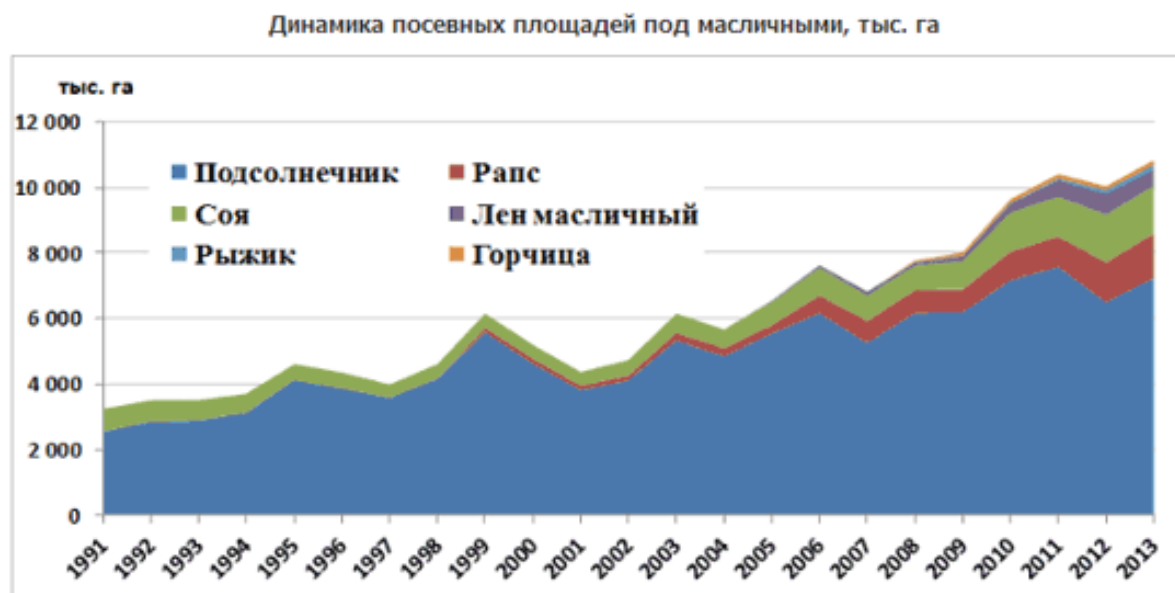


Рисунок 2.3 – Динамика посевных площадей растительного сырья

Как видно из рисунка 2.3 за последние 15 лет количество выращиваемых культур увеличилось практически в 2 раза. Характеристики основных масел, из которых производили добавки, представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Характеристики растительных масел

Наименование показателя	Рыжиковое масло	Льняное масло	Кукурузное масло
Кислотное число, мг КОН/г	4,0	2,0	4,5
Массовая доля нежировых примесей, %	0,1	0,05	0,03
Массовая доля фосфоросодержащих веществ, %, в пересчете на стеароолеолецитин	0,8	0,4	0,4
Массовая доля влаги и летучих веществ, %	0,12	0,2	0,15
Коэффициент преломления при 20 °С	1,4745	1,480	1,475
Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup>	0,920	0,926	0,925
Йодное число, г I <sub>2</sub> /100 г	132	170	111
Массовая доля неомыляемых веществ, %	0,3	1,0	0,5
Число омыления, мг КОН/г	181	184	189
Перекисное число, ммоль O <sub>2</sub> /кг	8	10	10

Основные кислоты, входящие в состав данных масел, и их процентное содержание представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Жирнокислотный состав растительных масел, используемых при производстве добавок

Наименование кислоты	Содержание кислоты, %		
	Льняное	Кукурузное	Рыжиковое
пальмитиновая	9,0-11,0	5,0-8,0	6,5-9,0
стеариновая		До 6,2	
олеиновая	13,0-29,0	23,0-49,0	27,0
линолевая	15,0-30,0	48,0-56,0	14,0-14,5
линоленовая	44,0	0,5-0,8	20,0-38,0

Жирнокислотный состав растительных масел, относящихся к классу полувывсыхающих, сильно не различается.

Существует несколько способов получения биодизельных топлив: этерификация жиров и жирных кислот, переэтерификация липидов и растительных масел и др.

Одним из наиболее распространенных методов производства биодизеля является переэтерификация растительных масел – химическая реакция обмена структурных элементов жиров (Рисунок 2.4, 2.5). При переэтерификации изменяется молекулярный состав триглицеридов, вследствие чего меняются и физико-химические характеристики продуктов. Полученные продукты имеют значительно меньшую молекулярную массу и вполне пригодны для прямого использования в качестве топлива для дизельных двигателей [13, 35].

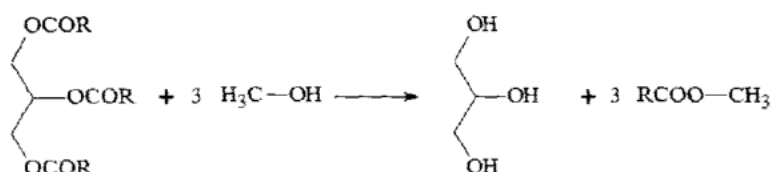


Рисунок 2.4 – Схема процесса переэтерификации растительных масел [13]

По одной из существующих методик, для получения метилового эфира необходимо к девяти массовым частям растительного масла добавить одну массовую часть метанола (в случае получения этилового эфира используют этанол), а также небольшое количество щелочного катализатора. Ингредиенты перемешивают в специальных реакторах при температуре 50-80°C и нормальном атмосферном давлении. После отстаивания и охлаждения жидкость расслаивается на две фракции: глицерин (тяжелая) и метиловый эфир (легкая) [13].

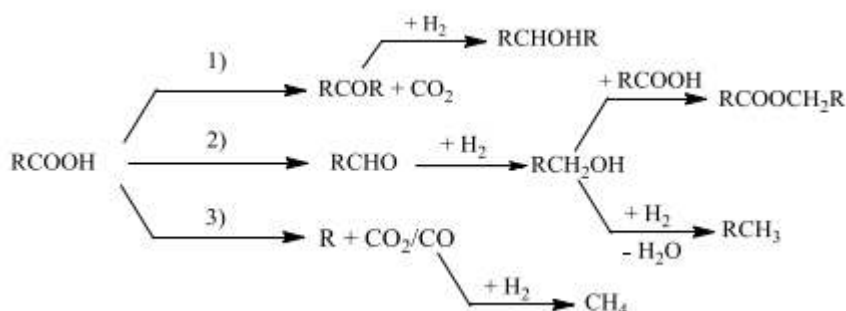


Рисунок 2.5 – Основные пути реакции карбоновых кислот [13]

Для получения добавок синтез эфира осуществляли путем проведения реакции переэтерификации триглицеридов растительного (кукурузного, рапсового, льняного) масла различными спиртами. Процесс переэтерификации растительного масла бутиловым спиртом проводили следующим образом. В трехгорлой колбе 1 (Рисунок 2.6) объемом 250 мл готовили смесь реагентов: бутиловый спирт и растительное масло.

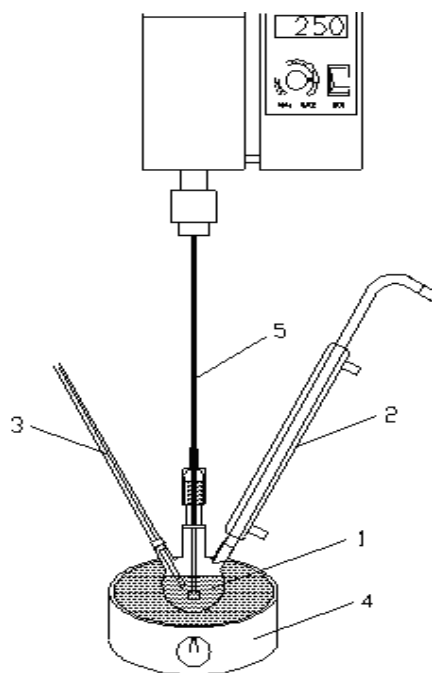


Рисунок 2.6 – Лабораторная установка для проведения процесса этерификации триглицеридов растительного масла спиртами: 1 - трехгорлая колба, 2 - обратный водяной холодильник, 3 – ртутный термометр, 4 – колбонагреватель, 5- автоматическая мешалка

Для определения наиболее подходящего состава изучали различные соотношения смеси. Зависимость выхода добавки от соотношения масло:спирт представлена на рисунке 2.7.

В трёхгорлую колбу помещали мешалку 5, устанавливали обратный водяной холодильник 2 и ртутный термометр 3. Колбу ставили на песчаную баню 4. Интенсивность перемешивания регулировали на мешалке, устанавливая 200, 250 и 300 об./мин (Рисунок 2.8). Нагрев и перемешивание начинали одновременно. После нагревания масла к нему приливали спирт и катализатор, отмеренный пипеткой.

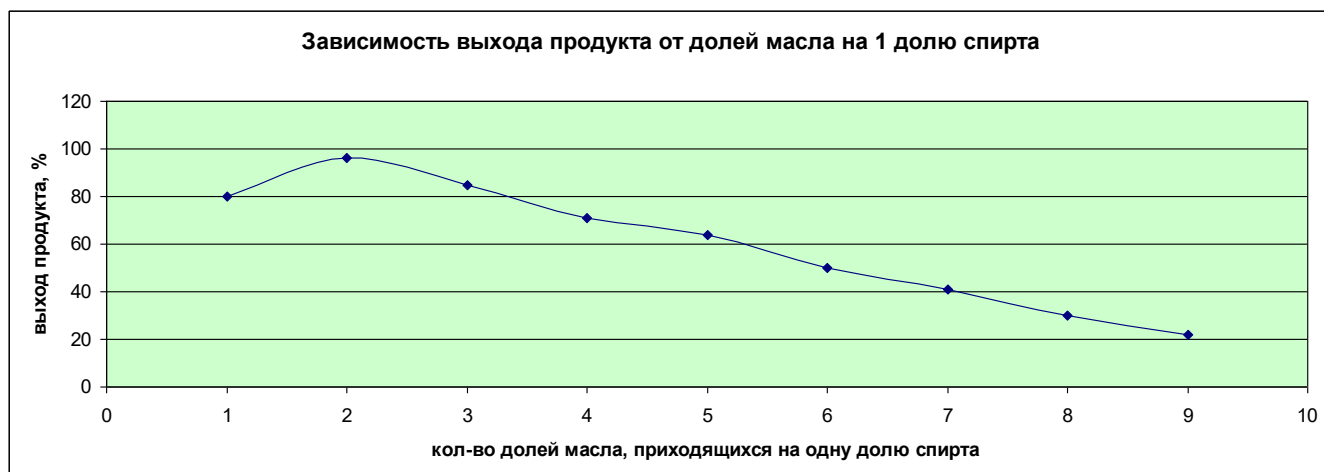


Рисунок 2.7 – Кривая зависимости выхода добавки от долей масла на 1 долю спирта

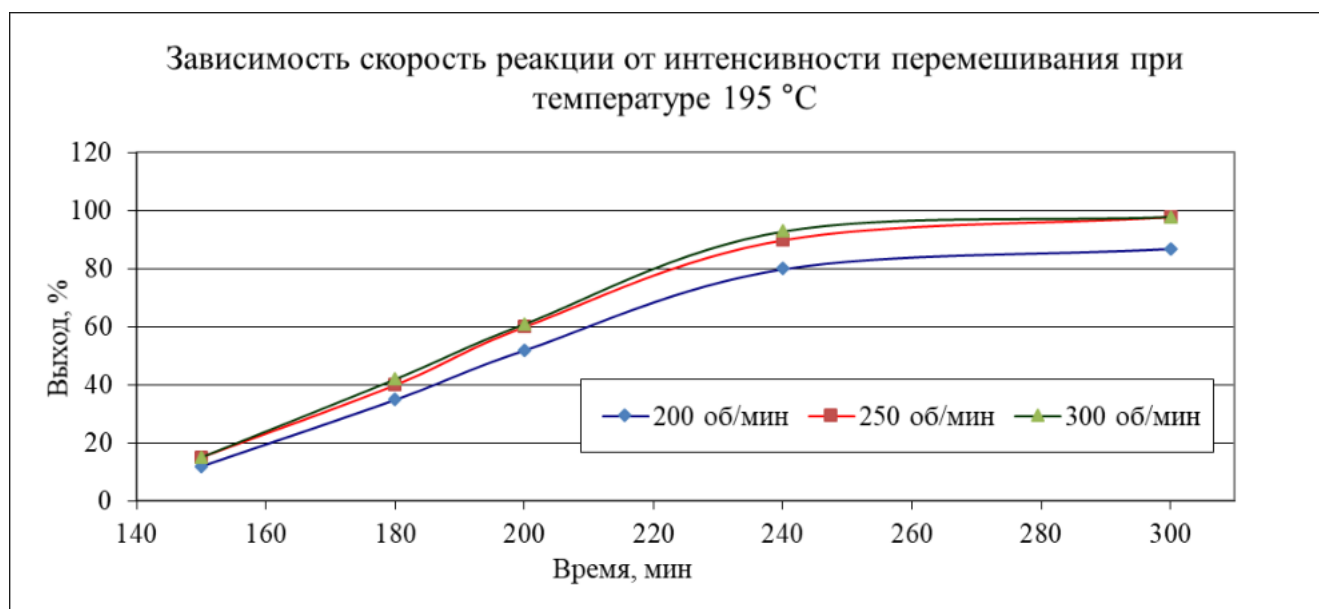


Рисунок 2.8 – Кривые зависимости скорости реакции от интенсивности перемешивания при температуре 195°С

Переэтерификацию растительного масла двухатомным спиртом проводили при температурах 140, 175 и 195 °С (Рисунок 2.9). Выбор температурного диапазона обусловлен следующими соображениями: при более низких температурах реакция протекает очень медленно, более высокие температуры требуют повышения давления, так как температура кипения двухатомного спирта 197 °С [13].



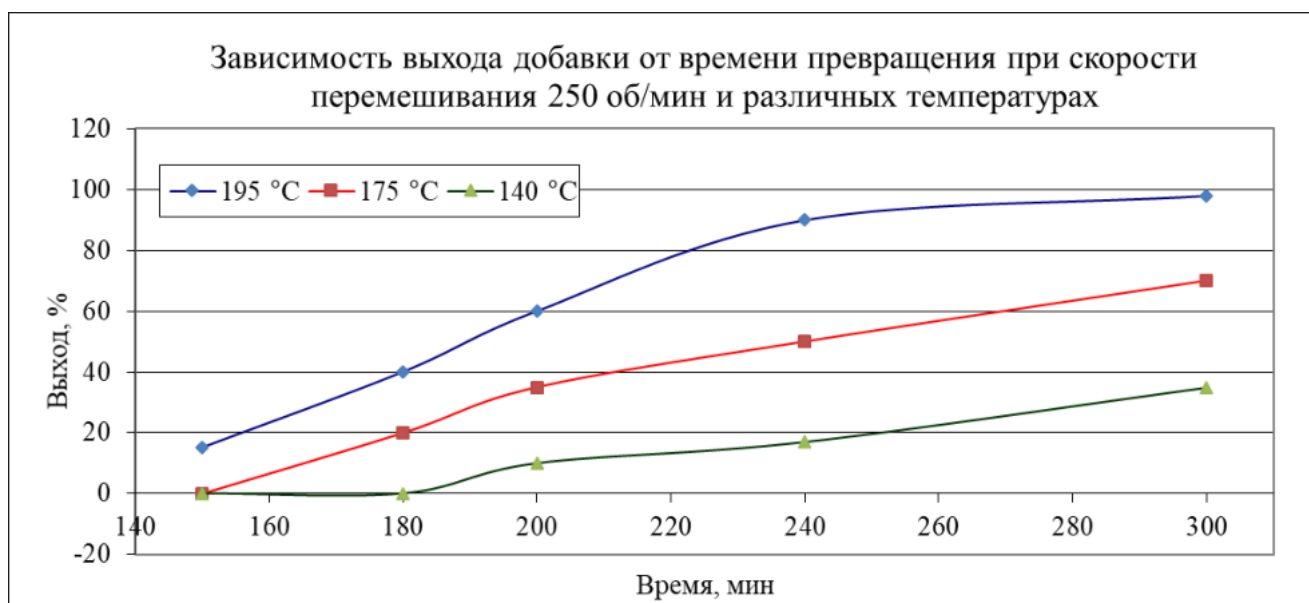


Рисунок 2.9 – Кривые зависимости выхода продукта от времени превращения при скорости перемешивания 250 об/мин и различных температурах

Продолжительность опытов составляла 150, 180, 200, 240 и 300 мин (Рисунок 2.10).

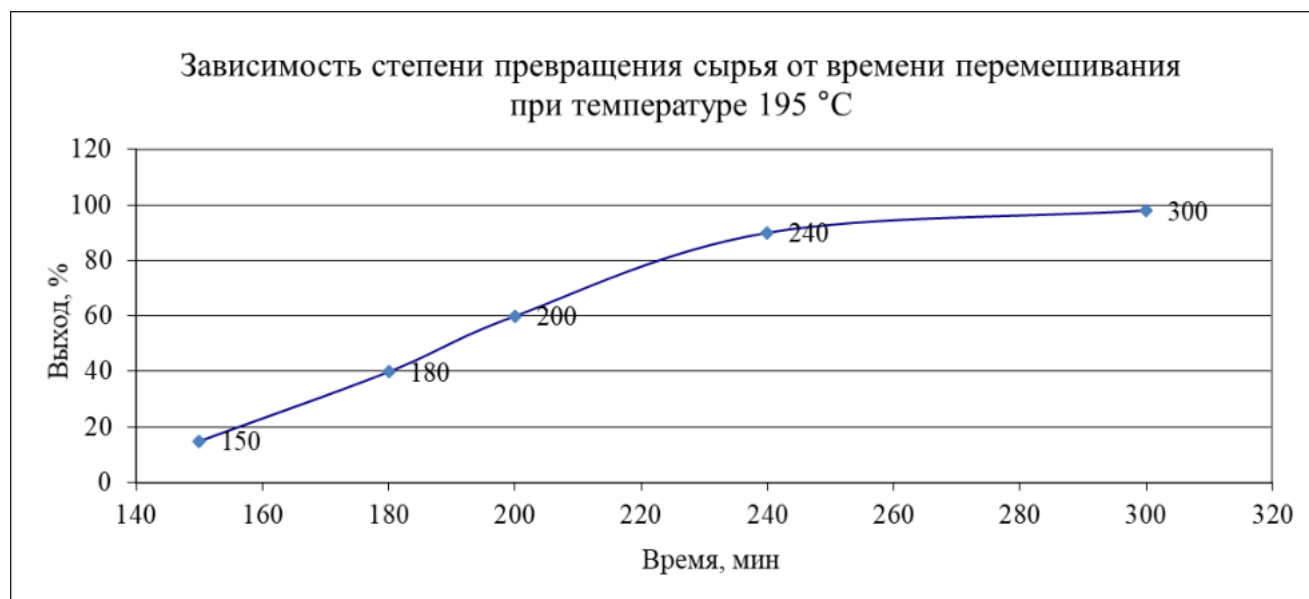


Рисунок 2.10 – Зависимость степени превращения сырья от времени перемешивания при температуре 195°C

По окончании опытов смесь продуктов остужали, давали отстояться в течение 3-4 дней, затем разделяли фазы — эфирную и глицириновую. Основная часть кислоты после проведения реакции концентрируется в глицириновой фазе. Оставшуюся в эфирной фазе часть кислоты нейтрализовали карбонатом  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Затем несколько раз эфир промывали горячей водой, после чего в делительной

воронке отделяли эфир от воды. Далее обезвоженный  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  добавляли к отделенному эфиру для удаления возможно оставшейся воды и ждали около 60 минут, после чего проводили фильтрацию [85].

Проанализировав различные составы, время перемешивания и температуру, определили, что наиболее рационально использовать температуру  $195\text{ }^\circ\text{C}$ , так как при ней достигается наибольшая скорость реакции. Чем дольше протекает реакция, тем более высокий выход эфира, таким образом, время проведения реакции должно быть около 240 минут. Оптимальным составом является соотношение по массе (масло: спирт) 2:1, или 103 г: 50 г.

Для проведения процесса переэтерификации растительных масел с максимальным выходом целевого продукта и при высокой скорости необходимо использовать в процессе катализаторы. В процессе использовали два типа катализатора: щелочной и кислотный.

Исходя из литературных источников [57, 67, 84], максимальная скорость достигалась при использовании щелочного катализатора, а именно, гидроксида натрия или гидроксида калия. Поэтому первым шагом было применение именно гидроксида калия в качестве катализатора. Отмеренное количество катализатора вводили в бутиловый спирт, растворяли, после чего смесь спирта со щелочью вводили в подогретое растительное масло. По результатам экспериментов наблюдалось отсутствие протекания реакции переэтерификации, либо данная реакция протекала с низкой скоростью, вследствие чего не была обнаружена. К тому же стоит отметить, что при использовании щелочей в качестве катализаторов, протекает побочная реакция омыления находящихся в растительном масле триглицеридов, блокирующая протекание целевой реакции. Исходя из этого был сделан вывод о том, что необходимо использовать в качестве катализатора в процессе переэтерификации растительных масел кислот.

Вторым шагом было использование концентрированной серной кислоты (98 %) в количестве 1 % масс. в качестве катализатора в процессе переэтерификации растительных масел. О действии катализатора можно судить по быстрому снижению вязкости реакционной смеси в ходе реакции, а также по

изменению цвета, перехода от светло-желтого к темно-коричневому. Исходя из описанного выше можно сделать вывод о том, что наиболее целесообразно и эффективно использовать в качестве катализатора процесса переэтерификации растительных масел спиртом – концентрированную серную кислоту (ГОСТ 4204-77).

После проведения реакции переэтерификации растительных масел и получения смеси сложных эфиров были проанализированы эксплуатационные, физико-химические и экологические характеристики добавок, представленные в таблице 2.5 [66].

