

Федеральное Государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования Национальный исследовательский технологический
университет МИСИС (НИТУ МИСИС)

На правах рукописи

Сенаторов Владимир Александрович

**Определение расхода воздуха для проветривания
высокопроизводительных подземных рудников на основе оперативной
оценки фактической газовой ДВС**

Специальность 2.10.3 – «Безопасность труда»

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор Каледина Нина Олеговна

Москва, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	12
1.1. Современное состояние исследований в области проветривания вентиляции шахт и рудников.....	12
1.2. Анализ методов расчета требуемого количества воздуха по вредным газам от оборудования с ДВС.....	22
1.2.1 Обзор применяемых методик расчета воздуха для разбавления выхлопных газов дизельного оборудования.....	22
1.2.2 Методика динамического расчета требуемого количества воздуха по фактору «выхлопные газы дизельного оборудования»	33
1.2.3 Требования к методам расчета проветривания рудников с учетом работы машин с ДВС	36
1.3 Учет режима движения машин с ДВС в горных выработках при расчетах количества воздуха для проходческих забоев	37
1.4 Анализ действующих удельных норм расхода воздуха на единицу мощности машин с ДВС.....	42
1.5 Задачи исследования.....	47
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕНОСА ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ РУДНИКОВ.....	49
2.1 Обоснование методики исследований.....	49
2.2 Теоретическое описание процессов переноса выхлопных газов.....	50

2.2.1. Уравнение количества движения.....	50
2.2.2. Уравнение неразрывности.....	54
2.2.3. Уравнение сохранения энергии.....	55
2.3 Обоснование математической модели.....	57
Выводы.....	64
ГЛАВА 3. НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕНОСА ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ОТ МАШИН С ДВС.....	66
3.1 Анализ используемых методик определения фактической газовойсоти....	66
3.2 Выбор объектов для проведения экспериментов.....	73
3.3 Методика проведения натурных экспериментов по определению фактической газовойсоти.....	74
3.4 Анализ результатов полевых исследований переноса выхлопных газов в горных выработках	78
Выводы.....	87
ГЛАВА 4. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА Выхлопных газов в горных выработках при работе в них машин с ДВС	89
4.1. Расчетное обоснование математической модели	89
4.2. Динамическое моделирование распределения выхлопных газов по горным выработкам с оценкой их диффузии.....	91
4.3 Анализ результатов моделирования аэрогазодинамических процессов в горных выработках при работе оборудования с ДВС.....	100

Выводы.....	102
ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА РАСХОДА ВОЗДУХА ДЛЯ РУДНИКОВ ПО ФАКТИЧЕСКОЙ ГАЗОВОСТИ.....	103
5.1 Методика расчета количества воздуха, необходимого для разбавления вредных газов, образующихся при работе машин с ДВС.....	103
5.2 Рекомендуемый порядок определения фактической газовойности.....	107
5.3 Результаты внедрения разработанной методики.....	110
5.4 Диагностика ДВС по определяемым параметрам	112
Выводы	117
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	119
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	123
Приложение П1. Методика проведения натурных экспериментов по определению фактического газовыделения от машин с ДВС	137
Приложение П2. Результаты проведения натурных экспериментов по определению фактического газовыделения от машин с ДВС	148
Приложение П3. Результаты моделирования процессов переноса выхлопных газов в горных выработках при работе в них машин с ДВС.....	186
Приложение П4 Справка о внедрении (подтверждение утверждения методики).....	221
Приложение П5 Чек-лист результатов экспресс –диагностики подземной машины (установки).....	222

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Развитие и рост производительности труда в горнорудной промышленности России обусловлены, в том числе, применением мощной мобильной техники. При этом использование машин с двигателем внутреннего сгорания (далее ДВС) является приоритетным направлением.

Современные высокопроизводительные рудники отличаются более сложными геологическими и гидрогеологическими условиями разработки рудных месторождений, ведением работ на более глубоких горизонтах, а также использованием высокопроизводительного мощного дизельного самоходного и добычного оборудования, что сказалось увеличением нагрузки на вентиляционную сеть. Существующие вентиляционные сети рудников зачастую не могут обеспечить необходимые расчетные значения требуемого количества воздуха по действующим нормативам, морально устаревшим еще в прошлом веке. При этом скорость движения воздуха по горным выработкам приближается к максимально допустимой.