Таблица 2.5 – Физико-химические параметры эфиров растительных масел

Свойство	Единицы	Добавка на основе рыжикового масла	Добавка на основе льняного масла	Добавка на основе кукурузного масла
Содержание эфира	% (m/m)	96,5	95	94
Плотность при 20°C	кг/м <sup>3</sup>	0,87659	0,870	0,8758
Вязкость при 40°C	мм <sup>2</sup> /с	4,5719	5,0	4,492
Температура вспышки	°C	150	135	120
Сера	мг/кг	5,5	6,8	8,51
Цетановое число		56	53	51
Температура застывания	°C	-11	-9	-7
Показатель преломления		1,4506	1,4505	1,4505
Фракционный состав	°C	275-300	280-310	299-350

Наилучшим сырьем для получения биодизеля по механизму переэтерификации является рыжиковое масло, т.к. в нем наименьшее содержание серы (5,5 ppm), наибольшая температура вспышки (150 °C), наибольшее цетановое число (56), а также наименьший диаметр пятна износа (553 мкм).

Однако по приведенным характеристикам добавок невозможно спрогнозировать их влияние на эксплуатационные и экологические характеристики дизельного топлива с добавками, а также нельзя определить,

будут ли соответствовать свойства дизельного топлива с добавкой требованиям стандарта на дизельное топливо ГОСТ Р 52368 [6]. Поэтому следует изучить смеси ДТ со всеми полученными ранее эфирами.

Основными компонентами полученных добавок являются сложные эфиры жирных кислот, содержащихся в растительном масле. С помощью хромато-масс спектрометра Agilent 5973 в неполярной колонке DB-Petro длиной 100 метров был получен количественный и качественный состав синтезированных соединений (Таблица 2.6). Количество эфиров составило 60,03% масс. [74, 98, 105].

Таблица 2.6 – Состав эфирной части в процессе переэтерификации растительных масел

№	Название эфира	%
1	бутиловый эфир энантовой кислоты	0,86
2	бутиловый эфир каприловой кислоты	0,9
3	бутиловый эфир пеларгоновой кислоты	0,87
4	бутиловый эфир каприновой кислоты	5,26
5	дибутиловый эфир глутаровой кислоты	0,23
6	бутиловый эфир лауриновой кислоты	0,25
7	бутиловый эфир миристиновой кислоты	0,31
8	дибутиловый эфир пеларгоновой кислоты	0,49
9	дибутиловый эфир себаценовой кислоты	3,07
10	бутиловый эфир пальмитиновой кислоты	10,43
11	бутиловый эфир элаидиновой кислоты	7,63
12	гексадеценовый эфир элаидиновой кислоты	6,57
13	бутиловый эфир олеиновой кислоты	8,94
14	метиловый эфир линолевой кислоты	3,39
15	бутиловый эфир элаидиновой кислоты	1,23
16	эфир карбаминовой кислоты	0,89
17	диметилэтиловый эфир пропеновой кислоты	0,49
18	метиловый эфир эйкозеновой кислоты	6,36
19	бутиловый эфир уксусной кислоты	1,86

По данным таблицы 2.6 видно, что основными эфирами являются бутиловые, что позволяет судить о том, что реакция прошла практически полностью.

Полученное вещество состоит из смеси сложных эфиров, непрореагированных жирных кислот (основного компонента противоизносных присадок, допущенных к применению в России), непрореагированного спирта, а также побочных продуктов (Рисунок 2.11) [13].

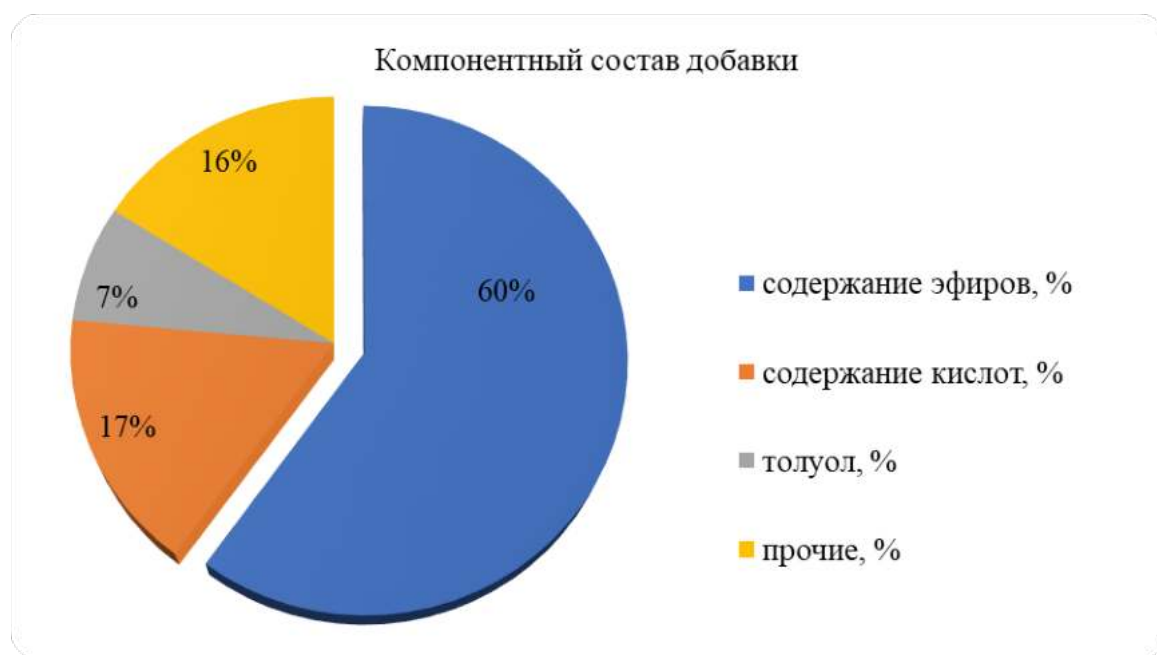


Рисунок 2.11 – Компонентный состав добавки, полученной по методу переэтерификации растительного масла

Вторым способом для получения добавок является процесс этерификации жирных кислот [36]. Для получения биодизельного топлива по данному методу были выбраны следующие виды сырья: кислоты, содержащиеся в растительных маслах, и двухатомный спирт (этиленгликоль). Реакция проходила по механизму нуклеофильного замещения (Рисунок 2.12).

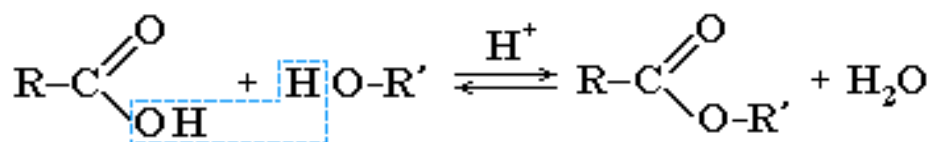


Рисунок 2.12 – Схема реакции этерификации

После проведения процесса этерификации происходило разделение фаз (эфирной и водной) с помощью отстаивания, сушки и перегонки.

В таблице 2.7 представлены основные свойства биодизельного топлива, полученного по реакции этерификации подсолнечного масла и двухатомного спирта в сравнении с физико-химическими показателями жирных кислот, выделенных из масла.

Таблица 2.7 – Характеристики биодизельного топлива, полученного с помощью процесса этерификации жирных кислот

Свойство	Единицы	Жирные кислоты подсолнечного масла (ЖКПМ)	Эфир
Плотность при 20°C	кг/м <sup>3</sup>	0,90978	0,91400
Вязкость при 40°C	мм <sup>2</sup> /с	27,995	23,25
Температура вспышки	°C	115	110
Содержание серы	мг/кг	13	71
Смазывающая способность: СДПИ	мкм	157	202

С помощью хромато-масс спектрометра Agilent 5973 в неполярной колонке DB-Petro длиной 100 метров был получен количественный и качественный состав синтезированных соединений (Таблица 2.8). Количество эфиров составило 77,78 % масс. [78, 83, 91].

Таблица 2.8 – Компонентный состав эфирной части добавок

№ п/п	Название эфира	Содержание, %
1	Метилловый эфир линолевой кислоты	1,21
2	Метилловый эфир олеиновой кислоты	0,49
3	Этиловый эфир линолевой кислоты	1,05
4	2,3-Дигидроксипропиловый эфир линолевой кислоты	38,75
5	Оксиэтиловый эфир элаидиновой кислоты	24,48
6	Глицериновый эфир элаидиновой кислоты	6,53
7	Оксиэтиловый эфир стеариновой кислоты	2,75
8	2,3-Дигидроксипропиловый эфир линолевой кислоты	1,37
9	Цетиловый эфир транексамовой кислоты	0,73
10	Этиловый эфир линолевой кислоты	0,42

Анализ хроматограммы сложных эфиров растительного происхождения показал, что основными компонентами полученных добавок являются сложные эфиры жирных кислот, содержащихся в растительном масле.

Из таблицы 2.8 видно, что основными кислотами, вступившими в реакцию этерификации являются олеиновая (или её изомер элаидиновая) и линолевая. Следовательно, можно сделать вывод о том, что наилучшим растительным сырьем для производства данного вида добавок являются масла с наибольшим содержанием вышеназванных кислот.

Помимо смеси эфиров в состав добавки выходят такие классы соединений, как олефины, ароматические соединения, производные солей жирных кислот и, непосредственно, непрореагировавшие жирные кислоты (Рисунок 2.13), которые после проведения синтеза удаляются при очистке для предотвращения коррозии металлических поверхностей, контактирующих с топливом, и улучшения моющих свойств самого топлива.



Рисунок 2.13 – Компонентный состав добавки, полученной по методу этерификации

Таким образом, для дальнейшего компаундирования с гидроочищенным дизельным топливом были выбраны добавки, полученные в процессе переэтерификации.

## 2.4 Результаты исследований дизельного топлива с добавками

Для определения эксплуатационных характеристик образцов топлива с добавками, полученные добавки смешивались с гидроочищенным малосернистым дизельным топливом в количестве, не превышающем 10 % масс., а именно 1, 5 и 10 % (Таблица 2.9) [13].

Таблица 2.9 – Физико-химические показатели ДТ с добавками

	Содержание эфира, % (m/m)	Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup>	Вязкость при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	Содержание серы, мг/кг	Температура замерзания, °С	Смазывающая способность, мкм
Дизельное топливо + добавка 1						
Образец 1	1	0,8553	4,57	7	-13	378
Образец 2	5	0,8557	5,00	7	-13	335
Образец 3	10	0,8568	4,49	7	-12	253
Дизельное топливо + добавка 2						
Образец 4	1	0,8551	4,00	7	-13	332
Образец 5	5	0,8554	4,09	7	-13	327
Образец 6	10	0,8561	4,22	7	-13	308
Дизельное топливо + добавка 3						
Образец 7	1	0,8552	4,95	7	-13	412
Образец 8	5	0,8557	4,99	7	-13	329
Образец 9	10	0,8567	4,89	7	-12	283
Дизельное топливо + добавка 4						
Образец 10	1	0,835	2,83	1	-12	194
Образец 11	5	0,837	3,01	3	-12	151
Образец 12	10	0,841	3,26	8	-13	213
Дизельное топливо + добавка 5						
Образец 13	1	0,835	2,83	33	-12	195
Образец 14	5	0,837	3,02	10	-13	113
Образец 15	10	0,840	3,29	10	-13	133
Дизельное топливо + добавка 6						
Образец 16	1	0,835	2,85	27	-12	305
Образец 17	5	0,839	3,12	19	-12	265
Образец 18	10	0,843	3,52	14	-13	207
ГОСТ Р 52368	≤7	0,820-0,845	2,00-4,50	≤10	-	≤460



Особое внимание уделяли скорректированному диаметру пятна износа (смазывающая способность), определенному по методу HFRR по ГОСТ Р ИСО 12156-1 [22] и количеству общей серы, определяемой по ГОСТ Р 51947 [22].

Из таблицы 2.9 видно, что оптимальное содержание эфира составляет 10%, так как при этом количество серы, а значит, и вредных выбросов в атмосферу уменьшается, но смазывающая способность значительно улучшается, снижая диаметр пятна износа практически в 2 раза.

На основании таблицы 2.9 была построена зависимость смазывающей способности дизельного топлива с добавками от содержания добавки в смеси с гидроочищенным дизельным топливом (Рисунок 2.14). Увеличение количества добавки может быть применимо для дальнейшего уменьшения диаметра пятна износа, но это нецелесообразно, поскольку значительно меньшее значение данного показателя получить не удастся, а расход добавки и технологические затраты при этом увеличатся [22-23].

**Зависимость смазывающей способности топлива от использования биодобавок 1, 2 и 3 соответственно**

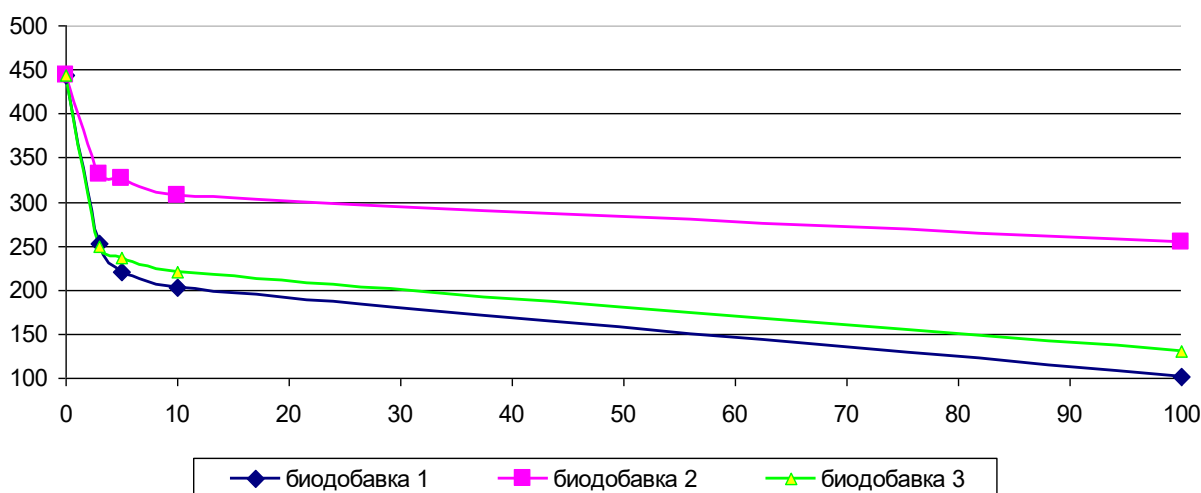


Рисунок 2.14 – Зависимость смазывающей способности от содержания добавок 1-3 в смеси в ДТ

Таким образом, из результатов очевидно, что лучшими показателями обладает смесь дизельного топлива с н-БЭРМ в количестве 10%.

После определения наилучшего масла, выбираем второй компонент исходной смеси реагентов в реакторе.

В таблице 2.9 рассмотрены добавки 4-6 на основе рыжикового масла и различных спиртов.

Из графиков (Рисунок 2.15) наблюдается, что наилучшей является композиция, состоящая из 5% добавки и 95% гидроочищенного дизельного топлива и снижающая диаметр пятна износа до 113 мкм [22].

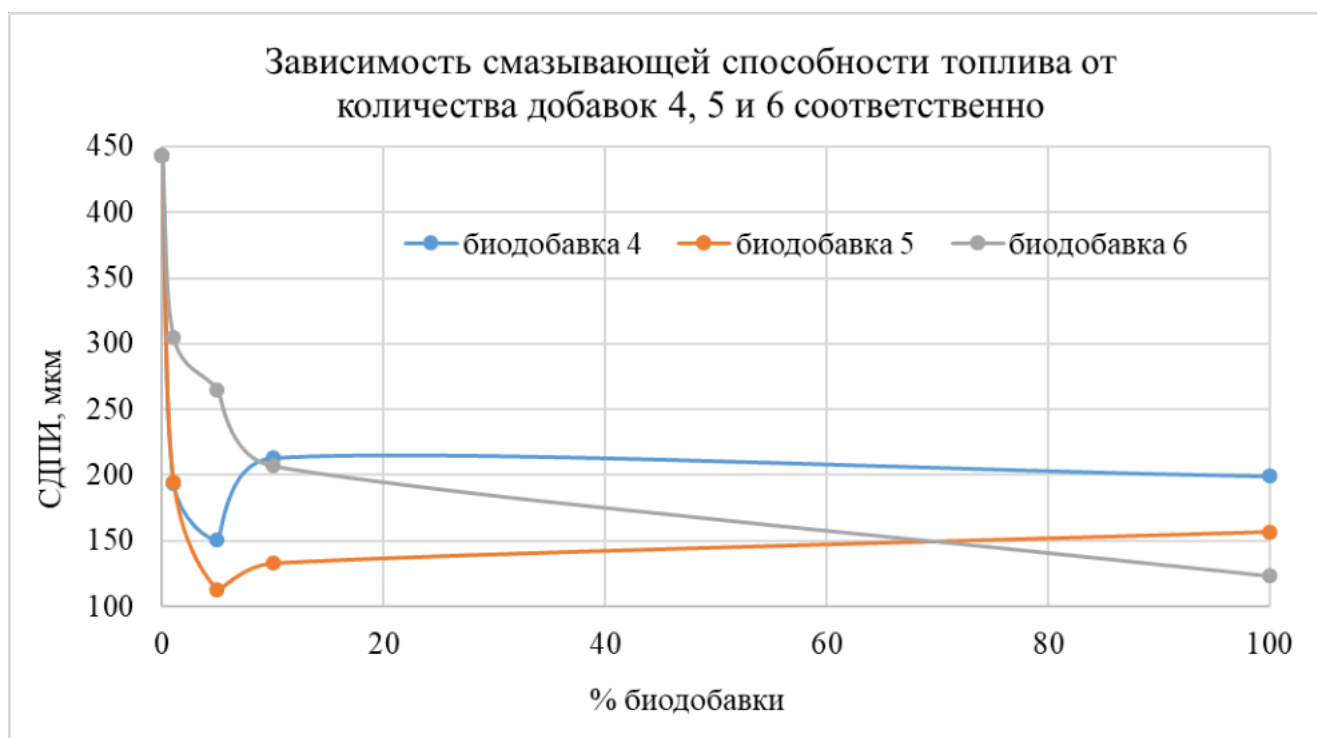


Рисунок 2.15 – Зависимость смазывающей способности от содержания добавок 4-6 в смеси в ДТ

Исходя из приведенных значений и результатов экспериментов, обоснована возможность применения добавок, полученных методом переэтерификации растительных масел, в смеси с гидроочищенным дизельным топливом для улучшения экологических и эксплуатационных характеристик топлива, а также для расширения сырьевой базы при получении топлива для дизельных двигателей.

## Выводы по главе 2

1. Разработан состав добавки к дизельному топливу на основе сложных эфиров, полученных из рыжикового масла и двухатомного спирта, оптимальным количеством которой является 5 % масс.
2. Лабораторными исследованиями установлено, что для синтезирования добавок необходимо использовать процесс переэтерификации, оптимальными параметрами которого являются: температура 195 °С, время реакции 4 часа, скорость перемешивания 250 об/мин, соотношение сырья масло:спирт – 2:1.
3. Разработан состав дизельного топлива с добавкой, характеристики которого соответствуют требованиям ГОСТ Р 52368, и который может быть использован в двигателях дизель-гидравлических локомотивов угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс» для снижения концентрации вредных выбросов в рудничной атмосфере.
4. Установлено, что при введении добавки в гидроочищенное дизельное топливо в количестве 5 % масс. показатель смазывающей способности топлива, а именно скорректированный диаметр пятна износа, снижается с 443 до 113 мкм, тем самым, уменьшается износ деталей двигателя и увеличивается ресурс дизельного двигателя более чем в 4 раза.

### ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОНЦЕНТРАЦИИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ РАБОЧИХ ЗОН ПРИ РАБОТЕ ДИЗЕЛЕВОЗОВ

#### 3.1 Расчет количества выбросов при работе дизельного оборудования с использованием добавок

Количество вредных выбросов варьируется в зависимости от характеристик эксплуатируемого двигателя, поэтому перед определением выбросов расчетным методом необходимо изучить параметры работы двигателя [72]. Одни из наиболее распространенных двигателей в дизель-гидравлических локомотивах угольных шахт является двигатель «Zetor 1404 турбо». Характеристики дизельного двигателя приведены в таблице 3.1 [17].

Таблица 3.1 – Характеристики дизельного двигателя «Zetor 1404 турбо» [17]

Марка двигателя	ZETOR 1404 турбо (для шахтных условий)
Вид	с воспламенением от сжатия, с непосредственным впрыском топлива
max мощность	81 кВт
Номинальное число оборотов	2300 мин <sup>-1</sup>
Количество цилиндров	4
Расход топлива	255 г/кВтч
Вид топлива	дизельное

Определение количества вредных веществ в выхлопных газах при использовании ДТ может быть выполнен несколькими способами [5, 7]:

1. ГОСТ Р 56163-2019 «Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу стационарными дизельными установками (новыми и после капитального ремонта) различной мощности и назначения при их эксплуатации» [7].

2. Методика расчета максимально разовых выбросов *i*-го вещества при работе двигателя «ZETOR 1404 турбо» [25].

Расчет по ГОСТ Р 56163-2019 «Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу

стационарными дизельными установками (новыми и после капитального ремонта) различной мощности и назначения при их эксплуатации» [7] производился для определения концентрации в выхлопных газах диоксида серы, оксидов азота, летучих углеводородов, углерода и угарного газа.

В основе методики лежал расчет двух основных показателей: максимального выброса и валового выброса по следующим формулам:

1. Максимально-разовый выброс  $i$ -го вещества, г/с [7]:

$$M_i = \frac{e_{Mi} \cdot P_э}{3600}, \quad (5)$$

где  $e_{Mi}$  – выброс  $i$ -го вредного вещества на единицу полезной работы стационарной дизельной установки в режиме номинальной мощности, г/кВт\*ч;

$P_э$  - эксплуатационная мощность стационарной дизельной установки, значение которой указано в технической документации предприятия-изготовителя, кВт;

(1/3600) - коэффициент пересчета часов в секунды.

При расчете максимально-разового выброса для необходимо учитывать значения для веществ указанные в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Значения выбросов  $e_{Mi}$  для разных групп стационарных дизельных установок

Группа	Количество, г/кВт*ч				
	NOx	SO <sub>2</sub>	C	CH	CO
Г	10,80	1,20	0,60	3,60	7,20

2. Годовой выброс  $i$ -го вещества, т/г [7]:

$$W_{эi} = \frac{q_{эi} \cdot G_m}{1000}, \quad (6)$$

где  $q_{эi}$  - выброс  $i$ -го вредного вещества, приходящегося на 1 кг дизельного топлива при работе стационарной дизельной установки с учетом совокупности режимов, составляющих эксплуатационный цикл, г/кг топлива.

$G_m$  - расход топлива стационарной дизельной установкой за год (приведен в отчетных данных об эксплуатации установки), т.

(1/1000) - коэффициент пересчета килограммов в тонны.

При расчете годового выброса для необходимо учитывать значения для веществ указанные в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Значения выбросов  $q_{zi}$  для разных групп стационарных дизельных установок, г/кг топлива

Группа	Количество, г/(кг топлива)				
	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	C	CO	CH
Г	45,00	5,00	2,50	30,00	15,00

Результаты расчетов выбросов данных веществ для дизельного двигателя «Zetor 1404 турбо» представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Результаты расчетов количества выбросов по ГОСТ Р 56163-2019

Показатель	Количество				
	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	C	CO	CH
M <sub>i</sub> , г/с	0,0612425	0,0065475	0,011042	0,0518144	0,0150159
W <sub>zi</sub> , т/Г	0,5391137	0,0576398	0,097243	0,4549192	0,1320993

Вторым способом являлась методика расчета максимально разовых выбросов  $i$ -го вещества [75] при работе двигателя «ZETOR 1404 турбо» осуществляемая по формулам (7) и (8):

$$G_i = \sum_{k=1}^k (m_{ДВ_{ik}} \cdot t_{ДВ} + 1,3 \cdot m_{ДВ_{ik}} \cdot t_{НАГР} + m_{ХХ} \cdot t_{ХХ}) \cdot N_k / 1800, \text{ г/с} \quad (7)$$

где  $m_{ДВ_{ik}}$  – удельный выброс  $i$ -го вещества при движении машины без нагрузки, г/мин;

$1,3 \cdot m_{ДВ_{ik}}$  – удельный выброс  $i$ -го вещества при движении машины под нагрузкой, г/мин;

$m_{ХХ}$  – удельный выброс  $i$ -го вещества при работе двигателя машины на холостом ходу, г/мин;

$t_{ДВ}$  - время движения машины за 30-ти минутный интервал без нагрузки, мин;

$t_{НАГР}$  - время движения машины за 30-ти минутный интервал под нагрузкой, мин;

$t_{ХХ}$  - время работы двигателя машины за 30-ти минутный интервал на холостом ходу, мин;

$N_k$  – наибольшее количество машин, одновременно работающих за 30-ти минутный интервал.

Из полученных значений  $G_i$  выбирается максимальное с учетом одновременности движения.

Расчет валовых выбросов  $i$ -го вещества осуществляется по формуле:

$$M_i = \sum_{k=1}^k (m_{ДВ_{ik}} \cdot t'_{ДВ} + 1,3 \cdot m_{ДВ_{ik}} \cdot t'_{НАГР} + m_{ХХ} \cdot t'_{ХХ}) \cdot 10^{-6}, \text{ м/год} \quad (8)$$

где  $t'_{ДВ}$  – суммарное время движения без нагрузки всех машин, мин;

$t'_{НАГР}$  – суммарное время движения под нагрузкой всех машин, мин;

$t'_{ХХ}$  – суммарное время работы двигателей всех машин на холостом ходу, мин.

Результаты расчетов выделений загрязняющих веществ в шахтную атмосферу при работе двигателя «ZETOR 1404 турбо» приведен в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Значения годового и максимально разового выделения загрязняющих веществ в атмосферу при работе дизельного двигателя «ZETOR 1404 турбо» [15]

Вещество	G, г/с	M, т/год
NO <sub>2</sub>	0,0532396	0,4691050
NO	0,0086466	0,0761871
C	0,011035	0,0972455
SO <sub>2</sub>	0,0065456	0,0576354
CO	0,0518028	0,454904
керосин	0,0150083	0,132095

Из таблицы 3.5 видно, что значения выбросов достаточно велики, и для снижения их влияния на здоровье работников необходимо уменьшение или частичная нейтрализация данных веществ [15].

В данных способах при расчете используются только характеристики двигателя, но рассматривается влияние свойств используемого топлива, а также его состав, поэтому необходимо произвести расчет, который позволит оценить выбросы при использовании нефтяного дизельного топлива и дизельного топлива с добавкой. через материальный баланс (формулы 9-12) [1]:

$$S_S / S_C = 0,3746 \cdot S / C \quad (9)$$

$$S_C / S_H = 0,0839 \cdot C / H \quad (10)$$

$$\alpha \cdot S_C / S_O = 0,1678 \cdot C / (0,3356 \cdot C + H) \quad (11)$$

$$S_O / S_N = 1,1082 \cdot (0,21 + O) \quad (12)$$

где  $S_x$  – количество атомов химического вещества  $x$ ,  $\alpha$  – коэффициент избытка воздуха [1].

Рассчитанное количество вредных веществ при использовании нефтяного дизельного топлива и улучшенного дизельного топлива с добавкой представлено в таблице 3.6 [15, 31].

Таблица 3.6 – Количество вредных веществ при сжигании ГО ДТ и улучшенного ДТ с добавкой [31]

Наименование газа	ДТ с добавкой, г/мин	ГО ДТ, г/мин
Азота диоксид	1,9761	3,1945
Азота оксид	0,3214	0,5183
Углерод	0,4122	0,6621
Серы диоксид	0,2325	0,3875
Углерода оксид	1,5664	3,1080
Керосин	0,5127	0,9382

Исходя из данных, представленных в таблице 3.6, количество вредных газов при использовании ДТ с добавкой снижается более чем в 2 раза, чем при использовании ГО ДТ [15, 25, 31].

Исходя из результатов таблиц 3.5 и 3.6, можно говорить о сходимости результатов несколькими расчетными методами, один из которых выполнен по ГОСТ. Таким образом, теоретически подтверждено обоснование использования добавки к ДТ для снижения концентрации вредных веществ в отработанных газах.



### 3.2 Стендовые испытания топлива с добавкой

Для определения концентрации выбросов использовались образцы гидроочищенного дизельного топлива, соответствующего требованиям ГОСТ Р 52368 (класс 5), а также образцы дизельного топлива с добавкой, описанные в разделе 2. Характеристики базового гидроочищенного дизельного топлива и топлива с добавкой представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Физико-химические свойства ДТ с ОАО «Газпромнефть Омский НПЗ»

Наименование свойства	ДТ с добавкой	ГО ДТ
Кинематическая вязкость при 40°C, мм <sup>2</sup> /с	3,0104	2,7900
Плотность при 15°C, кг/м <sup>3</sup>	849,4651	854,7565
Цетановое число	56	51
Массовая доля серы, % масс.	0,00071	0,00084
Температура вспышки в закрытом тигле, °C	112	84
Температура замерзания, °C	-13	-16
Содержание воды, % об.	отс.	отс.
Смазывающая способность: скорректированный диаметр пятна: (WSD 1,4) при 60°C, мкм	113	443
Фракционный состав, °C		
нк	114	123
10%	222	213
50%	273	280
90%	342	330
95% (кк)		

Для проведения стендовых экспериментов по исследованию количества вредных выбросов газообразных веществ при использовании разработанного дизельного топлива с добавкой был выбран турбированный дизельный двигатель, находящийся в Санкт-Петербургском государственном аграрном университете, и представленный на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Стендовая установка дизельного двигателя

Исследования проводили с использованием газоанализатора «ИНФРАКАР ВЕКМ.413311.002 ПС» и дымомера «ИНФРАКАР Д ВЕКМ.415311.007 ПС» (Рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Газоанализатор и дымомер «ИНФРАКАР»

С помощью дымомера определяли коэффициент ослабления светового потока и коэффициент поглощения, благодаря которым оценивали изменение дымности отработанных газов дизельного двигателя. Результаты измерений дымности при использовании гидроочищенного дизельного топлива и дизельного топлива с добавками приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Показатели дымомера при использовании ГО ДТ и ДТ с добавкой

№ опыта	количество оборотов двигателя, мин <sup>-1</sup>	Дизельное топливо		Дизельное топливо с добавкой	
		К, м <sup>-1</sup>	N, %	К, м <sup>-1</sup>	N, %
Нагрузка – 100 %					
1	2135	0,09	4,1	0,06	2,6
2	2130	0,13	5,6	0,05	2,4
3	2118	0,16	6,3	0,06	2,6
4	2103	0,30	12,3	0,08	3,3
5	2095	1,87	36,3	0,19	8,0
6	2076	2,75	70,9	0,51	20,3
7	1780	9,61	98,8	1,20	35,6
Нагрузка – 75 %					
1	1773	0,29	12,4	0,15	4,2
2	1743	0,32	13,1	0,16	5,6
3	1714	0,39	15,5	0,18	6,9
4	1706	0,52	20,4	0,31	7,4
5	1690	1,22	42,8	0,86	12,1
6	1672	3,45	89,5	2,10	32,3
Нагрузка – 50 %					
1	1651	0,35	14,1	0,17	5,4
2	1623	0,41	17,9	0,27	6,1
3	1602	0,57	24,5	0,40	6,9
4	1580	1,13	31,7	0,68	10,9
5	1554	2,41	52,3	1,35	25,5
6	1529	4,70	76,1	2,49	31,7
Нагрузка – 25 %					
1	1493	0,22	8,6	0,15	2,4
2	1465	0,25	10,4	0,16	2,8
3	1444	0,25	12,2	0,18	3,7
4	1412	0,44	15,9	0,31	4,5
5	1395	0,87	20,0	0,51	8,6
6	1350	1,23	22,4	0,88	14,6

Результаты, полученные в ходе измерений дымности при сгорании гидроочищенного дизельного топлива и дизельного топлива с добавкой, представлены в таблице 3.8 (Приложение Ж).

Таким образом, можно сделать вывод, что при максимальной, частичной (75, 50 %) и минимальной нагрузках при любом количестве оборотов дымность при сжигании дизельного топлива с добавкой снижена по сравнению с дымностью при сжигании гидроочищенного дизельного топлива.

На рисунке 3.3 показано изменение выбросов углеводородов.

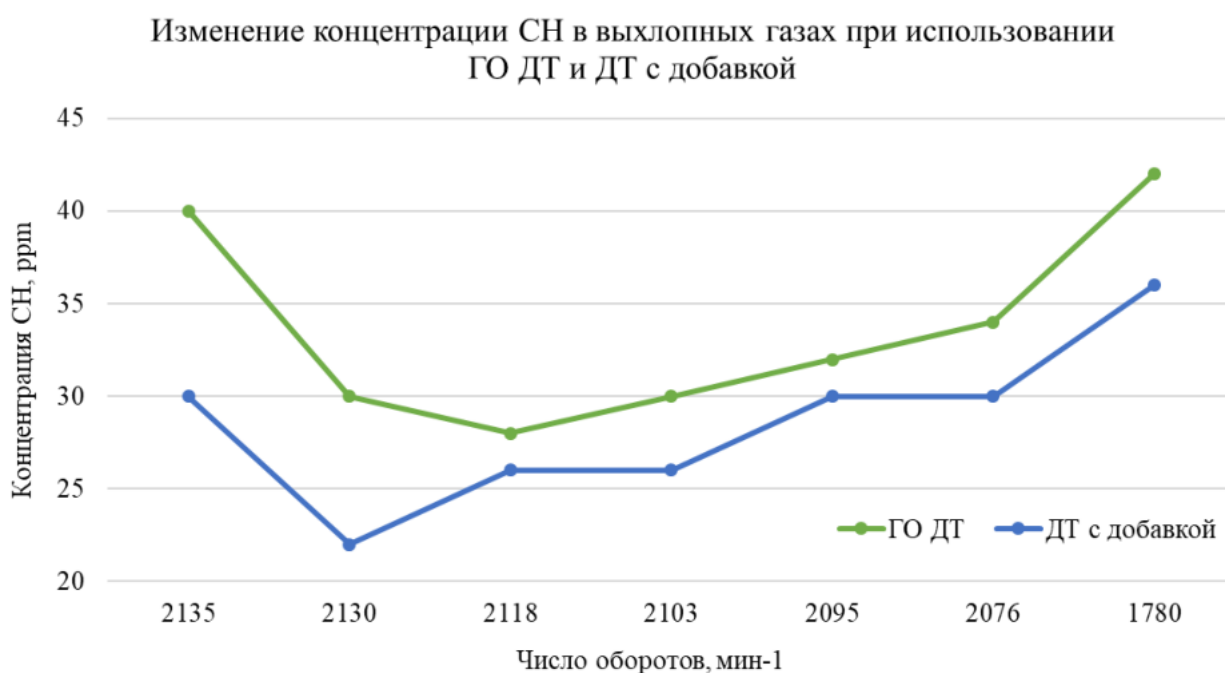


Рисунок 3.3 – Изменение концентрации СН в выхлопных газах при использовании ГО ДТ и ДТ с добавкой при максимальной нагрузке

Результаты, полученные в ходе измерений газоанализатором, установленным на выхлопной трубе стендового двигателя, а именно, концентрации вредных газов при сгорании гидроочищенного дизельного топлива и дизельного топлива с добавкой, представлены в таблице 3.9 (Приложение Ж).

Таким образом, наблюдается снижение концентрации угарного газа и углеводородов в выхлопных газах дизельного двигателя как при максимальной, при частичной (75 %, 50%), так и при минимальной нагрузке.

Таблица 3.9 – Показатели газоанализатора при использовании гидроочищенного дизельного топлива и дизельного топлива с добавкой

№ опыта	n, мин <sup>-1</sup>	Дизельное топливо		Дизельное топливо с добавкой	
		СО, %	СН, ppm	СО, %	СН, ppm
Нагрузка – 100 %					
1	2135	0,15	40	0,14	30
2	2130	0,07	30	0,03	22
3	2118	0,06	28	0,03	26
4	2103	0,06	30	0,05	26
5	2095	0,08	32	0,07	30
6	2076	0,13	34	0,07	30
7	1780	1,18	42	0,35	36
Нагрузка – 75 %					
1	1773	0,13	20	0,08	15
2	1743	0,06	18	0,04	13
3	1714	0,06	22	0,03	14
4	1706	0,08	24	0,05	14
5	1690	0,09	26	0,06	16
6	1672	0,12	30	0,06	17
Нагрузка – 50 %					
1	1651	0,29	16	0,16	12
2	1623	0,32	16	0,16	14
3	1602	0,39	14	0,18	12
4	1580	0,52	18	0,31	16
5	1554	0,86	20	0,74	18
6	1529	2,10	24	1,12	18
Нагрузка – 25 %					
1	1493	0,21	10	0,08	6
2	1465	0,27	08	0,09	6
3	1444	0,31	08	0,12	8
4	1412	0,39	10	0,14	6
5	1395	0,49	12	0,08	4
6	1350	0,58	16	0,03	6

Характер изменения выбросов углеводородов в зависимости от числа оборотов двигателя схожий, количество выбросов при сжигании обычного дизельного топлива практически равноудалено на графике от количества выбросов при сжигании дизельного топлива с добавкой [90].

На рисунках 3.3 и 3.4 показана разница между количеством выбросов углеводородов и угарного газа соответственно при максимальной нагрузке при использовании гидроочищенного дизельного топлива и дизельного топлива с добавкой.

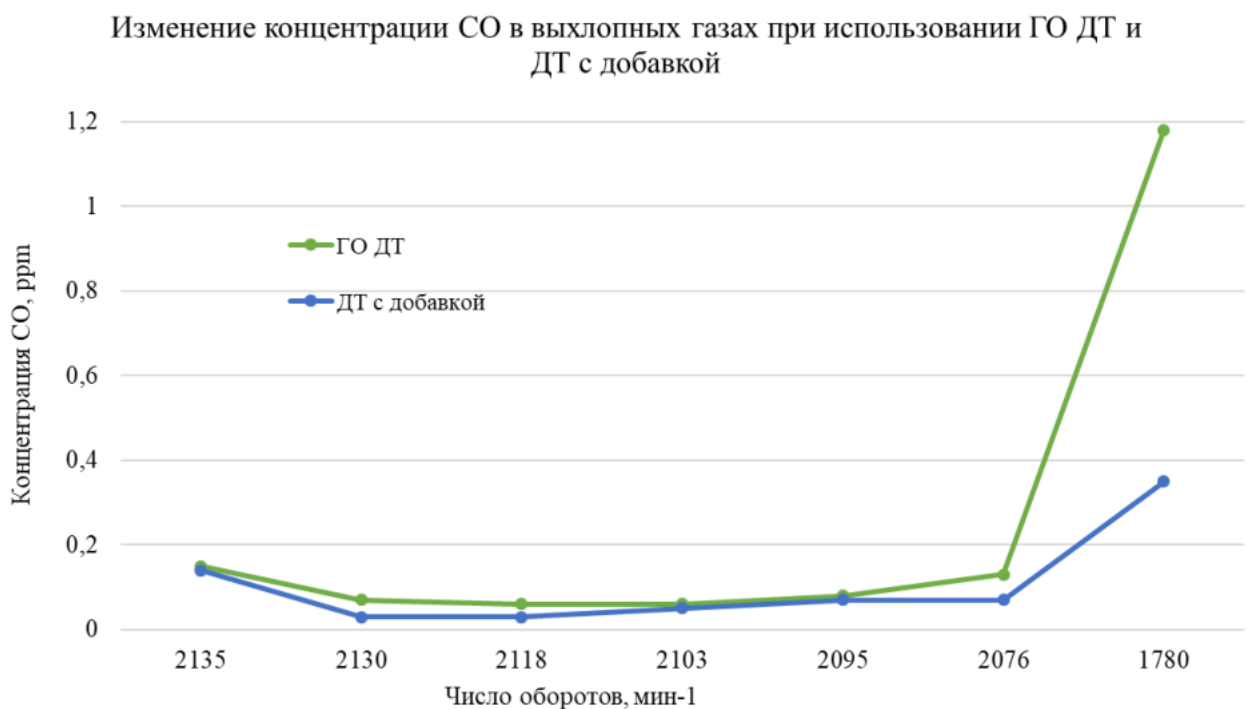


Рисунок 3.4 – Изменение концентрации СО в выхлопных газах при использовании ГО ДТ и ДТ с добавкой при максимальной нагрузке

По результатам исследований (Таблица 3.9) установлено, что при использовании добавки к топливу дизель-гидравлических локомотивов, концентрация вредных веществ на выходе из выхлопной трубы уменьшается. Содержание летучих углеводородов снижалось при максимальной нагрузке на двигатель на 5-24 %, при частичной нагрузке (50, 75 %) на 21-47 % и при минимальной нагрузке на двигатель на 40-63 %. Содержание угарного газа снижалось при максимальной нагрузке на двигатель на 17-71 %, при частичной

нагрузке (50, 75 %) на 31-49 % и при минимальной нагрузке снижалось на 66-95 %.

### 3.3 Исследования эффективности добавок в дизельном топливе в условиях АО «СУЭК-Кузбасс»

На угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» используются в основном подвесные дизель-гидравлические локомотивы «DLZ110F», «DLZ110F-180-4», «DLZ110F-180-6» фирмы «Ferrit», «DZ 1800» фирмы «SCHARF» и «KPCS-96» фирмы «Becker», напочвенный ДГЛ «KSZS-148».

Наиболее распространенным на подземном монорельсовом транспорте и отвечающим требованиям безопасности работы в шахте является двигатель «Zetor 1404 турбо». Параметры работы двигателя представлены в таблице 3.1 [24].

Также одним из распространенных дизельных двигателей [24] в дизель-гидравлических локомотивах на угольных шахтах в России является двигатель «John Deere Ferrit 6068F210 (подготовленный для шахтных условий)». Натурные испытания в шахте «им. С.М. Кирова» и ш/у Комсомолец ПЕ «ш.Комсомолец» проводили на данном двигателе, характеристики которого представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Параметры работы дизельного двигателя «John Deere Ferrit 6068F210 (подготовленный для шахтных условий)» [27]

Марка двигателя	John Deere Ferrit 6068F210 (для шахтных условий)
Вид двигателя	с воспламенением от сжатия, с прямым впрыском топлива
Макс. мощность	127 ÷ 142 кВт
Номинальное число оборотов	2500 мин <sup>-1</sup>
Количество цилиндров	6
Расход топлива	250 г/кВтч
Топливо	дизельное топливо
Воздушный очиститель	Сухой двухступенчатый с центробежным отделителем
Объем топливного бака	150 литров
Масса двигателя	590 кг

Необходимо отметить, что все современные двигатели внутреннего сгорания, производимые для работы в шахтных условиях, оборудованы современными комплексными системами очистки отработанных газов, которые состоят из каталитических нейтрализаторов и сажевых фильтров [87].

На первом этапе, испытания проводились на поверхности, а именно, в подразделении спецналадки АО «СУЭК-Кузбасс» на двигателе «Zetor 1404 турбо», представленном на рисунке 3.5.

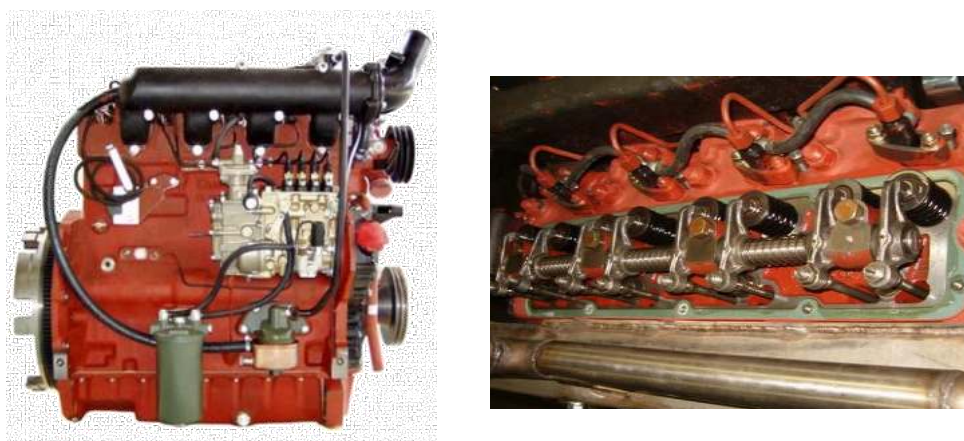


Рисунок 3.5 – Дизельный двигатель «Zetor 1404 турбо»

Испытания проводились при 3 режимах работы двигателя: при холостых оборотах (минимальная нагрузка), средних оборотах - 1520 об/мин (частичная нагрузка), высоких оборотах (максимальная нагрузка). В эксперименте использовалось 2 типа топлива:

1. Нефтяное дизельное топливо, производимое на ОАО «Газпромнефть Омский НПЗ»,
2. Нефтяное дизельное топливо с добавкой, полученной по методике, описанной в разделе 2. Предварительно готовили смесь в пропорциях 95:5 – дизельное топливо: добавка и 99:1 – дизельное топливо: добавка, так как по результатам физико-химических и эксплуатационных характеристик было выявлено, что оптимальными составами дизельного топлива с добавкой являются именно эти соотношения.