В сложных условиях рудников задача обеспечения рабочих зон требуемым количеством воздуха и рационального распределения его в вентиляционной сети должна базироваться на новых методах расчетов необходимого количества воздуха, адекватно учитывающих современные условия поступления и разбавления вредных веществ, выделяющихся в рудничную атмосферу.

Интенсивность проветривания рудника, наличие основных типов нахождения газовой составляющей влияют на безопасную и эффективную отработку месторождения. Для успешного функционирования шахтных вентиляционных систем необходима бесперебойная работа вентиляторов, оптимальный режим проветривания, обеспечивающий аэрологическую безопасность рудника. Согласно данным Ростехнадзора, материалам технического расследования причин аварий за последние годы основными причинами аварий являются нарушение технологии ведения работ (50%

случаев от общего числа аварий) неудовлетворительная организация производства работ (25% случаев) и низкий уровень производственного контроля (25% случаев).

Токсикология продуктов газовыделений от машин с ДВС по характеру воздействия на работников сопоставима с отравлениями продуктами горения и в общей статистике пострадавших горняков составляет почти половину от всех случаев гибели людей. Источниками токсичных газов могут являться продукты горения шахтных материалов, а также сажа и дым обычных технологических режимов работы шахты.

Нормативно-методическая база проектирования вентиляции высокопроизводительных рудников и угольных шахт на сегодняшний день отсутствует. Действующие методики не отвечают условиям современных горных предприятий, поэтому многие предприятия вынуждены заказывать научное сопровождение вентиляционных расчетов, что каждый раз требует проведения локальных исследований и согласования результатов с органами надзора. Это обстоятельство снижает качество проектов, замедляет процесс текущего планирования развития горных работ и ухудшает состояние проветривания рудничной (шахтной) вентиляционной сети. В связи с вышесказанным, исследования, посвященные разработке методов расчета воздуха, отвечающих сегодняшним условиям эксплуатации дизельного оборудования на высокопроизводительных рудниках, являются актуальными.

Цель работы: разработать научное обоснование нового методического подхода к расчёту расхода воздуха, требуемого для проветривания горных выработок при работе в них горного оборудования с ДВС большой мощности.

Идея работы заключается в определении требуемого расхода воздуха с учетом изменения состояния атмосферы в горных выработках при движении в них машин с ДВС на основе оперативной оценки фактического объема и состава выхлопных газов (далее - фактической газовойности двигателей).

Объект исследования: высокопроизводительные глубокие рудники, использующие оборудование с ДВС

Предмет исследования: изменения параметров состояния воздуха рабочей зоны в горных выработках при работе в них дизельного оборудования.

Основные задачи исследования:

1. Анализ методов расчета расхода воздуха для горных выработок, в которых используется оборудование с ДВС.
2. Анализ методов и способов определения фактического объема выхлопных газов (фактической газовой) ДВС.
3. Установление **факторов, влияющих на распространение** выхлопных газов (динамика объема и концентраций газов) в процессе эксплуатации автомобилей с ДВС в высокопроизводительных подземных рудниках.
4. Анализ теоретических описаний процесса диффузии выхлопных газов в подземных горных выработках для установления основных параметров, определяющих закономерности их переноса.
5. Разработка математических моделей для исследования закономерностей переноса выхлопных газов в горных выработках при движении автомобилей с ДВС.
6. Разработка методики оперативной оценки фактической газовой оборудования с ДВС в условиях его эксплуатации.
7. Разработка методического подхода к расчету требуемого расхода воздуха для проветривания рудников, в которых эксплуатируются ДВС, и рекомендаций по его реализации.

Основные защищаемые положения:

1. Объемы выделения выхлопных газов зависят от типа машины, ее технического состояния и условий эксплуатации, поэтому норма удельного расхода воздуха на единицу мощности не может быть единой для всей горнорудной промышленности, а должна устанавливаться дифференцированно для каждого действующего рудника с учетом состояния техники.

2. Основными факторами, определяющими газовость двигателей, при эксплуатации мобильного оборудования в условиях высокопроизводительного подземного рудника являются: техническое состояние используемой техники в части систем впрыска топлива и отходящих газов (по результатам экспресс-анализов основных показателей на выхлопе), качество используемого топлива, наличие присадок к топливу (мочевина) и специальных добавок в системе движения вредных газов до катализатора.