Определение состава отработанных газов, а именно, объемных долей угарного газа, углекислого газа, кислорода, водорода, углеводородов в рудничном воздухе происходило методом газовой хроматографии (ФР.1.31.2013.15152), а



определение концентрации оксидов в рудничном воздухе было выполнено с реактивом Грисса-Илосвая фотоколориметрическим методом (ФР.1.31.2007.03205).

Результаты измерений вредных веществ в отработанных газах при использовании дизельного топлива с добавкой (соотношение дизельное топливо:добавка – 99:1) в двигателе ДГЛ «ZETOR 1404 турбо» в сравнении с нефтяным гидроочищенным дизельным топливом (летняя марка) представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Результаты испытаний дизельного топлива с добавкой в двигателе ДГЛ «ZETOR 1404 турбо» в подразделении спецналадка АО «СУЭК-Кузбасс», % об.

№ п/п	Место отбора проб	CO <sub>2</sub>	CO	Оксиды азота	O <sub>2</sub>
на холостых оборотах					
ГО ДТ	Дизелевоз ZETOR	2,96415	0,03292	0,02248	16,41001
С добавкой	1404	2,53207	0,03006	0,01956	17,4602
при 1520 об/мин					
ГО ДТ	Дизелевоз ZETOR	4,17355	0,02754	0,02254	14,44409
С добавкой	1404	3,25457	0,02713	0,02145	15,62357
при максимальных оборотах					
ГО ДТ	Дизелевоз ZETOR	4,56104	0,01069	0,01445	13,85168
С добавкой	1404	4,49228	0,01202	0,00853	15,21145

По результатам, представленным в таблице 3.11 отмечаем, что при использовании добавки в гидроочищенном дизельном топливе происходит незначительное снижение концентрации оксидов углерода и оксидов азота в отработанных газах.

Результаты измерений вредных веществ в отработанных газах при использовании дизельного топлива с добавкой в соотношении 95:5

соответственно в сравнении с нефтяным гидроочищенным дизельным топливом (летняя марка) представлены в таблице 3.12 (Приложение А, Б).

Таблица 3.12 – Результаты испытаний дизельного топлива с добавкой в двигателе ДГЛ ZETOR 1404 турбо в подразделении спецналадка АО «СУЭК-Кузбасс», % об.

№ п/п	Место отбора проб	CO <sub>2</sub>	CO	Оксиды азота	O <sub>2</sub>
на холостых оборотах					
ГО ДТ	Дизелевоз ZETOR	2,96	0,0329	0,02248	16,41
С добавкой	1404	1,41	0,0129	0,01445	18,57
при 1520 об/мин					
ГО ДТ	Дизелевоз ZETOR	4,17	0,0275	0,02254	14,44
С добавкой	1404	2,07	0,0258	0,01869	17,7
при максимальных оборотах					
ГО ДТ	Дизелевоз ZETOR	4,56	0,0107	0,01445	13,85
С добавкой	1404	4,37	0,0087	0,00025	17,21

Из данных таблицы 3.12 видно, что добавка позволяет снижать концентрации оксидов азота и оксидов углерода в отработанных газах при всех режимах работы. Наибольшая эффективность по снижению концентрации оксидов азота была достигнута при максимальной нагрузке на двигатель. Минимально полученное значение концентрации оксидов азота 0,00025 % соответствует требованиям Руководства по безопасности "Рекомендации по использованию в угольных шахтах транспортных машин с дизельным приводом" [30], в условиях которого указано, что ПДК оксидов азота должна быть не более 0,00025 % в выхлопных газах. Максимальную эффективность по снижению оксидов углерода в выхлопных газах можно достичь при минимальной нагрузке двигателя (снижение в 3 раза).

Таким образом, исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что использование добавки в гидроочищенном дизельном топливе (летняя марка)

снижает концентрацию вредных выбросов в отработанных газах в количестве 5 % масс. в смеси с гидроочищенным дизельным топливом. Тем не менее, для определения изменения состава шахтного воздуха необходимо провести испытания непосредственно в шахтных условиях.

### **3.4 Шахтные исследования загазованности атмосферы ДГЛ при работе на стандартном дизельном топливе и с добавками**

Шахтные испытания дизельного топлива (летняя марка) с добавкой проводились на 3 шахтах ОА «СУЭК-Кузбасс»: ш. «им. С.М. Кирова», ш/у Комсомолец ПЕ «ш. Комсомолец», ш. «им. В.Д. Ялевского» в летний период времени.

При проведении испытаний на ш. «им. С.М. Кирова» условия проведения экспериментов были следующими: температура воздуха – 20,4 °С; атмосферное давление – 98,56 кПа; влажность воздуха – 57 %.

Отбор проб шахтного воздуха осуществляли в трех точках: у выхлопной трубы ДГЛ, на рабочем месте машиниста ДГЛ, на удалении 21 м от выхлопной трубы. Результаты замеров состава шахтного воздуха в ш. «им. С.М. Кирова» при работе двигателя DLZ 110F зав.№ 12 представлены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Результаты испытаний ДТ с добавкой на ш.«им.С.М.Кирова», %об.

№ п/п	Место отбора проб	CO <sub>2</sub>	CO	Оксиды азота	O <sub>2</sub>
у выхлопной трубы					
ГО ДТ	Дизелевоз DLZ 110F	3,21	0,0371	0,02528	15,23
С добавкой		1,74	0,0296	0,01855	17,45
у кабины машиниста					
ГО ДТ	Дизелевоз DLZ 110F	5,01	0,0031	0,00046	13,44
С добавкой		2,67	0,0015	0,00025	16,94
на удалении 21 м от выхлопной трубы					
ГО ДТ	Дизелевоз DLZ 110F	4,91	0,0004	0,00008	18,02
С добавкой		4,17	0,0003	0,00006	16,58

Исходя из результатов таблицы 3.13 видно, что использование добавок в дизельном топливе улучшает состав шахтного воздуха при работе дизель-гидравлического локомотива.

При проведении испытаний на ш/у Комсомолец ПЕ «ш.Комсомолец» условия проведения экспериментов были следующими: температура воздуха – 22,3 °С; атмосферное давление – 101,52 кПа; влажность воздуха – 51 %.

Результаты замеров концентрации газов при работе DLZ 110F зав.№19009 на ш/у Комсомолец ПЕ «ш. Комсомолец» представлены в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Результаты испытаний дизельного топлива с добавкой в двигателе DLZ 110F зав.№ 19009 в ш/у Комсомолец ПЕ «ш. Комсомолец», % об.

№ п/п	Место отбора проб	CO <sub>2</sub>	CO	Оксиды азота	O <sub>2</sub>
у выхлопной трубы					
ГО ДТ	Дизелевоз DLZ 110F	3,03	0,0356	0,02058	14,03
С добавкой		1,62	0,0179	0,01771	17,54
у кабины машиниста					
ГО ДТ	Дизелевоз DLZ 110F	4,53	0,0026	0,00026	13,97
С добавкой		3,31	0,0016	0,00016	17,12
на удалении 21 м от выхлопной трубы					
ГО ДТ	Дизелевоз DLZ 110F	4,76	0,0005	0,00004	12,33
С добавкой		4,02	0,0004	0,00001	16,80

Аналогично результатам с ПЕ ш. им. Кирова, при испытании дизельного топлива с добавкой наблюдалось уменьшение выбросов CO в выхлопных газах дизелевоза в сравнении с использованием обычного дизельного топлива.

При проведении испытаний на «им. В.Д. Ялевского» условия проведения экспериментов были следующими: температура воздуха – 21,9 °С; атмосферное давление – 99,51 кПа; влажность воздуха – 39 %.

Результаты замеров при работе ZETOR 1404 19/01 в ПЕ ш. «им. В.Д. Ялевского» представлены в таблице 3.15.

Таблица 3.15 – Результаты испытаний дизельного топлива с добавкой в двигателе ДГЛ ZETOR 1404 турбо в шахте «им. В.Д. Ялевского», % об.

№ п/п	Место отбора проб	CO <sub>2</sub>	CO	Оксиды азота	O <sub>2</sub>
у выхлопной трубы					
ГО ДТ	Дизелевоз ZETOR	2,87	0,0422	0,02123	15,04
С добавкой	1404	1,54	0,0286	0,01657	16,89
у кабины машиниста					
ГО ДТ	Дизелевоз ZETOR	4,89	0,0035	0,00037	13,45
С добавкой	1404	2,53	0,0017	0,00023	16,20
на удалении 21 м от выхлопной трубы					
ГО ДТ	Дизелевоз ZETOR	5,21	0,0006	0,00007	12,43
С добавкой	1404	3,46	0,0004	0,00002	16,99

Аналогично результатам на ПЕ ш. «им. С.М. Кирова» и ш/у Комсомолец ПЕ «ш. Комсомолец», при испытании дизельного топлива с добавкой наблюдалось снижение выбросов CO в выхлопных газах дизелевоза в сравнении с использованием обычного дизельного топлива.

Вторым этапом было проведение испытания добавки в дизельном топливе зимней марки на ш/у Комсомолец ПЕ «ш. Комсомолец» и ПЕ ш. «им. С.М. Кирова» на различном расстоянии от выхлопной трубы: из выхлопной трубы при максимальной нагрузке, у кабины машиниста и на удалении 21 м от выхлопной трубы.

При проведении испытаний на «им. С.М. Кирова» использовалась зимняя марка дизельного топлива и условия проведения экспериментов были следующими: температура воздуха – 23 °С; атмосферное давление – 99,77 кПа; влажность воздуха – 21 %.

При испытании дизельного топлива с добавкой наблюдалось увеличение выбросов CO в выхлопных газах дизелевоза в сравнении с использованием обычного дизельного топлива (Таблица 3.16; Приложения В, Г).

Таблица 3.16 – Результаты испытаний дизельного топлива с добавкой в двигателе DLZ 110F зав.№ 12 на ш. «им. С.М. Кирова», % об.

№ п/п	Место отбора проб	CO <sub>2</sub>	CO	Оксиды азота	O <sub>2</sub>
у выхлопной трубы					
ГО ДТ	Дизелевоз DLZ 110F	4,58	0,0636	0,00446	13,56
С добавкой		3,52	0,0714	0,00626	14,89
у кабины машиниста					
ГО ДТ	Дизелевоз DLZ 110F	0,16	0,0012	0,00001	20,61
С добавкой		0,17	0,0017	0,00004	20,56
на удалении 21 м от выхлопной трубы					
ГО ДТ	Дизелевоз DLZ 110F	0,11	0,0005	0,00009	20,60
С добавкой		0,09	0,0003	0,00002	20,63

Данный эффект объясняется тем, что состав добавки к дизельному топливу разрабатывался наиболее близким по физико-химическим и эксплуатационным характеристикам к летней марке дизельного топлива. Зимняя марка имеет утяжеленный состав и большее количество ароматических и нафтеновых углеводородов в своем составе, вследствие чего такие показатели, как плотность, вязкость и другие, влияющие на процесс смешивания добавки и топлива, имели большую разницу в значениях. В связи с этим, данные компоненты сгорали не совместно, а по отдельности, добавка не оказала влияния на полноту сгорания топлива, и оксиды углерода (II) не догорали до оксидов углерода (IV).

Стоит отметить, что при испытании дизельного топлива с добавкой наблюдалось снижение оксидов углерода в выхлопных газах дизелевоза при работе DLZ 110F зав.№12 на удалении 21 м от выхлопной трубы (с 0,0005% до 0,0003%) в сравнении с использованием обычного дизельного топлива, а также снижение оксидов азота (с 0,00009% до 0,00002%).

Шахтные испытания при работе DLZ 110F зав.№19009 на ш/у Комсомолец ПЕ «ш. Комсомолец» дизельного топлива (зимняя марка) с добавкой проводились

при следующих условиях: температура воздуха – 23 °С; атмосферное давление – 99,5 кПа; влажность воздуха – 33 %.

Результаты замеров при работе DLZ 110F зав.№19009 на ш/у Комсомолец ПЕ «ш. Комсомолец» представлены в таблице 3.17 (Приложения Д, Е).

Таблица 3.17 – Результаты испытаний дизельного топлива с добавкой в двигателе DLZ 110F зав.№ 19009 в ш/у Комсомолец ПЕ «ш. Комсомолец», % об.

№ п/п	Место отбора проб	CO <sub>2</sub>	CO	Оксиды азота	O <sub>2</sub>
у выхлопной трубы					
ГО ДТ	Дизелевоз DLZ 110F	3,07	0,0244	-	15,98
С добавкой		3,79	0,0274	0,01889	15,47
у кабины машиниста					
ГО ДТ	Дизелевоз DLZ 110F	0,06	0,0001	0,00002	20,74
С добавкой		0,06	0,0001	0,00001	20,77
на удалении 21 м от выхлопной трубы					
ГО ДТ	Дизелевоз DLZ 110F	0,06	0,0001	0,00001	20,74
С добавкой		0,06	0,0001	-	20,72

Аналогично результатам с ПЕ ш. «им. С.М. Кирова», при испытании дизельного топлива с добавкой наблюдалось увеличение выбросов CO в выхлопных газах дизелевоза в сравнении с использованием обычного дизельного топлива.

Таким образом, проведенные натурные испытания дизельного топлива с разработанной добавкой, показывают, что ее использование в количестве 5 % масс. в составе топлива позволяет снизить выбросы CO при его сжигании в сравнении с использованием обычного дизельного топлива (летняя марка) на 19-60% (с 0,0329% до 0,0129% при работе на холостом ходу дизелевоза, с 0,0107% до 0,0087% при работе на максимальной нагрузке), а также снизить концентрацию оксидов азота – на 17-98% (с 0,01445% до 0,00025% при работе на холостом ходу, с 0,02254% до 0,01869% при работе на средних оборотах).

### Выводы по главе 3

1. Стендовые испытания показали, что при использовании добавки к топливу дизель-гидравлических локомотивов, концентрация вредных веществ на выходе из выхлопной трубы уменьшается. Содержание летучих углеводородов снижалось при максимальной нагрузке на двигатель на 5-24 %, при частичной нагрузке (50, 75 %) на 21-47 % и при минимальной нагрузке на двигатель на 40-63 %. Содержание угарного газа снижалось при максимальной нагрузке на двигатель на 17-71 %, при частичной нагрузке (50, 75 %) на 31-49 % и при минимальной нагрузке снижалось на 66-95 %.

2. Результаты, полученные в ходе измерений дымности, показали, что при использовании дизельного топлива с добавкой вместо гидроочищенного дизельного топлива дымность отработанных газов снижается до 71 %.

3. Шахтные испытания дизельного топлива с разработанной добавкой показали, что ее использование в количестве 5 % масс в составе топлива позволяет снизить выбросы СО в сравнении с использованием обычного дизельного топлива на 19-60%, а также снизить концентрацию оксидов азота – на 17-98%.

4. При испытании в шахтах было выявлено, что при использовании добавки в топливе ДГЛ происходит нормализация концентрации оксидов азота и угарного газа в воздухе на рабочем месте машиниста дизель-гидравлического локомотива.



## ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО УЛУЧШЕНИЮ УСЛОВИЙ ТРУДА ПО ХИМИЧЕСКОМУ ФАКТОРУ ПРИ РАБОТЕ ДИЗЕЛЬ-ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

### 4.1 Методика контроля содержания токсичных компонентов в отработанных газах дизельных двигателей

Для объективной оценки загрязнения воздуха рабочих зон оксидами азота, угарным газом рекомендуется методика их контроля в рудничной атмосфере. При сгорании топливно-воздушной смеси в цилиндрах дизельного двигателя образуется диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ), оксиды азота ( $\text{N}_x\text{O}_y$ ), оксид углерода (CO), диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ), альдегиды (акролеин, формальдегид, ацетальдегид), углеводороды, сажа, смолы и другие токсичные компоненты. Концентрации этих компонентов в выхлопе зависят от типа двигателей, их регулировки, режима работы, условий эксплуатации, степени износа, применяемого топлива. Для создания безопасных условий труда к дизельному оборудованию, применяемому на шахтах, предъявляется ряд требований:

- регламентируется содержание вредных компонентов (оксида углерода, оксидов азота и альдегидов) в выхлопе двигателей;
- дизельное оборудование оснащается системой газоочистки;
- применяется малосернистое топливо (для уменьшения концентрации диоксида серы).

Исходя из проведенного анализа следует, что определяемыми газами являются диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ), оксиды азота ( $\text{N}_x\text{O}_y$ ), оксид углерода (CO). На каждый компонент в предусмотренных для отбора проб точке отбирается по два образца, а результат измерения рассчитывается, как среднее арифметическое значение. На машинах с двумя выпускными трактами пробы на оксиды азота и оксид углерода отбираются в каждом из них.

Все пробы, характеризующие состав неразбавленных отработанных газов, отбираются при работе двигателей в режиме холостого хода с максимальным числом оборотов. Число оборотов фиксируется по штатному тахометру машин.

Если дизельная машина не укомплектована штатным тахометром, максимальное число оборотов задается нажатием педали акселератора до отказа. До начала отбора проб двигатель должен проработать в указанном режиме не менее 5 минут. Температура отработанных газов после каталитического нейтрализатора (при отборе проб на оксид углерода) должна быть не менее 250 °С. Лабораторное определение СО производится обязательно в день отбора проб после того, как газовая проба примет температуру воздуха помещения лаборатории. На стеклянные пробоотборники и резиновые камеры, предназначенные для отбора проб отработавших газов, должна быть нанесена маркировка. Применение этих пробоотборников и камер для отбора проб воздуха рабочей зоны запрещается. Для отбора проб на оксиды азота применяют пробоотборники из окрашенного стекла в связи с тем, что применяемый в качестве поглотительного раствора калий йодистый разлагается на свету с образованием йода. При отборе проб отработавших газов наборщик проб должен располагаться на входящей вентиляционной струе по отношению к выхлопу. Во избежание ожога рук все операции по подсоединению пробоотборника к патрубкам машин должны выполняться в рукавицах. Если выработка, где работают машины, проветривается частично загазованным воздухом (например, при последовательном проветривании), то должен предусматриваться отбор проб на входящей в выработку вентиляционной струе (на расстоянии 10-20 метров от устья).

Требования главного документа по расчету необходимого подаваемого свежего воздуха в шахтную атмосферу по п 3.2. РД 05-312-99 касательно минимально необходимого расхода воздуха для разбавления 5 м<sup>3</sup>/мин на 1 л.с. основываются на исследованиях (исследования НИИ «Гипроникель», г. С. Петербург, в 1974-1975 гг. на шахтах ОАО «Севуралбокситруда»), отраженных в разъяснениях Госгортехнадзор СССР № 05-27/112 от 16.03.76. Согласно исследованиям НИИ «Гипроникель» пробы воздуха должны отбираться на исходящей струе на расстоянии R, на котором достигается равномерное распределение газов в поперечном сечении выработки ( $R = 6\sqrt{S}$ , где S - поперечное сечение выработки).

1. Для определения концентраций за пределами зоны недостаточного перемешивания газов с воздухом наборщик проб должен находиться на расстоянии не менее  $R$  от точки наибольшего приближения машины к месту отбора проб (Таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Размеры зоны недостаточного перемешивания газов

Сечение выработки $S, \text{м}^2$	Расстояние от двигателя $R, \text{м}$
12	21
16	24
20	27
24	30

2. Если протяженность выработки ограничена и такое расстояние от машины до точки отбора в выработке, где работает машина, выдержать невозможно, то пробу следует отбирать на указанном расстоянии по ходу исходящей вентиляционной струи в примыкающей выработке, в которую поступает весь или основная часть (при наличии нескольких исходящих) загрязненного воздуха.

3. Определение концентрации  $\text{CO}$  и  $\text{NO}_x$  в поступающей в выработку струе воздуха (вентиляция) производится экспресс-методом.

4. Пробоотборники, выдаваемые наборщику проб, должны быть чисто вымыты, пронумерованы и снабжены надежными пробками или зажимами. Резиновые мешки и камеры промываются чистым воздухом. Ответственность за подготовку сосудов для отбора проб, за заполнение их поглотительными растворами и вакуумирование возлагается на работников лаборатории.

5. Пробы, отобранные для лабораторного анализа, должны транспортироваться со всеми мерами предосторожности, способствующими их сохранности, и доставляться в лабораторию с заполненным и подписанным нарядом.

6. Проверяется состояние доставленных сосудов и приборов, после чего необходимо расписаться в приемке проб в наряде и указать количество проб, дату

и время сдачи наряда в лабораторию. Обнаруженные дефекты принимаемых проб фиксируются в наряде.

Определение загазованности воздуха рабочей зоны может осуществляться путем:

- экспресс-метода измерения концентрации вредных газов соответствующими приборами;
- лабораторного химического анализа отобранных проб воздуха.

Экспресс-метод включает:

- контроль концентрации вредных компонентов в воздухе рабочей зоны соответствующими газоанализаторами различных модификаций (на один или несколько компонентов) согласно эксплуатационным документам на данные приборы.

Для лабораторного химического анализа отбор проб производится следующим методом:

- Вакуумно-химический метод для определения оксидов азота, при котором используются сосуды с известным, заранее измеренным объемом. Сосуд с поглотительным раствором, закрытый резиновой пробкой с трубкой и вакуумным шлангом, вакууммируется в лаборатории до остаточного давления  $(10+2)$  мм рт.ст. и закрывается заглушкой. Пробы с жидким поглотительным раствором должны анализироваться не позднее, чем через 12 часов от момента заливки поглотительного раствора.

- Отбор проб в резиновые камеры. Применяется для определения оксида углерода, диоксида углерода. Обязательным условием правильного отбора проб является предварительное трехкратное промывание камеры отбираемым воздухом или газом в объеме не менее  $1 \text{ дм}^3$ . Резиновая камера заполняется пробой воздуха с помощью ручного насоса или груши с обратным клапаном. Объем отобранной пробы должен быть  $(2-4) \text{ дм}^3$ . Отобранные пробы могут храниться не более 12 часов. Пробы с предполагаемой высокой концентрацией определяемых компонентов (отработавшие газы ДВС) должны быть проанализированы в первую очередь.