3. Определение необходимого расхода воздуха следует производить с учетом установленных закономерностей переноса выхлопных газов в вентиляционной сети рудника в зависимости от факторов, отражающих характеристики имеющихся источников выделения выхлопных газов и условий их эксплуатации: коэффициентов диффузии выхлопных газов в горных выработках, фактической газовости ДВС, а также топологии (структуры) ШВС и парка используемого оборудования.

4. Оценку фактической газовости автомобильного парка следует осуществлять в условиях его эксплуатации с учетом установленного влияния определяющих факторов на основе предложенной методики.

Научная новизна:

1. Установлен комплекс индикаторных показателей, определяющих динамику объемов выделения и концентраций выхлопных газов дизельного оборудования в вентиляционной сети высокопроизводительного подземного рудника, учитывающий режим движения машин и условия их эксплуатации, использование которого позволяет оперативно оценить фактическую газовость дизельного оборудования для расчета расхода воздуха и обеспечить санитарно-гигиенические требования к составу воздуха рабочей зоны по фактору «выхлопные газы».

2. Обоснован новый методический подход к проектированию вентиляции высокопроизводительного рудника, использующего оборудование с ДВС, включающий алгоритм расчета необходимого расхода

воздуха с использованием оперативной оценки фактической газовой машин, позволяющий и снизить риски загазований атмосферы при оптимизации энергозатрат на проветривание.

3. Разработано научное обоснование алгоритма определения фактической газовой парка автомобилей с ДВС для подземного рудника в условиях его эксплуатации.

4. Разработано научное обоснование методики экспресс-оценки параметров загрязнения рудничной атмосферы выхлопными газами ДВС: состава и температуры выхлопных газов, избытка воздуха и дымности двигателя, а также сажевого числа.

Методы исследований:

При выполнении данной работы был использован комплекс методов, включающий: анализ и обобщение публикаций по теме работы; аналитические исследования; компьютерное (трехмерное) моделирование в программном комплексе Ansys (CFD и Fluent); шахтные эксперименты и натурные измерения; методы математической статистики для обработки результатов наблюдений и данных дистанционного контроля многофункциональных систем обеспечения безопасности.

Достоверность научных положений подтверждается: значительным объемом шахтных экспериментальных исследований, выполненных с применением сертифицированной измерительной аппаратуры (в 2021- 2025 гг. обследовано более 100 типов различной самоходной техники на подземном руднике ООО «Яковлевский ГОК», отдельные исследования выполнены на АО «Урупский ГОК» и АО «Комбинат КМАруда»); большим объемом компьютерного моделирования процессов диффузии выхлопных газов в горных выработках (реализовано в программном комплексе Ansys CFD в объеме 20 сценариев); повторяемостью установленных закономерностей в исследованных условиях; успешным внедрением результатов исследований в нормативную базу и их практической апробацией.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

разработана методика расчета количества воздуха для проветривания выработок с работающими машинами ДВС; разработаны формы чек-листов по экспресс-диагностике и определению неисправной техники; определен порядок плановой диагностики состояния парка машин рудника по фактической газовости; внедрение разработанной методики обеспечило повышение эффективности вентиляции рудника за счет обеспечения рабочих зон необходимым расходом воздуха при его рациональном распределении без увеличения производительности вентиляторов.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы обсуждались на научных семинарах кафедры безопасности и экологии горного производства НИТУ «МИСиС», совещаниях и научно-практических конференциях: Всероссийское совещание руководителей служб воздушно-депресссионных съемок ФГУП «ВГСЧ» МЧС России совместно с ведущими специалистами НИИ и ВУЗов. г. Новокузнецк (2023); VIII научно-практическая конференция Промышленно-металлургического холдинга, секция «Охрана труда, промышленная безопасность, экология и менеджмент, управление». Москва, Кемерово, Губкин (2023); Конференция "Промышленная безопасность и охрана труда", СПГУ, С-Петербург (2023); Научно-практическая конференция «Перспективы развития геологии, горного и нефтегазового дела», Москва, Инженерная академия РУДН (2023); XXI всероссийская научно-практическая конференция «Современные проблемы горнометаллургического комплекса. Наука и производство». Секция 2. Горное дело. СТИ НИТУ МИСИС Старый Оскол (2024); Международный научный симпозиум «Неделя горняка» МИСИС, Москва (2023, 2024, 2025).