При расчете результатов анализа необходимо учитывать, что объем отобранной пробы воздуха зависит от температуры, давления и влажности. Для получения достоверных результатов анализа объем отобранного газа приводится к нормальным условиям.

Таким образом, рассмотренная методика позволяет своевременно и качественно определять состав шахтного воздуха при работе дизель-гидравлического транспорта.

#### 4.2 Расчет класса условий труда работников шахт по химическому фактору

В воздухе рабочих зон персонала угольных шахт присутствуют повышенные концентрации вредных газов, что отражено и в протоколах специальной оценки условий труда (СОУТ) по химическому фактору. Как показал анализ результатов СОУТ, эффективность проводимых на шахтах мероприятий по снижению выбросов отработанных газов недостаточна. По отдельным рабочим местам – горнорабочего подземного, электрослесаря – класс условий труда по химическому фактору равен 3.1 или 3.2.

В таблице 4.2 представлены требования к классам (подклассам) условий труда по химическому фактору для угарного газа и оксидов азота, а также максимальное превышение по фактическим значениям, измеренным в условиях угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс».

Таблица 4.2 – Результаты замеров содержания угарного газа и оксидов азота в рабочей зоне машиниста ДГЛ

Наименование химических веществ	Класс (подкласс) условий труда (кратность превышения фактической концентрации вредных химических веществ в воздухе рабочей зоны над предельно допустимой концентрацией данных веществ (раз))					Превышение по фактическим значениям, раз
	вредный				опасный	
	3.1	3.2	3.3	3.4		
Угарный газ	>1,0 - 3,0	>3,0 - 10,0	>10,0 - 15,0	>15,0 - 20,0	>20,0	4
Оксиды азота	>1,0 - 3,0	>3,0 - 10,0	>10,0 - 15,0	>15,0 - 20,0	>20,0	10

Таблица 4.3 – Сравнительный анализ содержания угарного газа и оксидов азота в рабочей зоне машиниста ДГЛ при применении добавки и без нее

	До применения СКЗ		После применения СКЗ	
	СО	Оксиды азота	СО	Оксиды азота
шахта «им. С.М. Кирова»				
на холостых оборотах				
ПДК	0,00170	0,00025	0,00170	0,00025
Превышение, раз	2,7	3,0	0,8	0,7
Класс условий труда	3.1	3.1	2	2
при 1520 об/мин				
Превышение, раз	2,1	2,7	0,7	0,5
Класс условий труда	3.1	3.1	2	2
при максимальных оборотах				
Превышение, раз	2,0	1,7	-	-
Класс условий труда	3.1	3.1	2	2
ШУ «Комсомолец ПЕ шахта «Полысаевская»				
на холостых оборотах				
Превышение, раз	1,4	1,8	0,5	0,6
Класс условий труда	3.1	3.1	2	2
при 1520 об/мин				
Превышение, раз	1,8	1,7	0,4	0,5
Класс условий труда	3.1	3.1	2	2
при максимальных оборотах				
Превышение, раз	2,0	1,9	0,2	-
Класс условий труда	3.1	3.1	2	2
шахта «им. В.Д. Ялевского»				
на холостых оборотах				
Превышение, раз	2,2	2,0	0,5	0,4
Класс условий труда	3.1	3.1	2	2
при 1520 об/мин				
Превышение, раз	2,4	2,8	0,5	0,4
Класс условий труда	3.1	3.1	2	2
при максимальных оборотах				
Превышение, раз	2,5	3,0	0,4	0,3
Класс условий труда	3.1	3.1	2	2

Была проведена сравнительная оценка содержания угарного газа и оксидов азота в выхлопных газах на рабочем месте машиниста ДГЛ без использования добавки в топливе и с ней (Таблица 4.3).

В рамках производственного эксперимента установлено, что на рабочем месте машиниста дизелевоза, а также в примыкающей рабочей зоне (например, в двадцатиметровой зоне от дизелевоза) имеются точки с превышением содержания в воздухе углекислого газа, угарного газа и оксидов азота в воздухе. При этом в расширенных протоколах СОУТ на исследуемых рабочих местах при анализе воздействия вредных газов не учитывается фактическая концентрация угарного газа, оксидов азота, углеводородов в воздухе рабочей зоны.

В связи с тем, что в расчете класса условий труда не рассматривается совокупное влияние нескольких газов на здоровье работника, предложен вариант расчета класса условий труда по химическому фактору на рабочих местах в угольных шахтах на основе методики комплексной оценки критерия безопасности. В основе расчетов лежит концентрация трех газов: угарный газ, углекислый газ, оксиды азота.

#### 1. Критерий безопасности (К)

$$K = \sum_{n=1}^3 \frac{C_n^{\text{факт}}}{C_n^{\text{ПДК}}} \leq 1, \quad (13)$$

где К- критерий безопасности,

n – количество газов,

$C_n^{\text{факт}}$  - фактическое значение концентрации вредного газа в воздухе рабочей зоны машиниста ДГЛ,

$C_n^{\text{ПДК}}$  - ПДК по данному газу на основании Руководства по безопасности «Рекомендации по использованию в угольных шахтах транспортных машин с дизельным приводом»

Результаты расчетов по формуле 13 представлены в таблице 4.4.

Исходя из результатов, представленных в таблицах 4.3 и 4.4, можно сделать вывод о сходимости результатов снижения класса условий труда по химическому

фактору на рабочем месте машиниста дизель-гидравлического локомотива в угольных шахтах, выполненных как при использовании методики комплексной оценки критерия безопасности, так и при рассмотрении каждого газа в отдельности.

Таблица 4.4 – Результаты расчета класса условий труда при совокупном воздействии нескольких однонаправленных газов

	Спецналадка	
	До применения	После применения
К	2,3	0,7
Класс условий труда	3.1	2
	шахта «им. С.М. Кирова»	
	До применения	После применения
К	2,9	0,8
Класс условий труда	3.1	2
	ШУ «Комсомолец ПЕ шахта «Полысаевская»	
	До применения	После применения
К	3,0	0,9
Класс условий труда	3.1	2
	Шахта «им. В.Д. Ялевского»	
	До применения	После применения
К	2,4	0,5
Класс условий труда	3.1	2

#### **4.3 Компьютерное моделирование распределения вредных газов в шахтной атмосфере при работе ДГЛ**

Существует несколько способов расчета подаваемого количества воздуха: по газовыделению; по расходу взрывчатых веществ; по наибольшему количеству людей; по выносу пыли; по тепловыделению [48]. Но вместе с тем, наличие дизель-гидравлических локомотивов (ДГЛ) в шахтах обуславливает необходимость подачи дополнительного количества свежего воздуха [68, 70]. В настоящий момент в РФ количество воздуха, подаваемое в выработки угольных шахт, должно рассчитываться согласно требованиям Руководства по безопасности



"Рекомендации по использованию в угольных шахтах транспортных машин с дизельным приводом" [40]. Наиболее строгие значения по количеству воздуха предъявляются в документе РД 05-312-99, требующем подавать 5 м<sup>3</sup>/мин на 1 л.с. ДВС, работающего в этой горной выработке [41]. Но это избыточные требования, учитывая то, что в современных двигателях дизель-гидравлических локомотивов установлены дополнительно специальные каталитические нейтрализаторы. Например, в зарубежных странах норма расхода воздуха составляет 3,6 м<sup>3</sup>/мин на 1 л.с дизельного двигателя. В результате российские шахты несут большие неоправданные издержки на вентиляцию подземных горных работ [19-21, 31, 56, 73, 86, 93].

С момента принятия этого документа требования, предъявляемые к качеству дизельного топлива, значительно изменились [5, 42] (Таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Требования, предъявляемые к количеству выбросов, соответствующих классу топлива

Стандарт	СО (гр./кВт)	NO <sub>x</sub> (гр./кВт)	НС (гр./кВт)	PM (гр./кВт)
Евро 0	12,3	15,8	2,60	-
Евро 1	4,9	9,0	1,23	0,40
Евро 2	4,0	7,0	1,10	0,15
Евро 3	2,1	5,0	0,66	0,10
Евро 4	1,5	3,5	0,46	0,02
Евро 5	1,5	2,0	0,46	0,02

Для визуализации распределения выхлопных газов при работе дизель-гидравлических локомотивов в горной выработке было выполнено компьютерное моделирование. В качестве исходных данных выбирались различные концентрации монооксида углерода и оксидов азота в отработанных газах дизель-гидравлических локомотивов. Значения были получены на трех шахтах АО «СУЭК-Кузбасс»:

1. шахта «им. С.М. Кирова»;
2. шахта «им. В.Д. Ялевского»;
3. ш/у Комсомолец ПЕ «ш. Комсомолец».

Вместе с концентрацией газов варьировалась температура выхлопных газов, расход подаваемого чистого воздуха в выработку.

Для моделирования процесса были выбраны и заданы начальные условия: горная выработка формы прямоугольного параллелепипеда, имеющая геометрические параметры 25x5.3x2.83м (площадь поперечного сечения выработки равна 16 м<sup>2</sup>). Выхлопная труба соответствует модели DLZ110F и имеет размеры 14x5x5см.

Расчетная сетка тетраэдрической формы создавалась размером не более 0,1 м с измельчением вблизи стен выработок и в окрестностях ДГЛ до 0,01 м. Критерием сходимости принимался  $\varepsilon < 10^{-4}$ .

Решение поставленной задачи базировалась на силовой теории массопереноса с учетом течения вязкого многокомпонентного газа на основе системы уравнений Навье-Стокса и осуществлялось в программном комплексе Ansys CFD. При численном моделировании турбулентность потока описывалась как k-  $\varepsilon$  и SST- модель [95-96].

Ранее исследования вентиляции с помощью вычислительной гидродинамики в угольных шахтах [18, 104] проводились различными научными коллективами, но в данных исследованиях не достигался требуемый результат. В данном случае задача решалась в установившемся режиме при работе дизельного двигателя мощностью 110 л.с. на максимальных, средних и холостых оборотах. Входящий расход воздуха в выработке задавался исходя из требования нормативных документов 550м<sup>3</sup>/мин. Температура горных пород и свежей струи 12 °С. Шероховатость 0,1 м. В исходных данных варьировались расход и концентрация выхлопных газов, а именно использовались максимально допустимые значения по ГОСТ 31967-2012 [5] для двигателей до 2000 года, для двигателей с 2021 года и средние значения по фактическим замерам проведенных в АО «СУЭК-Кузбасс» (на основе 145 замеров).

Результаты расчетов при температуре выхлопных газов, равной 150 °С (максимально допустимая) и 42 °С (минимальная на основе фактических замеров), показали, что зона превышения ПДК и интенсивного перемешивания со свежей

струей воздуха находится на удалении не более 6 метров от выхлопной трубы. Далее выхлопные газы не разбавленные до ПДК поднимаются к кровле и составляют слоевое скопление не более 0,4 м до момента остывания с последующим опусканием к ядру вентиляционной струи и перемешиванием значений ниже ПДК.

Распределение зоны распространений высоких концентраций выхлопных газов подразумевает отбор пробы у выхлопной трубы и на расстоянии 20 м, но в средней части сечения выработки. Как показали результаты моделирования, возможно превышение ПДК и по прошествии 20 м от выхлопной трубы ДГЛ в случае слоевого скопления выхлопных газов до момента их остывания. В случае измерения концентрации газов в средней части сечения выработки превышение ПДК может быть зафиксировано не далее 6 м от выхлопной системы при использовании дизельного топлива стандарта Евро-5.

Построенные компьютерные модели позволяют визуализировать процесс проветривания как в пространстве, так и во времени. В качестве иллюстраций, позволяющих убедиться в адекватности моделирования процессов проветривания, ниже приводятся несколько примеров.

Рисунки 4.1–4.4 иллюстрируют пространственное распределение загрязнения газом СО вдоль центральной продольной оси Y для установившегося режима.

На рисунках 4.2–4.4 показано распределение выхлопных газов по выработке при работе на максимальных оборотах с топливом стандарта Евро-5. Показано слоевое скопление нагретых выхлопных газов в горной выработке. Рисунок 4.3 отличается от рисунка 4.2 тем, что выхлопная струя достигает борта выработки.

Несмотря на более быстрое рассеивание выхлопных газов в случае достижения выхлопной струи стенки выработки, формируется слоевое скопление выхлопных газов вне зоны дыхания работников.

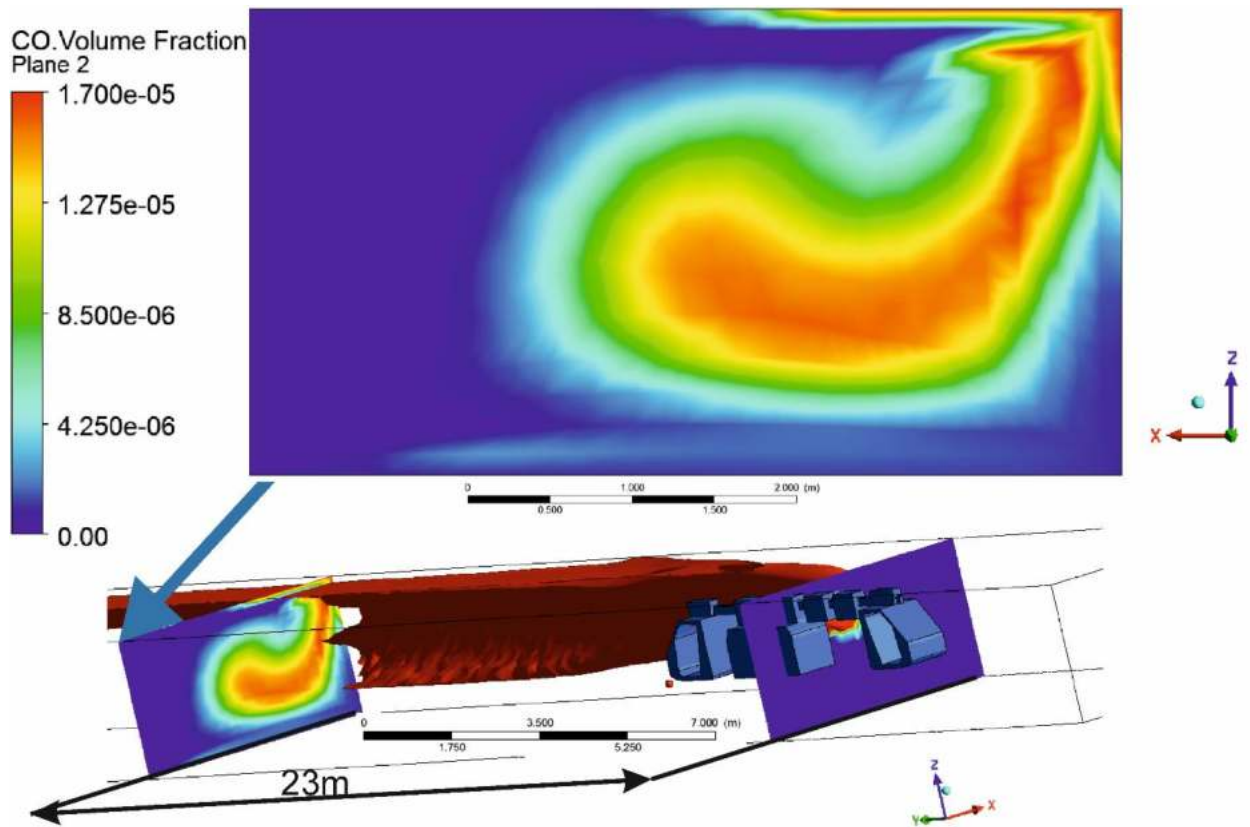


Рисунок 4.1 – Распределение выхлопных газов по выработке

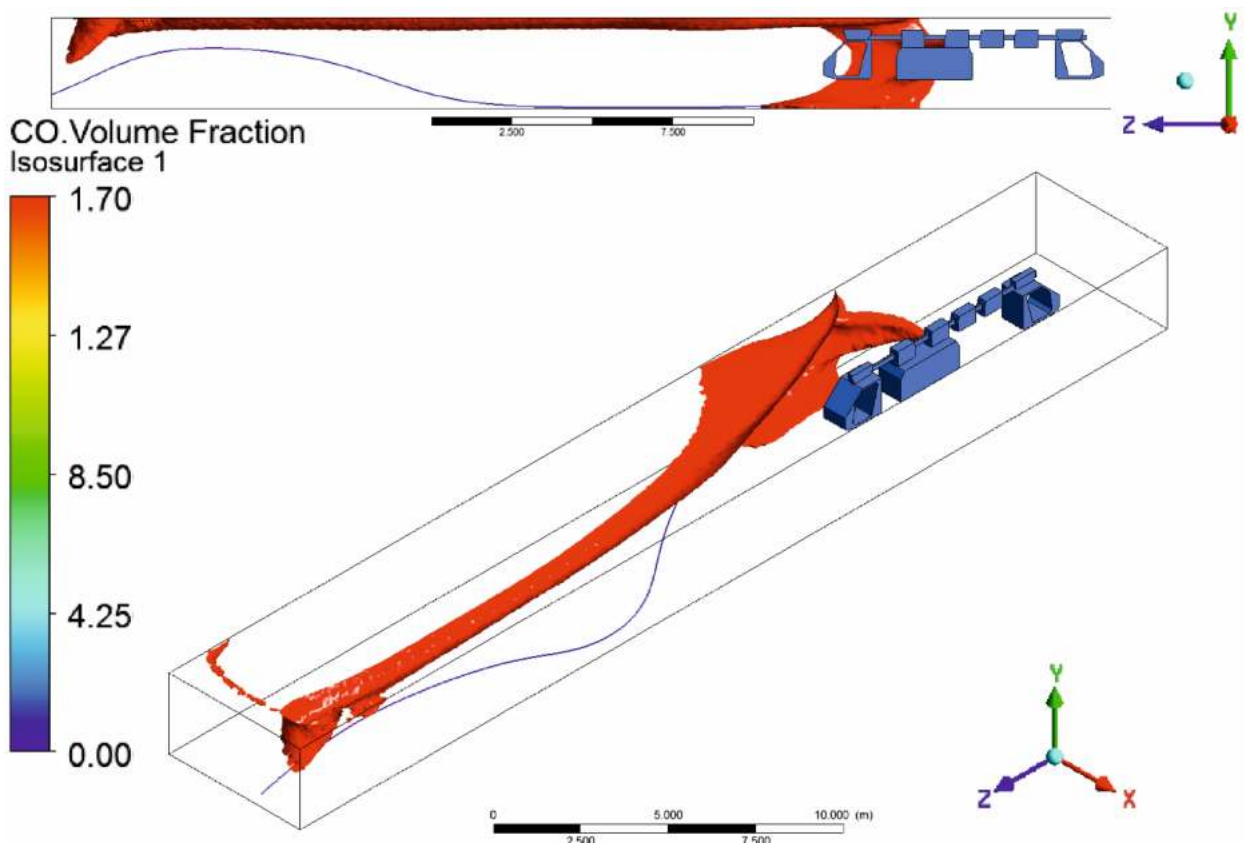


Рисунок 4.2 – Распределение выхлопных газов по выработке

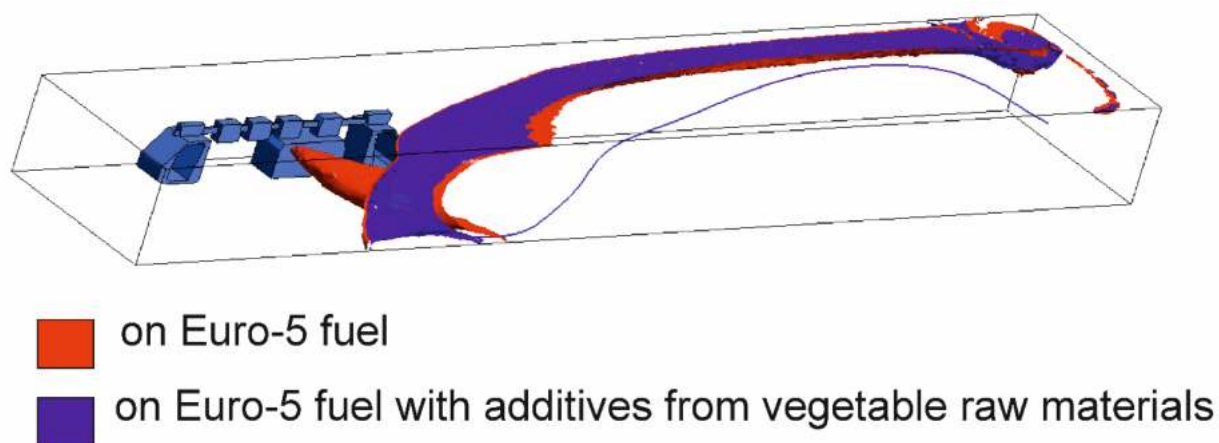


Рисунок 4.3 – Распространение выхлопных газов по выработке при работе на максимальных оборотах с топливом стандарта Евро-5 с присадкой на чистом дизельном топливе.

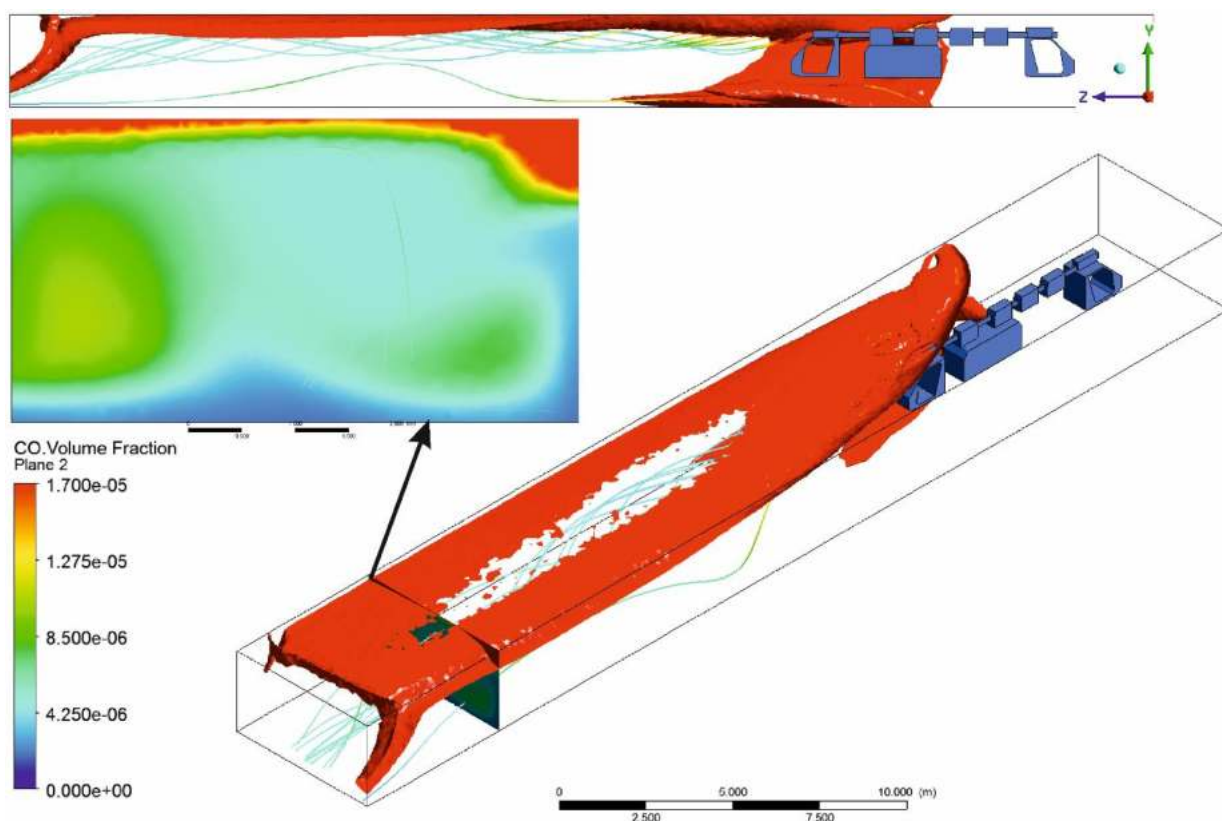


Рисунок 4.4 – Распространение выхлопных газов по выработке с расходом  $3,6 \text{ м}^3/\text{мин}$  на 1 л.с.

В случае снижения требуемого расхода воздуха до  $3,6 \text{ м}^3/\text{мин}$  на 1 л.с. (Рисунок 4.4) ожидаемая зона превышения ПДК угарного газа от выхлопных газов формируется более широкой в верхней части горной выработки. В средней

части горной выработки концентрация выхлопных газов также быстро снижается до приемлемых значений.

Результаты расчетов показали, что выхлопные газы при выходе из выхлопной системы разбавляются в вентиляционной струе достаточно эффективно и при подаче воздуха в 3,6 м<sup>3</sup>/мин на 1 л.с. Кроме того, по результатам расчетов было определено, что объем зоны разбавления угарного газа может быть сокращен за счет введения добавки из растительного сырья [24-27] при смешивании с обычным дизельным топливом стандарта Евро-5. В этом случае объем зоны размешивания угарного газа уменьшается с 16,98 м<sup>3</sup>, до 12,57 м<sup>3</sup>. Таким образом, эффективности действия добавки составляет 26 %.

Наибольшее значение для компаний при пересчете количества подаваемого воздуха имеет экономия средств. Поэтому после определения необходимого количества воздуха, подаваемого на 1 л.с., производился пересчет затрат на вентиляцию, связанную с наличием ДГЛ при подземных работах.

Таким образом, была обоснована необходимость изменения требований, предъявляемых к количеству воздуха, подаваемого на 1 л.с в угольных шахтах в тупиковых выработках и труднопроветриваемых местах. Расчетами показано, что требования по минимальному количеству воздуха, содержащиеся в РД 05-312-99, являются избыточными и могут быть пересмотрены в сторону уменьшения при применении добавки в дизельном топливе.

Использование добавки к дизельному топливу позволяет снизить концентрации вредных веществ на рабочем месте машиниста ДГЛ.

#### **4.4 Технико-экономическое обоснование производства добавок в топливо ДГЛ в условиях АО «СУЭК-Кузбасс»**

Технологическая схема переэтерификации растительных масел спиртом представляет собой несколько этапов [90]. К первому этапу можно отнести поступление сырья (а именно, семян и стеблей растительных культур), хранение, а также предварительную подготовку перед процессом получения растительного масла. Ко второму этапу относится сам процесс получения растительного масла

из подготовленного сырья, очистка масла, хранение, подготовка и подача масла для процесса переэтерификации. Третий этап включает в себя непосредственно процесс переэтерификации растительного масла спиртом, хранение полученного биодизельного топлива и транспортировка к месту потребления.

Первые 2 этапа представляют собой традиционную цепочку производства растительного масла, как для пищевого назначения, так и для технических целей [90].

Процесс переэтерификации может быть осуществлен по двум основным схемам: периодический процесс получения и непрерывный, в зависимости от принципа организации процесса производства (Рисунок 4.5). Преимущества остаются за схемой непрерывного получения, хотя данная схема технологически сложнее [90].



Рисунок 4.5 – Структурная схема технологического процесса производства добавок

Для реализации данной схемы на производстве необходимо небольшая установка для получения биодизельного топлива (добавок к топливу), например, EXON-50.

*Расчет социально-экономической эффективности от использования топлива с добавками*

Время работы дизелевозов 3 смены по 7 часов, количество работников на одном ДГЛ составляет 5 человек в соответствии со сменным графиком работы. Таким образом на предприятии АО «СУЭК-Кузбасс» на должности машинист ДГЛ работает:

$$N = k * n = 60 * 5 = 300 \text{ чел.}, \quad (14)$$

где N – количество человек, имеющих должность машинист ДГЛ на предприятии АО «СУЭК-Кузбасс», n – количество человек, работающих на одном ДГЛ при сменном графике работы, k – количество ДГЛ на АО «СУЭК-Кузбасс».

Оклад машиниста ДГЛ на предприятии АО «СУЭК-Кузбасс» составляет около 70 000 рублей. Исходя из этого можно рассчитать экономию, полученную в ходе улучшения условий труда на рабочем месте машиниста ДГЛ по химическому фактору в год:

$$\text{Эф} = 0,04 \cdot 70000 \cdot 300 \cdot 12 = 10080000 \text{ рублей} \quad (15)$$

где 0,04 – доплата при классе условий труда 3.1; 70000 – оклад на должности машиниста ДГЛ, руб.; 300 – количество человек, имеющих должность машинист ДГЛ на предприятии АО «СУЭК-Кузбасс», 12 – количество месяцев в году.

Таким образом, прибыль от мероприятий по улучшению условий труда составит порядка 10 млн рублей в год.

Расчет дополнительных страховых взносов производим по формуле:

$$\text{Эф} = 0,02 \cdot 70000 \cdot 300 \cdot 12 = 5040000 \text{ рублей} \quad (16)$$

где 0,02 – дополнительный тариф страховых взносов при классе условий труда 3.1; 70000 – оклад на должности машиниста ДГЛ, руб.; 300 – количество человек, имеющих должность машинист ДГЛ на предприятии АО «СУЭК-Кузбасс», 12 – количество месяцев в году.

В таблице 4.6 представлены дополнительные отчисления на социальное страхование работодателем [1].



Таблица 4.6 – Дополнительные страховые взносы в зависимости от классов условий труда

Классы условий труда	Процент дополнительных взносов страхования
Опасный (4)	8,00
Вредный (3.4)	7,00
Вредный (3.3)	6,00
Вредный (3.2)	4,00
Вредный (3.1)	2,00
Допустимый (2)	0,00
Оптимальный (1)	0,00

Таким образом, прибыль от мероприятий по улучшению условий труда составит порядка 5 млн рублей в год по отсутствию выплат дополнительных страховых взносов.

*Расчет экономической эффективности от использования топлива с добавками*

Для определения годового экономического эффекта необходимо определить себестоимость топлива с добавкой. Определяют себестоимость продукта по пунктам: выявляются затраты по каждому технологическому процессу (или установке); рассчитывается себестоимость отдельных продуктов (компонентов, полуфабрикатов) внутри технологического процесса (установки); рассчитывается себестоимость смешения (компаундирования) отдельных товарных нефтепродуктов. Выявление затрат по каждому технологическому процессу (установке) производится путем выделения на счете основного производства субсчетов на каждый отдельный процесс (передел) или установку.

Фонд заработной платы специалистов определяют на основании штатного расписания и должностных окладов (Таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Расчет фонда заработной платы

Наименование профессии	Инженер
Число рабочих в смену	1
Число смен в сутки	3
Явочное число рабочих в сутки	3

## Продолжение таблицы 4.7

Коэффициент перехода от явочного числа рабочих к списочному	1,33
Списочное число рабочих	4
Число рабочих смен на одного рабочего в течение года	259
Число смен, подлежащих отработке всеми рабочими	1095
Основная заработная плата:	
Разряд	-
Тарифная ставка в смену, тыс. руб.	1,12
Годовой фонд заработной платы, тыс. руб.	1204,513
Процент премий	60,00
Сумма премий, тыс.руб.	722,723
Доплата за работу в ночное время, тыс.руб.	240,939
Доплата за праздники, тыс. руб.	46,214
Основная заработная плата, тыс. руб.	1973,421
Продолжительность отпуска, дни	168
Сумма, тыс. руб	302,773
Всего основной и дополнительный фонд заработной платы, тыс. руб.	2276,171

Затраты на технологическое оборудование (Таблица 4.8) принимаются на основании количества выбранного (рассчитанного) оборудования и цен на него или по данным предприятия.

Таблица 4.8 – Расчет стоимости технологического оборудования проектируемого цеха (отделения, участка)

№ п/п	Наименование и краткая характеристика оборудования	Количе ство единиц	Цена за единицу оборудовани я, тыс. руб.	Общая стоимость всего оборудования, тыс. руб.	Годовая амортизация	
					Норма амортиза ции, %	Сумма амортиза ции, руб.
1	EXON-50	2	350	700	11	77 000

Амортизационные отчисления. Расчет годовой суммы амортизации (Таблица 4.9) производится на основании дифференцированных норм амортизации и стоимости основных производственных фондов по отдельным элементам.

Таблица 4.9 – Расчет годовой суммы амортизации

Основные фонды	Стоимость основных фондов, тыс.руб.	Норма амортизации, %	Сумма амортизации, руб.
EXON-50	700	11	77 000

Расчет себестоимости готовой продукции представлена в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Калькуляция себестоимости продукции

Наименование статей затрат	Количество в день, л	Количество в год, л	Цена 1 т, руб	Сумма, руб	Сумма, тыс руб
1. Сырье и материалы					
рыжиковое масло	2500	912 500	45000,0	41 062 000	41 062, 00
бутиловый спирт	1250	465 250	16886,0	7 756 250	7 756, 25
серная кислота(кат)	125	125	10000,0	1250	1,25
Глицерин – побочный продукт	1250	465 250	65000,0	30 241 250	30 241,25
итого:				18 578 250	18 578,25
2. Энергетические затраты					
электроэнергия	1337,000	448057,15	3,3	1 610 588,6	1610,6
3. Условно-постоянные расходы					
Зарплата основная					2276,17
соц нужды					682,851
амортизация					77
ремонт					35
Полная себестоимость					23 260,371
Себестоимость одной тонны продукции					23,26

Себестоимость топлива с добавкой вычислялась по формуле:

$$C_H = 25,6 \cdot 0,95 + 23,23 \cdot 0,05 = 25,4 \text{ рублей,} \quad (17)$$

где 25,6 – себестоимость дизельного топлива, руб.; 0,95 – доля дизельного топлива в смеси с добавкой; 23,23 – себестоимость добавки, руб.; 0,05 – доля добавки в смеси с дизельным топливом.

Годовой экономический эффект (Эг) (экономия приведенных затрат, в рублях) рассчитывается по формуле:

$$\text{Э}_Г = (C_1 - C_2) \cdot B_2 - E_H \cdot Z_{\text{ед}} \quad (18)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  - себестоимость продукции (работ) до и после внедрения мероприятий (текущие затраты), руб.;  $B_2$  - годовой объем продукции (работ) после внедрения мероприятий, в натуральном выражении;  $E_n$  - нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности (величина, обратная нормативному сроку окупаемости,  $T_n$ );  $Z_{ед}$  - единовременные затраты, связанные с разработкой и внедрением мероприятий, руб. Нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности ( $E_n$ ) для мероприятий устанавливается 0,15, нормативный срок окупаемости ( $T_n$ ) - 6,7 года.

При определении годового экономического эффекта экономия по себестоимости продукции -  $(C_1 - C_2) B_2$  - может быть рассчитана непосредственно в годовом разрезе по отдельным элементам себестоимости (з/п, материалы, амортизация и т.д.) при наличии необходимых исходных данных.

$$\mathcal{E}_Г = (C_1 - C_2) \cdot B_2 = (25,6 - 25,4) \cdot 18396000 = 3679200 \text{ рублей в год} \quad (19)$$

Таким образом, прибыль от использования добавки в топливе дизель-гидравлических локомотивах на предприятии АО «СУЭК-Кузбасс» составит порядка 3,5 млн рублей в год.

#### **Выводы по главе 4**

1. Предложена методика контроля содержания вредных выбросов в горных выработках, позволяющая своевременно и качественно определять состав шахтного воздуха при работе дизель-гидравлического транспорта.

2. Использование разработанной добавки к дизельному топливу позволяет снизить класс условий труда по химическому фактору на рабочих местах машиниста ДГЛ с 3.1 до 2.

3. Компьютерным моделированием доказано снижение концентрации вредных выбросов на рабочем месте машиниста ДГЛ через распределение выхлопных газов по выработке при использовании добавки к дизельному топливу в сравнении с использованием базового дизельного топлива.

4. Проведенное технико-экономическое обоснование производства добавки свидетельствует о целесообразности производства на базе угледобывающей компании АО «СУЭК-Кузбасс». При этом, себестоимость добавки составляет 25,4 рублей/л, что позволяет судить о конкурентоспособности на российском рынке.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, которая решает актуальную задачу улучшения условий труда на рабочем месте машиниста дизель-гидравлического локомотива по химическому фактору за счет снижения концентрации вредных газов в воздухе рабочих зон.

Основные научные результаты и практические рекомендации отражены в следующих выводах:

1. Установлено, что до 90% выбросов угарного газа и оксидов азота образуется при работе дизель-гидравлических локомотивов.

2. Определено, что в рабочей зоне машиниста дизель-гидравлических локомотивов в угольных шахтах концентрация угарного газа и оксидов азота превышает норму более чем в 2 раза.

3. Добавка, полученная из рыжикового масла, обладает лучшими экологическими и эксплуатационными характеристиками по сравнению с использованием других видов сырья. Экспериментально установлено, что содержание данной добавки в смеси с гидроочищенным дизельным топливом должно составлять 5 %.

4. Стендовые испытания добавок на дизельном двигателе показали, что концентрация оксидов углерода в отработанных газах снижается на 16-70 % при максимальной нагрузке и на 30-50 % при частичной нагрузке (75 %) в зависимости от числа оборотов, и дополнительно измененная концентрация углеводородов в отработанных газах снижается на 6-26 % при максимальной нагрузке и на 25-43 % при частичной нагрузке (75 %). Дымность отработанных газов снижается до 71 %.

5. Доказано, что использование добавки в двигателе «Zetor 1404 турбо» позволяет снизить выбросы СО при сжигании ДТ с добавкой в сравнении с использованием обычного дизельного топлива на 19-60%, и снизить концентрацию оксидов азота на 17-98%.

6. Использование разработанной добавки к дизельному топливу позволяет снизить класс условий труда по химическому фактору на рабочих местах машиниста ДГЛ с 3.1 до 2.

7. Целесообразность производства добавки на базе угледобывающей компании АО «СУЭК-Кузбасс» доказывается проведенным технико-экономическим обоснованием. Себестоимость добавки составляет 23 руб/л.

8. Научные положения диссертации и технические разработки обеспечивают дальнейшее развитие теории и технологии защиты от вредных газов персонала в капитальных и подготовительных горных выработках угольных шахт. Исследование может получить продолжение при совершенствовании существующих и разработке новых способов защиты от вредных химических факторов.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Анисимов, А.С. Расчет состава продуктов сгорания топлива в цилиндре тепловозного дизеля, работающего по газодизельному циклу / А.С. Анисимов // Известия Транссиба. Подвижной состав железных дорог. 2015. – № 1(21). – С. 2-6.
2. Буров, Е. А. Влияние углеводородного состава дизельных топлив на их эксплуатационные свойства и приемистость к функциональным присадкам : дис. ... канд. техн. наук : 02.00.13 / Е.А. Буров. – Москва, 2015. – 154 с
3. Вредные примеси и газы атмосферного воздуха [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vesteco.ru/article/123> (дата обращения 15.11.2018)
4. Герасимов, И.Е. Исследование химии горения биотоплив на основе сложных метиловых эфиров : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.04.17/ И.Е. Герасимов. – Новосибирск, 2015. – 110 с
5. ГОСТ 31967-2012 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения (с Изменением N 1). - Москва: Стандартинформ, 2014. - 23 с.
6. ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009). Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия. – Введ. 2006-07-01. - М. : Стандартинформ, 2005. – 19 с.
7. ГОСТ Р 56163-2019 «Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу стационарными дизельными установками (новыми и после капитального ремонта) различной мощности и назначения при их эксплуатации». - Москва: Стандартинформ, 2019. - 12 с.
8. Данилов, А. М. Состояние и перспективы производства присадок к топливам [Электронный ресурс] / А. М. Данилов // Технология нефти и газа : научно-технический журнал. – 2004. - №2. - Режим доступа: <http://www.nitu.gubkin.ru/tng/204.htm> (дата обращения 05.09.2015)
9. Еремеева, А.М. Снижение вредных выбросов при работе дизельного двигателя / А.М. Еремеева, Н.К. Кондрашева // Научные технологии функциональных материалов: матер. IV Международной научно-технической конференции, 2019. – С.47.



10. Еремеева, А.М. Разработка технологии получения биологических добавок к дизельному топливу / А.М. Еремеева, И.Л. Олейник, Н.К. Кондрашева // Неделя науки – 2016: сб. тезисов IV Научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – СПб., 2016. – С. 96.

11. Еремеева, А.М. Способ снижения вредных выбросов в атмосферу за счет разработки и применения экологически чистого дизельного топлива с биодобавками / А.М. Еремеева, И.Л. Олейник, Н.К. Кондрашева // Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России: сб. тезисов XI Всероссийской научно-технической конференции – М., 2016. – С. 31.

12. Еремеева, А.М. Возможность использования биодизельного топлива в смеси с товарным дизельным топливом (тезисы) / А.М. Еремеева, И.Л. Олейник, Н.К. Кондрашева // Инновационные материалы и технологии в дизайне: Тезисы докладов III Всероссийской научно-технической конференции с участием молодых ученых. – СПб, 2017. – С.87-88

13. Еремеева, А.М. Разработка и исследование экологически чистого дизельного топлива с присадками и биодобавками / А.М. Еремеева // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2016. – Современные научные исследования. Выпуск 4. - С. 1871-1875 – URL: <http://e-koncept.ru/2016/86399.htm> (дата обращения 15.08.2020).

14. Еремеева, А.М. Разработка способа снижения вредных выбросов при работе дизельных двигателей на угольных шахтах / А.М. Еремеева, М.В. Зубко // XVIII Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов: Тезисы докладов / Санкт-Петербургский горный университет. – СПб, 2020. – С.166.

15. Еремеева, А.М. Разработка способа снижения влияния вредных газов на окружающую среду и здоровье работников угольных шахт / А.М. Еремеева // Сборник трудов конференции «Безопасность и охрана труда – 2019»: молодёжная программа в рамках Международной выставки – конкурса БИОТ. Ассоциация разработчиков, изготовителей и поставщиков средств индивидуальной защиты. – Москва, 2019. – С.31-34.

16. Еремеева, А.М. Разработка способа снижения вредных выбросов при работе дизельных двигателей / А.М. Еремеева, Н.К. Кондрашева, Г.И. Коршунов // Актуальные проблемы науки и техники – 2020: сб. материалов XIII Междунар. науч.-практ. конф. Молодых ученых (Уфа, 25 мая-29 мая 2020 г.): в 2т./под общ. ред. канд. техн. наук Рабаева Р.У. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2020. – С.109-111.

17. Инструкция по эксплуатации шахтного подвешного локомотива DLZ110F. – 8 с.

18. Каледина, Н.О. Управление газовой выделением из выработанных пространств: дис. ... док. техн. наук / Н.О. Каледина. – Москва, 1995. – 322 с.

19. Каледина, Н.О. Объемное моделирование как метод исследования и управления термой аэрогазодинамическими процессами на горных предприятиях / Н.О. Каледина, С.С. Кобылкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № S1. – С. 149–156.

20. Кобылкин, А.С. Исследование движения воздуха через неоднородную пористую среду / А.С. Кобылкин, С.С. Кобылкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 8. – С. 224-228.

21. Кобылкин, А.С. Исследование распределения вредных газов в горных выработках с использованием компьютерного моделирования / А.С.Кобылкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – Москва. – 2014. – № 10. – С.202-207.

22. Кондрашева, Н.К. Способ улучшения смазывающих свойств глубокогидроочищенных дизельных топлив / Н.К. Кондрашева, А.М. Еремеева, К.С. Нелькенбаум, Т.А. Потехина // Neftegas.ru : деловой журнал. – 2018. – № 3. – С.34-37. – URL:

<https://magazine.neftegaz.ru/upload/iblock/2ef/2efa8e53d27e248366a5e1cd3b861e09.pdf> (дата обращения 15.08.2020).

23. Кондрашева, Н.К. Влияние депрессорно-диспергирующих присадок на низкотемпературные свойства биодизельных и экологически чистых дизельных

топлив / Н.К. Кондрашева, А.М. Еремеева, К.С. Нелькенбаум // Нефтепереработка и нефтехимия: науч.-техн. журнал, 2019. – №6. – С.34-40.

24. Кондрашева, Н.К. Использование сложных эфиров в качестве добавки к товарным дизельным топливам / Н.К. Кондрашева, А.М. Еремеева, К.С. Нелькенбаум // Нефтепереработка и нефтехимия: науч.-техн. Журнал, 2017. – №9. – С.56-62.

25. Кондрашева, Н.К. Снижение вредных выбросов при работе дизельного двигателя / Н.К. Кондрашева, А.М. Еремеева, К.С. Нелькенбаум // Известия СПбГТИ(ТУ). – 2018. – № 42. – С.54-57.

26. Кондрашева, Н.К. Разработка отечественной технологии получения высококачественного экологически чистого дизельного топлива / Н.К. Кондрашева, А.М. Еремеева, К.С. Нелькенбаум // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2018. – Т. 61., Вып. 9-10. – С. 76-82.

27. Кондрашева Н.К. Возможность использования биотоплива в смеси с нефтяным дизельным топливом / Н.К. Кондрашева, А.М. Еремеева, К.С. Нелькенбаум // Материалы Всероссийской конференции с элементами научной школы для молодежи «Экотоксикология-2017», – Тула: Тульский государственный университет, 2017. – С.56-57.

28. Коршунов, Г.И. Снижение вредных выбросов при работе дизельного двигателя в угольных шахтах / Г.И. Коршунов, А.М. Еремеева, Н.К. Кондрашева // ГИАБ: горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – С. 112-119.

29. Коршунов Г.И. Снижение вредных выбросов при работе дизельного двигателя в угольных шахтах / Г.И. Коршунов, А.М. Еремеева, Н.К. Кондрашева // Сборник тезисов IV Международной научно-практической конференции «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке». – 2018. – СПб. – С.37. - ISBN 978-5-94211-770-2.

30. Крылов, И.Ф. Малосернистые дизельные топлива: плюсы и минусы / И.Ф. Крылов, В.Е. Емельянов, Е.В. Никитина и др. // Химия и технология топлив и масел. – 2005. – №6. – С.3-6.

31. Мешков, А.А. Способ снижения загрязненности воздуха рабочих зон угольных шахт вредными выбросами дизелевозов / А.А. Мешков, Г.И. Коршунов, Н.К. Кондрашева, А.М. Еремеева, А.С. Серегин // Безопасность труда в промышленности. — 2020. — № 1. — DOI: 10.24000/0409-2961-2020-1-68-7.

32. Модели и методы регулирования снижения вредных выбросов в дизельном двигателе – Часть 5 [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pandia.ru/374704/> (дата обращения 15.08.2020).

33. О состоянии профессиональной заболеваемости в Российской Федерации в 2012 году: Информационный сборник статистических и аналитических материалов. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. – 2013. – 64 с

34. Основные тенденции развития рынка биотоплива в мире и России за период 2000-2012 годов [Электронный ресурс] : аналитический отчет / ОАО «Корпорация «Развитие». – Информационно-аналитическая служба. – 2013. – Режим доступа: [http://portal-energo.ru/files/articles/portal-energo\\_ru\\_2.pdf](http://portal-energo.ru/files/articles/portal-energo_ru_2.pdf) (дата обращения 15.08.2020).

35. Патент № 2 616 297 С1 Российская Федерация, МПК С10L 1/08 (2006.01); С10L 1/00 (2006.01); С10L 1/182 (2006.01). Способ получения экологически чистого дизельного топлива: № 2015145928 : заявл. 26.10.2015: опубл. 14.04.2017 / Кондрашева Н.К., Еремеева А.М., Олейник И.Л.; заявители федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет".

36. Патент № 2 650 119 С1 Российская Федерация, МПК С10L 1/08(2006.01), С10L 1/00(2006.01), С10L 1/19(2006.01), С10L 1/14(2006.01), С10L 1/18(2006.01), С10L 10/08(2006.01). Состав экологически чистого дизельного топлива (ЭЧДТ): № 2017100655 : заявл. 10.01.2017: опубл. 09.04.2018 / Кондрашева Н.К., Еремеева А.М., Нелькенбаум К.С., Нелькенбаум С.Я.; заявители федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет", ООО "Синтез ТНП".

37. Плакиткина, Л.С. Интенсификация инновационного процесса в угольной промышленности России / Л.С. Плакиткина // Горная Промышленность. – 2011. – №3 (97). – С. 4–11.

38. Положение об аэрогазовом контроле в угольных шахтах. Серия 05. Выпуск 23. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2013. – 110 с. – ISBN 978-5-9687-0181-8.

39. Постановление Госгортехнадзора РФ от 30.09.1999 №71 "Об утверждении нормативно-технических документов". – 1999. – 1 с.

40. Пучков, Л.А. Аэродинамика подземных выработанных пространств / Л.А. Пучков // М.: Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, Б. г. – 1993. – С. 11-206. : ил.; 21 см. - (Горные науки). – ISBN 5-7418-0001-7.

41. РД 05-312-99 Технические требования по безопасной эксплуатации транспортных машин с дизельным приводом в угольных шахтах. Безопасность горнотранспортного оборудования угольных шахт : Сборник документов. Серия 05. Выпуск 12 / Госгортехнадзор России. НТЦ «Промышленная безопасность». – 2004. – 108 с.

42. Технический регламент «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту» (утв. постановлением Правительства РФ от 27 февраля 2008 г. N 118) (с изменениями от 25 сентября, 30 декабря 2008 г., 21 апреля 2010 г., 7 сентября 2011 г.). – 2012.

43. Чеботарёв А.Г. Интегральная оценка условий труда горнорабочих при подземных работах / А.Г. Чеботарёв // Бюллетень научного совета «Медико-экологические проблемы работающих». – 2003. - №1. – С. 33–36.

44. Чеботарёв А.Г. Комплексная оценка загрязнений рудничной атмосферы горнорудных предприятий при эксплуатации современной самоходной техники и меры по её нормализации / А.Г. Чеботарёв // Сб. «Профилактика профессиональных заболеваний пылевой этиологии». – Вып. 44, - М., - 1991, - С. 114–128.

45. Чеботарёв, А.Г. Современные условия труда на горнодобывающих предприятиях и пути их нормализации / А.Г. Чеботарёв // Горная промышленность. – 2012. – С. 84-88.

46. Чеботарёв, А.Г. Состояние условий труда работников горнодобывающих предприятий / А.Г. Чеботарёв // Горная промышленность. – 2018. – №1 (137). – С. 92–95.

47. Чеботарёв, А.Г., Характеристика рудничного аэрозоля и профессиональная лёгочная патология у рабочих высокомеханизированных шахт / А.Г. Чеботарёв, И.Ю. Габидулина // Медицина труда и промэкология. – 2009. – №7. – С. 7-12.

48. Шахрай, С.Г. Новые технические решения по проветриванию глубоких карьеров / С.Г. Шахрай, Г.С. Курчин, А.Г. Сорокин // Записки горного университета. – 2020. – № 240. – С. 654. doi: <http://dx.doi.org/10.31897/pmi.2019.6.654>.

49. Air-Met, Diesel Particulate Monitoring, “Spotlight” // Customer Information Circular, August/September. – 2003.

50. Ahmed, S.T. A study of free convection in a solar chimney sample / S.T. Ahmed, M.T. Chaichan // Engineering and Technology. – 2011. – Vol. 29, № 14. – P. 2986-2997.

51. Al-Maamary, H.M.S. Climate change: the game changer in the GCC region / H.M.S. Al-Maamary, H.A. Kazem, M.T. Chaichan // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – vol. 76. – P. 555-576. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.048>

52. Al-Maamary, H.M.S. Renewable energy and GCC States energy challenges in the 21st century: A review / H.M.S. Al-Maamary, H.A. Kazem, M.T. Chaichan // International Journal of Computation and Applied Sciences IJOCAAS. – 2017. – vol. 2, № 1. – P. 11-18.

53. Anchita, J. HYDRO-IMP Technology for Upgrading of Heavy Petroleum // Journal of Mining Institute. – 2017. – № 224. – P. 229-234.

54. Aneggi, E. In: Trovarelli A, Fornasiero P (eds) Catalysisby / E. Aneggi, C. de Leitenburg, A. Trovarelli // Ceria and related materials, 2nd edn. Imperial College Press, London. – 2013. – P. 565–621.

55. Attfield, M.D. The diesel exhaust in miners study: a cohort mortality study with emphasis on lung cancer / M.D. Attfield, P.L. Schleiff, J.H. Lubin, et al. // Jnci-J. Nat. Cancer Instit. – 2012. – №104(11). – P. 869–883.

56. Bagley, S.T. Impact on Low-Emission Diesel Engines on Underground Mine Air Quality / S.T. Bagley, W.F. Watts, J.P. Johnson, D.B. Kittelson, J.H. Johnson, J.J. Schauer // NIOSH Grant. – 2002. – № R01/CCR515831-01.

57. Bezergianni, S. Comparison between different types of renewable diesel / S. Bezergianni, A. Dimitriadis // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2013. – № 21. – P. 110–116.

58. Bugarski, A.D. Aerosols emitted in underground mine air by diesel engine fueled with biodiesel / A.D. Bugarski, E.G. Cauda, S.J. Janisko, J.A. Hummer, L.D. Patts // J. Air & Waste Manage. Assoc. – 2010. – № 60 (2). – P. 237–244.

59. Chaichan, M.T. Effect of design variation on saved energy of concentrating solar power prototype / M.T. Chaichan, K.I. Abaas, H.A. Kazem, et al. // Proceedings of the World Congress on Engineering (WCE 2012). – July 4 – 6, 2012. – Vol. III.

60. Chaichan, M.T. Effect of pollution and cleaning on photovoltaic performance based on experimental study / M.T. Chaichan, B.A. Mohammed, H.A. Kazem // International Journal of Scientific and Engineering Research. – 2015. – vol. 6, № 4. – P. 594-601.

61. Chaichan, M.T. Practical investigation for improving concentrating solar power stations efficiency in Iraqi weathers / M.T. Chaichan, K.I. Abaas // Anbar J for Engineering Science. – 2012. – vol.5, № 1. – P. 76-87.

62. Chaichan, M.T. Practical study of basement kind effect on solar chimney air temperature in Baghdad-Iraq weather / M.T. Chaichan // Al Khwarizmi Eng. Journal. – 2011. – vol. 7, № 1. – P. 30-38.

63. Chaichan, M.T. Performance amelioration of a Trombe wall by using phase change material (PCM) / M.T. Chaichan, K.I. Abaas // International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology. – 2015. – vol. 2, № 4. – P. 1-6.

64. Chaichan, M.T. Productivity amelioration of solar water distillator linked with salt gradient pond / M.T. Chaichan, K.I. Abaas // Tikrit Journal of Engineering Sciences. – 2012. – vol. 19, № 4. – P. 24-34.

65. Chaichan, M.T. The effect of variable designs of the central receiver to improve the solar tower efficiency / M.T. Chaichan, K.I. Abaas, H.A. Kazem // International J of Engineering and Science. – 2012. – vol. 1, № 7. – P. 56-61.

66. Chaichan, M.T. Thermal storage comparison for variable basement kinds of a solar chimney prototype in Baghdad - Iraq weathers / M.T. Chaichan, H.A. Kazem // International journal of Applied Science (IJAS) . – 2011. – vol.2, № 2. – P. 12-20.

67. Chang, P. 2019. Review of Diesel Particulate Matter Control Methods in Underground Mines / P. Chang, X. Guang // Proceedings of the 11th International Mine Ventilation Congress. – 2019. – P. 461-470.

68. Cohen, H.J. Exposure of Miners' to Diesel Exhaust Particulates in Underground Non-Metal Mines / H.J. Cohen, J. Borak, T. Hall, G. Sirianni, S. Chemerynski // AIHA Journal. – 2002. – № 63. – P. 651-658.

69. Darwish, Z.A. Impact of some environmental variables with dust on solar photovoltaic (PV) performance: Review and research status / Z.A. Darwish, H.A. Kazem, K.K. Sopian, M.A. Alghoul, M.T. Chaichan // International J of Energy and Environment. – 2013. – vol. 7, № 4. – P. 152-159.

70. Davies, B. The control of diesel particulates in underground coal mines / B. Davies // PhD Thesis – Victoria University of Technology. – 2004.

71. Eremeeva, A. M. Studying the possibility of improving the properties of environmentally friendly diesel fuels / A.M. Eremeeva, N.K. Kondrasheva, K.S. Nelkenbaum // Scientific and Practical Studies of Raw Material Issues, 2019. – 2020. – P.108-114. – DOI: 10.1201/9781003017226-16.



72. Ereemeeva, A. M. Method to reduce harmful emissions when diesel locomotives operate in coal mines / A.M. Ereemeeva, N.K. Kondrasheva, G.I. Korshunov // *Topical Issues of Rational Use of Natural Resources* 2019. – 2020. – P.10-16.– DOI: 10.1201/9781003014577-2.

73. Galkin, A.F. Choosing Optimal Parameters of Mine Air Conditioning Systems / A.F. Galkin, I.V. Kurta // *Proceedings of China-Europe Conference on Geotechnical Engineering. Springer Series in Geomechanics and Geoengineering.* Springer, Cham. – 2018. – № 216849. – P. 1144-1148. – [https://doi.org/10.1007/978-3-319-97115-5\\_56](https://doi.org/10.1007/978-3-319-97115-5_56).

74. Haider, N. Loss of Chimassorb 944 from LDPE and identification of additive degradation products after exposure to water, air and compost / N. Haider, S. Karlsson // *Polym. Degrad. Stab.* – 2001. – № 74. – P. 103-112.

75. Haney, R.A. Ventilation requirements for modern diesel engines / R.A. Haney // in *Proceedings of 14th US/North American Mine Ventilation Symposium, Salt Lake City, Utah, USA, (eds: F. Calizaya and M.Nelson).* – 2012. – P. 249-256.

76. Harrod, K.S. Increased susceptibility to RSV infection by exposure to inhaled diesel engine emissions / K.S. Harrod, R.J. Jaramillo, C.L. Rosenberger et al. // *Am. J. Respir. Cell Molec. Biol.* – 2003. – № 28(4). – P. 451–463.

77. Heck, R.M. Catalytic air pollution control: commercial technology / R.M. Heck, R.J. Farrauto, S.T. Gulati // 3rd edn. Wiley-VCH, Hoboken, New Jersey. – 2006. – P. 518.

78. He, C. Comparison of carbonyl compounds emissions from diesel engine fueled with biodiesel and diesel / C. He, Y.S. Ge, J.W. Tan et al. // *Atmosph. Environ.* – 2009. – № 43(24). – P. 3657–3661.

79. International Agency for Research on Cancer (IARC), 2012. Diesel engine exhaust carcinogenic. – 2012. – № 213. – [http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2012/pdfs/pr213\\_E.pdf](http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2012/pdfs/pr213_E.pdf).

80. Kazem, H.A. Design and testing of solar water heaters with its calculation of energy / H.A. Kazem, H.S. Aljibori, F.N. Hasoon, M.T. Chaichan // *Int. J. of*

Mechanical Computational and Manufacturing Research. – 2012. – vol. 1, № 2. – P. 62–66.

81. Kagawa, J. Health effects of diesel exhaust emissions - a mixture of air pollutants of worldwide concern / J. Kagawa // *Toxicology*. – 2002. – № 181. – P. 349–353.

82. Kato, A. Morphological changes in rat lung after long-term exposure to diesel emissions / A. Kato, A. Nagai, J. Kagawa // *Inhal. Toxicol.* – 2000. – № 12(6). – P. 469–490.

83. Kawasaki, W. Long-chain aldehyde-forming activity in tobacco leaves / W. Kawasaki, K. Matsui, Y. Akakabe, N. Itai, T. Kajiwara // *Phytochemistry*. – 1998. – № 49(6). – P. 1565-1568.

84. Knothe, G. Exhaust emissions of biodiesel, petrodiesel, neat methyl esters, and alkanes in a new technology engine / G. Knothe, C.A. Sharp, T.W. Ryan // *Energy Fuels*. – 2006. – 20(1). – P.403–408.

85. Kondrasheva N.K. Biodiesel production methods / N.K. Kondrasheva, A.M. Eremeeva // *Analysis for renewable sources: fuel, energy, chemicals : Fourth International Conference (CRS-4) (September 4-8, 2017, Gabicce Mare, Italy) [Electronic resource] : Abstracts / Boreskov Institute of Catalysis SB RAS; ed.: Prof. Vadim Yakovlev – Novosibirsk : BIC. – 2017. – P. 73-74. – URL:<http://conf.nsc.ru/CRS4/en/invitation>.*

86. Kondrasheva, N.K. Development of environmentally friendly diesel fuel / N.K. Kondrasheva, A.M. Eremeeva, K.S. Nelkenbaum, O.A. Baulin, O.A. Dubovikov // *Petroleum Science and Technology*. – 2019. – № 37:12. – P.1478-1484. – DOI: 10.1080/10916466.2019.1594285.

87. Korshunov, G.I. Reduction of emissions impact on the environment and health of coal mine workers / G.I. Korshunov, A.M. Eremeeva, N.K. Kondrasheva // *Journal of Mining and Geological Sciences*. – 2019. – V. 62. – № 2. – P. 21-25.

88. Levin, L.Yu. Issledovanie dinamiki pylevozduшной smesi pri provetrivanii tupikovoy vyrabotki v protsesse raboty kombaynovykh kompleksov (Dynamics of air-dust mixture in ventilation of blind drifts operating a team of cutter-loaders) /

L.Yu. Levin, A.I. Isaevich, M.A. Semin, R.R. Gazizullin // *Gornyi Zhurnal = Mining Journal*. – 2015. – № 1. – P. 43-55.

89. Limit on Exposure to Diesel Particulate Matter // *Code of Federal Regulations Title 30*. – 2010. – Part 57, № 5060. – P. 370–372.

90. Li, Y. Fuel Efficiency and Exhaust Emissions for Biodiesel Blends in an Agricultural Tractor / Y. Li, N. McLaughlin // Presented at the Canadian Society for Engineering in Agricultural, Food, and Biological Systems, Winnipeg, Manitoba, Canada. – June 26–29, 2005. – P. 742-756.

91. Loizzo, M.R. Comparative chemical composition, antioxidant and hypoglycaemic activities of *Juniperus oxycedrus* ssp. *oxycedrus* L. berry and wood oils from Lebanon / M.R. Loizzo, R. Tundis, F. Conforti, A.M. Saab, G.A. Statti, F. Menichini // *Food Chem.* – 2007. – № 105. – P. 572-578.

92. Lox ESJ // In: Ertl G, Knözinger H, Schüth F, Weitkamp J (eds) *Handbook of heterogeneous catalysis*, 2nd edn. Wiley-VCH, Weinheim. – 2008. – P. 2274–2344.

93. Lutz, E.A Burgess Comparison of personal diesel and biodiesel exhaust exposures in an underground mine / E.A. Lutz, R.J. Reed, V.S.T. Lee, L. Jefferey // *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. – 2017. – № 14:7. – P. 102-109, DOI: 10.1080/15459624.2017.1285488.

94. McGinn, S. Controlling diesel emissions in underground mining within an evolving regulatory structure in Canada and the United States of America, paper presented to Queensland Mining Industry Health and Safety Conference 2007, Townsville, Queensland, Australia. – 7 August 2007. – [http://www.qrc.org.au/conference/\\_dbase\\_upl/mcginn\\_Controlling%20Diesel%20Emissions.pdf](http://www.qrc.org.au/conference/_dbase_upl/mcginn_Controlling%20Diesel%20Emissions.pdf) (accessed May 1, 2018).

95. Menter, F.R. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications / F.R. Menter // *AIAA Journal*. – 1994. – vol. 32(8). – P. 1598-1605.

96. Menter, F.R. Zonal two equation  $k-\omega$  turbulence models for aerodynamic flows / F.R. Menter // *AIAA Paper*. – 1993. – № 93-2906. – 21 p.

97. MSHA, n.d. Report on minimum ventilation requirement for mine diesel engines.

<https://lakegovprod3.msha.gov/ReportView.aspx?ReportCategory=EngineAppNumbers> (accessed May 1, 2018).

98. Okumura, T. Retention indices of environmental chemicals on methyl silicone capillary column / T. Okumura // *Journal of Environmental Chemistry (Japan)*. – 1991. – №1(2) . – P. 333-358.

99. Pope, C.A. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution / C.A. Pope, R.T. Burnett, M.J. Thun, et al. // *Jama-J. Am. Med. Assoc.* – 2002. – № 287(9). – P. 1132–1141.

100. Safe Work Australia // Workplace exposure standards for airborne contaminants. – 2013. – <http://www.safeworkaustralia.gov.au/sites/swa/about/publications/pages/workplace-exposure-standards> (accessed May 1, 2018).

101. Silverman, D.T. The diesel exhaust in miners study: a nested case-control study of lung cancer and diesel exhaust / D.T. Silverman, C.M. Samanic, J.H. Lubin, et al. // *J. Nat. Cancer Instit.* – 2012. – № 104 (11). – P. 855–868.

102. Sydbom, A. Health effects of diesel exhaust emissions / A. Sydbom, A. Blomberg, S. Parnia, N. Stenfors, T. Sandstrom, and S. E. Dahlen // *Eur. Respir. J.* – 2001. – № 17(4). – P. 102–109.

103. Taylor, E. Air quality management: Canadian perspectives on a global issue / E. Taylor, A. McMillan // Springer Science. – 2014. – P. 229.

104. Torano, J. Auxiliary ventilation in mining roadways driven with roadheaders: Validated CFD modelling of dust behavior / J. Torano, S. Torno, M. Menéndez, M. Gent // *Tunn. Undergr. Space Technol.* – 2011. – № 26. – P. 201–210. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tust.2010.07.005>

105. Turrio-Baldassarri, L. Emission comparison of urban bus engine fueled with diesel oil and ‘biodiesel’ blend / L. Turrio-Baldassarri, C.L. Battistelli, L. Conti, et al. // *Sci. Total Environ.* – 2004. – № 327(1–3). – P. 147–162.

106. Underground Ventilation Committee (UVC) discussion group. [http://www.smenet.org/membership/groups/committees/underground-ventilation-unit-committee-\(uvc\)](http://www.smenet.org/membership/groups/committees/underground-ventilation-unit-committee-(uvc)) (accessed May 1, 2018).

107. United States Environmental Protection Agency. Clean Air Act. <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/USCODE-2008-title42/pdf/USCODE-2008-title42-chap85.pdf> (accessed May 1, 2018).

108. U.S. Department of Labor: "Industries at a Glance: Mining (except Oil and Gas): NCAIS 212." – May 1, 2014. – Available at <http://www.bls.gov/iag/tgs/iag212.htm>.

109. U.S. Department of Labor: "Mining Safety and Health At a Glance." Available <http://www.msha.gov/MSHA-INFO/FactSheets/MSHAFCT10.asp> (accessed May 1, 2018).

110. Vakkilainen, A. Particle oxidation catalyst (POC) for diesel vehicles / A. Vakkilainen, R. Lylykangas // SAE Technical Paper. – 2004. – № 28. – P. 32-47. – doi:10.4271/2004-28-0047.

111. World Health Organization «IARC: Diesel Engine Exhaust Carcinogenic» Lyon, France: International Agency for Research on Cancer. – June 2012.

112. Wong, K.C. Volatile constituents of the flowers of *Clerodendron fragrans* / K.C. Wong, C.H. Tan // R. Br., Flavour Fragr. J. – 2005. – № 20. – P. 429-430.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Протокол испытаний дизельного топлива и ДТ с добавкой в подразделении АО  
«СУЭК-Кузбасс спецналадка»

ФГУП "ВГСЧ" филиал "Кемеровский ВГСО" Контрольно-испытательная лаборатория  
г.Ленинск-Кузнецкий, ул.Спасстанция, 11, тел/факс 8-384-56-7-53-89

Свидетельство о состоянии измерений в лаборатории № 998/16. Действительно до 26.08.2019 г.

**ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 1072 В-0 от 08.07.2019**

Заказчик: **МН и ВО РФ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Фактический адрес: **199106 Санкт-Петербург 21-ая линия, д 2**

Дата поступления проб: **08.07.2019** Время: **17:35**

Дата выполнения испытаний: **08.07.2019** Время: **19:30**

Цель испытаний: **измерение концентрации газов в пробах воздуха, объемные доли %**

Идентификация используемого метода: **ФР.1.31.2013.15152, ФР.1.31.2018.29591,**

Средства измерений:

Хроматографы: Кристалл-5000.2 : № 052672  №854041  №252149  №252135  №252151  №252140

Кристалл-2000М : № 739  , поверка действительна до 05.12.2019

Спектрофотометр: ПЭ-5300В : № 472  , поверка действительна до 05.12.2019

Газохром-2000 : №130507  , поверка действительна до 05.12.2020

Газохром-2000 : №330651  №330629  , поверка действительна до 05.12.2020

Условия проведения испытаний  $t = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P_{\text{атм}} = 97,8 \text{ кПа}$ ,  $W = 51 \text{ } \%$

Пробы отобрал: **доцент Серегин А.С.**

Отбор проб произведен **08-июл-2019 г.** в **16:25-16:41** род проб **срочный** маршрут:

№ п/п	Наименование выработки	Место отбора проб	CO2	O2	CO	H2	CH4	Оксиды азота	t о С	P, кПа	Примечание
1	Дизелевоз ZETOR 1404 19/01	ДТ на холостых оборотах	2,96	16,41	0,0329	0,0000	0,00	0,02248	43	98,2	
2	Дизелевоз ZETOR 1404 19/01	ДТ при 1520 об/мин	4,17	14,44	0,0275	0,0000	0,00	0,02254	56	98,2	
3	Дизелевоз ZETOR 1404 19/01	ДТ при макс нагр (2250 об/мин)	4,56	13,85	0,0107	0,0000	0,00	0,01445	80	98,2	
4	Дизелевоз ZETOR 1404 19/01	ЭЧДТ на холостых оборотах	1,41	18,57	0,0129	0,0000	0,00	0,02577	73	98,2	
5	Дизелевоз ZETOR 1404 19/01	ЭЧДТ при 1520 об/мин (1)	2,07	17,70	0,0258	0,0000	0,00	0,01869	78	98,2	
6	Дизелевоз ZETOR 1404 19/01	ЭЧДТ при максим оборотах (1)	2,31	17,21	0,0142	0,0000	0,00	0,00250	74	98,2	
7	Дизелевоз ZETOR 1404 19/01	ЭЧДТ при максим оборотах (2)	4,37	14,11	0,0087	0,0000	0,00	0,00025	88	98,2	

Ф.И.О., должность лица, ответственного за оформление данного протокола

техник Iк

ТД Прошина

Ф.И.О., должность лица, утверждающего данный протокол

Зам. начальника лаборатории

Е.В. Колесникова

Ф.И.О., должность лица, ознаменовавшего с данным протоколом

Командир взвода

Н.Н. Мальчук

Результат анализа распространяется на представленные образцы.

Частичная перепечатка протокола без разрешения ИЛ недопустима.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Акт испытания дизельного топлива с добавкой на дизель-гидравлическом локомотиве в подразделении АО «СУЭК-Кузбасс спецналадка»



**СУЭК**

АКЦИОНЕРНОЕ  
ОБЩЕСТВО  
«СУЭК-КУЗБАСС»

СПЕЦНАЛАДКА

**АКТ**

испытания дизельного топлива с добавкой  
на дизель-гидравлическом локомотиве

**Комиссия в составе:**

Зам. директора по ДГП ПЕ Спецналадка  
Начальник уч № 12 ПЕ Спецналадка  
Доцент каф. БП Горного университета  
Аспирант каф. БП Горного университета

Прокудин В.Н.  
Уфимцев П.А.  
Серёгин А.С.  
Еремеева А.М.

08.07.2019г. произвели испытания дизельного топлива и дизельного топлива с добавкой на дизель-гидравлическом локомотиве Ferrit 110F зав.№19010 для определения состава выхлопных газов дизелевоза в соответствии с 3 этапом хоздоговора № СУЭК-КУ-19/1734У «Разработка добавок к дизельному топливу с целью снижения СО в выхлопных газах дизелевозов».

**Выводы комиссии по результатам проведенных испытаний:**

- при испытании дизельного топлива с добавкой наблюдалось значительное снижение выбросов СО в выхлопных газах дизелевоза в сравнении с использованием обычного дизельного топлива (снижение концентрации с 0,0329% до 0,0129% при работе на холостом ходу, с 0,0107% до 0,0087% при работе на максимальной нагрузке);
- при испытании дизельного топлива с добавкой наблюдалось снижение оксидов азота в выхлопных газах дизелевоза при работе на средней и максимальной нагрузке в сравнении с использованием обычного дизельного топлива;
- комиссией рекомендуется использование добавки в количестве 5 % в смеси с дизельным топливом при работе дизель-гидравлических локомотивов.

**Подписи членов комиссии:**

Зам. директора по ДГП ПЕ Спецналадка  
Начальник уч № 12 ПЕ Спецналадка  
Доцент каф. БП Горного университета  
Аспирант каф. БП Горного университета

Прокудин В.Н.  
Уфимцев П.А.  
Серёгин А.С.  
Еремеева А.М.

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Протокол испытаний дизельного топлива и ДТ с добавкой в подразделении  
АО «СУЭК-Кузбасс» ПЕ ш. им. С.М. Кирова

ФГУП "ВГСЧ" филиал "Кемеровский ВГСО" Контрольно-испытательная лаборатория  
г. Ленинск-Кузнецкий, ул. Спасстанция, 11, тел/факс 8-384-56-7-53-89

Заключение о состоянии измерений в лаборатории № 144/19. Действительно до 23.08.2022 г.

**ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 2224 В-О от 21.11.2019**

Заказчик: **АО "СУЭК - Кузбасс" ПЕ ш. им. Кирова**

Фактический адрес: **652518, Кемеровская обл., г. Ленинск-Кузнецкий, ул. Кирсанова, 3**

Дата поступления проб: **21.11.2019** Время: **13:50**

Дата выполнения испытаний: **21.11.2019** Время: **19:00**

Цель испытаний: **измерение концентрации газов в пробах воздуха, объемные доли %**

Идентификация используемого метода: **ФР.1.31.2018.30111, ФР.1.31.2018.29591,**

Средства измерений:

Хроматографы: Кристалл-5000.2 : № 052672  №854041  №252149  №252135  №252151  №252140

Кристалл-2000М : № 739  , поверка действительна до 05.12.2019

Спектрофотометр: ПЭ-5300В : № 472  , поверка действительна до 05.12.2019

Газохром-2000 : №130507  , поверка действительна до 05.12.2020

Газохром-2000 : №330651  №330629  , поверка действительна до 05.12.2020

Условия проведения испытаний  $t = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P_{\text{атм}} = 99,7 \text{ кПа}$ ,  $W = 21 \text{ } \%$

Пробы отобрал: **г/м АБ**

**Коновалов ЕВ**

Отбор проб произведен **21-ноя-2019** г. в **10:30** род проб **срочный** маршрут :

№ п/п	Наименование выработки	Место отбора проб	CO2	O2	CO	H2	CH4	Оксиды азота	t о C	P, кПа	Примечание
1	Дизельвоз DLZ-110 F №12	ДТ, из выхлопной трубы	4,58	13,56	0,0636	0,0000	0,06	0,00446	34	103,0	
2	Дизельвоз DLZ-110 F №12	ДТ, у кабины машиниста	0,16	20,61	0,0012	0,0000	0,27	0,00001	16	103,0	
3	Дизельвоз DLZ-110 F №12	ДТ, на удалении 21 м от выхлопной трубы	0,11	20,60	0,0005	0,0000	0,27	0,00009	16	103,0	
4	Дизельвоз DLZ-110 F №12	с ЭЧДТ, из выхлопной трубы	3,52	14,89	0,0714	0,0000	0,08	0,00626	36	103,0	
5	Дизельвоз DLZ-110 F №12	с ЭЧДТ, у кабины машиниста	0,17	20,56	0,0017	0,0000	0,26	0,00004	16	103,0	
6	Дизельвоз DLZ-110 F №12	с ЭЧДТ, на удалении 21 м от выхлопной трубы	0,09	20,63	0,0003	0,0000	0,27	0,00002	16	103,0	

Ф.И.О., должность лица, ответственного за оформление данного протокола **Инженер лаборатории II кат**

Ф.И.О., должность лица, утверждающего данный протокол **Инженер лаборатории II кат**

Ф.И.О., должность лица, ознакомленного с данным протоколом **Инженер лаборатории II кат**

*Н.Ю. Бондаренко*

*И.И. Лопатина*

*Н.Н. Мальчук*

Результат анализа распространяется на продукцию, изготовленную в соответствии с требованиями КСМ неопустима.  
Частичная перепечатка протокола без разрешения КСМ неопустима.





## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Протокол испытаний дизельного топлива и ДТ с добавкой в подразделении  
АО «СУЭК-Кузбасс» ПЕ ш. им. С.М. Кирова



## АКТ

испытания дизельного топлива с добавкой  
на дизель-гидравлическом локомотиве

**Комиссия в составе:**

Начальник участка МНУ-19  
Горный мастер участка АБ  
Доцент каф. БП Санкт-Петербургского горного университета

Кравцов Е.А.  
Коновалов Е.В.  
Серёгин А.С.

21.11.2019 г. в АО «СУЭК-Кузбасс» ПЕ «ш. им. С.М. Кирова» произведены испытания дизельного топлива (далее – ДТ) и дизельного топлива с добавкой на дизель-гидравлическом локомотиве DLZ-110F №12 с целью определения состава выхлопных газов дизелевоза в соответствии с 3 этапом хоздоговора № СУЭК-КУ-19/1734У «Разработка добавок к дизельному топливу с целью снижения СО в выхлопных газах дизелевозов».

**Выводы комиссии по результатам проведенных испытаний:**

- при испытании дизельного топлива с добавкой в пробе воздуха отобранной из выхлопной трубы дизелевоза, наблюдалось увеличение концентрации по сравнению с использованием обычного дизельного топлива СО с 0,0636 до 0,0714 % по объему. В этих пробах концентрация СО<sub>2</sub> снизилась с 4,58% до 3,52 %;
- при измерениях непосредственно из выхлопной трубы дизелевоза и у кабины машиниста дизелевоза снижения выбросов СО и СО<sub>2</sub> не зафиксировано. Это связано с тем, что состав добавки разрабатывался применительно к летней марке ДТ. Зимняя марка ДТ по сравнению с летней маркой имеет отличающийся состав, содержит большее количество ароматических и нафтеновых углеводородов, обуславливающих иную плотность и вязкость топлива, и влияющих на процесс смешивания добавки и топлива. Возможно несовместное сгорание топлива и присадки, и как следствие не обеспечивается необходимая полнота сгорания топлива (не происходит полного окисления оксидов углерода до оксидов углерода (II));
- на основании положительных испытаний биодобавки в составе летней марки ДТ, проведенных на ПЕ «Спецналадка» 08.07.2019, комиссией рекомендуется использование добавки в количестве 5 % в смеси с летней маркой дизельного топлива при работе дизель-гидравлических локомотивов;
- комиссией рекомендуется проведение дальнейших исследований по разработке состава добавки к зимней марке дизельного топлива.

**Подписи членов комиссии:**

Начальник участка МНУ-19  
Горный мастер участка АБ  
Доцент каф. БП Санкт-Петербургского горного университета

 Кравцов Е.А.  
Коновалов Е.В.  
Серёгин А.С.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Протокол испытаний дизельного топлива и ДТ с добавкой в подразделении  
АО «СУЭК-Кузбасс» ш/у Комсомолец ПЕ «ш. Комсомолец»

ФГУП "ВГСЧ" филиал "Кемеровский ВГСО" Контрольно-испытательная лаборатория  
г. Ленинск-Кузнецкий, ул. Спасстанция, 11, тел/факс 8-384-56-7-53-89

Заключение о состоянии измерений в лаборатории № 144/19. Действительно до 23.08.2022 г.

**ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 2239 В-О от 22.11.2019**

Заказчик: **АО "СУЭК - Кузбасс" ш/у Комсомолец ПЕ "ш.Комсомолец"**

Фактический адрес: **652519, Кемеровская обл., г. Ленинск-Кузнецкий, ул. Рубинштейна, 1**

Дата поступления проб: **22.11.2019** Время: **17:00**

Дата выполнения испытаний: **22.11.2019** Время: **18:50**

Цель испытаний: **измерение концентрации газов в пробах воздуха, объемные доли %**

Идентификация используемого метода: **ФР.1.31.2018.30111, ФР.1.31.2018.29591,**

Средства измерений:

Хроматографы: Кристалл-5000.2 : № 052672  №854041  , №252149  , №252135  , №252151  , №252140  ,

Кристалл-2000М : № 739  , проверка действительна до 05.12.2019

Спектрофотометр: ПЭ-5300В : № 472  , проверка действительна до 05.12.2019

Газохром-2000 : №130507  , проверка действительна до 05.12.2020

Газохром-2000 : №330651  , №330629  , проверка действительна до 05.12.2020

Условия проведения испытаний  $t = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P_{\text{атм}} = 99,5 \text{ кПа}$ ,  $W = 33 \text{ } \%$

Пробы отобрал: **г/м ВТБ**

**Губерт ЭВ**

Отбор проб произведен **22-ноя-2019 г.** в **13:30** род проб **срочный** маршрут :

№ п/п	Наименование выработки	Место отбора проб	CO2	O2	CO	H2	CH4	Оксиды азота	t о С	P, кПа	Примечание
1	Дизелевоз DLZ 110F №19009	ДТ, макс обороты (из выхлопной трубы)	3,07	15,98	0,0244	0,0000	0,01				
2	Дизелевоз DLZ 110F №19009	ДТ, у кабины машиниста	0,06	20,74	0,0001	0,0000	0,02	0,00002	18	107,4	
3	Дизелевоз DLZ 110F №19009	ДТ, 21 м от выхлопной трубы	0,06	20,74	0,0001	0,0000	0,02	0,00001	16	107,4	
4	Дизелевоз DLZ 110F №19009	ЭЧДТ, макс обороты (из выхлопной трубы)	3,79	15,47	0,0274	0,0000	0,01	0,01889	58	107,4	
5	Дизелевоз DLZ 110F №19009	ЭЧДТ, у кабины машиниста	0,06	20,77	0,0001	0,0000	0,02	0,00001	16	107,4	
6	Дизелевоз DLZ 110F №19009	ЭЧДТ, 21 м от выхлопной трубы	0,06	20,72	0,0001	0,0000	0,02				

Ф.И.О., должность лица, ответственного за оформление данного протокола

инженер

ТС Смирнова

Ф.И.О., должность лица, утверждающего данный протокол

Инженер лаборатория I кв

И.И. Лопатина

Ф.И.О., должность лица, ознакомленного с данным протоколом

Командир опер взвода

Н.Н.Мальчук

Результат анализа распространяется на представленный образец.  
Частичная перепечатка протокола без разрешения КПД невозможна.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Акт испытаний дизельного топлива и ДТ с добавкой в подразделении АО «СУЭК-Кузбасс» ш/у Комсомолец ПЕ «ш. Комсомолец»



УТВЕРЖДАЮ:  
 Главный инженер  
 АО «СУЭК-Кузбасс»  
 ШУ Комсомолец  
 А.Б. Овчинников  
 «24» 11 2019 г.

## АКТ

испытания дизельного топлива с добавкой  
 на дизель-гидравлическом локомотиве

**Комиссия в составе:**

Начальник участка №18  
 Заместитель начальника АБ  
 Доцент каф. БП Санкт-Петербургского горного университета

Глушков Ю.С.  
 Губерт Э.В.  
 Серёгин А.С.

22.11.2019 г. в АО «СУЭК-Кузбасс» ШУ «Комсомолец» ПЕ «ш. Комсомолец» проведены испытания дизельного топлива (далее – ДТ) и дизельного топлива с добавкой на дизель-гидравлическом локомотиве DLZ-110F №19009 с целью определения состава выхлопных газов дизелевоза в соответствии с 3 этапом хоздоговора № СУЭК-КУ-19/1734У «Разработка добавок к дизельному топливу с целью снижения СО в выхлопных газах дизелевозов».

**Выводы комиссии по результатам проведенных испытаний:**

– при испытании дизельного топлива без добавки и с биодобавкой анализ проб воздуха, отобранных из выхлопной трубы дизелевоза концентрации вредных выбросов показал (концентрация СО до составила 0,0244 % после 0,0274% по объему, СО<sub>2</sub> до – 3,07 %, после 3,79%). В пробах отобранных у кабины машиниста и в 21м от выхлопной трубы изменений концентраций по отношению к пробам топлива с присадкой не зафиксировано.

**Подписи членов комиссии:**

Начальник участка №18  
 Заместитель начальника АБ  
 Доцент каф. БП Санкт-Петербургского горного университета

Глушков Ю.С.  
 Губерт Э.В.  
 Серёгин А.С.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Акт испытания дизельного топлива с добавкой на стендовом дизельном двигателе  
в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»



**АКТ**  
испытания дизельного топлива с добавкой  
на стендовом дизельном двигателе

**Комиссия в составе:**

Зав. каф. АТТС СПбГАУ  
Доцент каф. АТТС СПбГАУ  
Аспирант каф. БП Горного университета

Картошкин А.П.  
Агапов Д.С.  
Еремеева А.М.

В период с 15.04.2019 по 15.05.2019 произвели испытания дизельного топлива и дизельного топлива с добавкой на стендовом дизельном двигателе для определения дымности и состава отработанных газов при сжигании топлива.

**Выводы комиссии по результатам проведенных испытаний:**

- при использовании экологически чистого дизельного топлива (топливо с биодобавкой) по сравнению с гидроочищенным дизельным топливом концентрация оксидов углерода в отработанных газах снижается на 16-70 % при максимальной нагрузке и на 30-50 % при частичной нагрузке (75 %) в зависимости от числа оборотов, а концентрация углеводородов в отработанных газах снижается на 6-26 % при максимальной нагрузке и на 25-43 % при частичной нагрузке (75 %);
- при использовании экологически чистого дизельного топлива вместо гидроочищенного дизельного топлива дымность отработанных газов снижается до 71 %;
- комиссией рекомендуется использование добавки в количестве 5 % в смеси с дизельным топливом при работе техники с дизельными двигателями.

**Подписи членов комиссии:**

Заведующий кафедрой «Автомобили, тракторы  
и технический сервис» СПбГАУ  
Доцент кафедры «Автомобили, тракторы  
и технический сервис» СПбГАУ  
Аспирант каф. БП Горного университета

 - Картошкин А.П.  
 - Агапов Д.С.  
 - Еремеева А.М.

**КАФЕДРА**  
«Автомобили, тракторы  
и технический сервис»

## ПРИЛОЖЕНИЕ И

## Акт об использовании материалов диссертации



РОССИЯ, 652507, КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛ.,  
г. ЛЕНИНСК-КУЗНЕЦКИЙ  
УЛ. ВАСИЛЬЕВА, 1  
ТЕЛ. (38456) 9-33-11  
ФАКС (38456) 3-32-19, 3-15-18  
E-MAIL: [suek-kuzbass@suek.ru](mailto:suek-kuzbass@suek.ru)

№ \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2020 г.

## Акт

об использовании материалов диссертации «Обоснование мероприятий по защите подземного персонала угольных шахт от воздействия вредных выбросов дизель-гидравлических локомотивов»  
аспиранта **Еремеевой Анжелики Михайловны**

Производственные эксперименты по испытанию добавок к дизельному топливу для применения в дизель-гидравлических локомотивах (ДГЛ), проведенные в июле и ноябре 2020 года в ПЕ ш. им. Кирова, ш/у Комсомолец ПЕ «ш.Комсомолец», производственной единицы «Спецналадка» АО «СУЭК-Кузбасс» показали, что использование добавки на основе сложных эфиров в количестве 5% масс в составе топлива позволяет снизить выбросы СО при его сжигании в сравнении с использованием обычного дизельного топлива на 19-60%, а также снизить концентрацию оксидов азота – на 17-98%. Полученные результаты подтверждены протоколами испытаний ФГУП «ВГСЧ» филиал «Кемеровский ВГСО» Контрольно-испытательная лаборатория № 1072 В-О от 08.07.2019, № 2224 В-О от 21.11.2019, № 2239 В-О от 22.11.2019, и актами испытаний АО «СУЭК-Кузбасс» от 08.07.2019, 21.11.2019, 22.11.2019).

При подготовке мероприятий по снижению концентрации вредных выбросов в воздухе рабочей зоны машиниста ДГЛ используются результаты, содержащиеся в диссертации аспиранта Санкт-Петербургского горного университета А.М. Еремеевой на тему «Обоснование мероприятий по защите подземного персонала угольных шахт от воздействия вредных выбросов дизель-гидравлических локомотивов»

Заместитель генерального директора  
по производственным операциям  
АО «СУЭК-Кузбасс», к.т.н.



М.П.

В.Н. Шмат

20.11.2020