Реализация результатов работы. «Методика расчета воздуха для проветривания рудника подземного» внедрена Яковлевским ГОК в Регламент технологических производственных процессов «Проветривание горных выработок», утвержденный приказом ОРД-П-/0302-23-000468 от 29.06.2023 г.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования; обобщении и анализе данных; обосновании направлений и методов решения поставленных задач; проведение натурных измерений, а также численного компьютерного моделирования; апробации методики на горном предприятии при проведении воздушно-депресссионной съемки; определении фактической газовости рабочего парка техники и новых поступлений оборудования рудников; анализе состояния вентиляционной сети после внедрения разработанной методики и осуществлении авторского надзора; подготовке публикаций.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ, в том числе 3 - в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России по специальности, из них 2 статьи опубликованы в журналах, зарегистрированных в базе данных Scopus.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и библиографического списка. Работа изложена на 224 страницах машинописного текста, содержит 26 таблиц и 97 рисунков. Библиография включает 124 наименования.

ГЛАВА 1. ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Современное состояние исследований в области проветривания шахт и рудников.

Производительность современных рудников растет, несмотря на ухудшение условий ведения горных работ, которые отличаются более сложными геологическими и гидрогеологическими условиями залегания рудных месторождений, ведением работ на более глубоких горизонтах, а также использованием высокопроизводительного мощного дизельного самоходного и добычного оборудования. Последний фактор резко повышает нагрузку на вентиляционные системы рудников, поскольку существующие вентиляционные сети зачастую не могут обеспечить необходимую подачу воздуха согласно действующим нормативам – 5 м³/мин на 1 л. с. мощности двигателя. Эти нормы морально устарели еще в прошлом веке, т. к. современное оборудование оснащается мощными системами очистки выхлопных газов, а также к качеству используемого топлива предъявляются значительно более высокие требования.

В связи с указанными обстоятельствами было много попыток научно разрешить эту проблему, обосновать возможность снижения нормы расхода воздуха на единицу мощности двигателя, - как у нас в стране, так и за рубежом.

Значительный вклад в исследования процессов газовой динамики как основы для проектирования вентиляции шахт и рудников внесли выдающиеся ученые: академик А. А. Скочинский, член. корр. РАН Левин Л. Ю., член. корр. РАН Пучков Л. А., Ушаков К. З., Ксенофонтова А.И., Воронин Н.В., Гендлер С. Г., Зайцев А.В., Каледина Н.О., Качурин Н.М., Клебанов Ф.С., Козырев С.А., Колесниченко Е.А., Кобылкин С.С., Красноштейн А.Е., Матвиенко Н. Г., Медведев И.И., Мохирев Н.Н., Мясников А.А., Палеев Д.Ю., Патрушев М.И., Семин М.А., Сергеев И.В., Скопинцева О.В., Устинов Н.И., Файнбург Г.З. и многие другие, а также зарубежные исследователи К. Noack, Н. Janas

(Германия), S.P. Banerjee, G.S. Marwaha (Индия), D. Cwiklinski, J-P. Josian (Франция) и другие авторы.

Проектирование вентиляции подземных горных предприятий представляет собой сложную задачу, к решению которой необходимо подходить с системных позиций. При определении необходимого количества воздуха для проветривания горного предприятия необходимо провести большую подготовительную работу по изучению горно-геологических условий эксплуатации месторождения, технологических циклов и параметров производственных процессов, определить максимальные значения возможных загрязнителей за показательный период деятельности предприятия и др. [85, 61].

Для типовых объектов горнорудной промышленности основным расчетным критерием максимального потребления количества воздуха в тупиковых выработках считается работа машин с ДВС, взрывные работы, неблагоприятные микроклиматические условия (тепловой фактор) [85].

Основные факторы, влияющие на состав выхлопных газов и дымность двигателя подземной машины связаны с системой питания, техническим состоянием поршневой и цилиндровой группы, наличие специальных добавок к топливу и в выхлопную систему и соответствующих присадок [87, 14].

В шахтах допускается эксплуатация дизельных двигателей, в неразбавленных выхлопных газах которых на любом допускаемом режиме после газоочистки концентрация оксида углерода не превышает 0,08 % (800 ppm) и оксидов азота в пересчете на NO_2 - 0,07 % (700 ppm) по объему. В выхлопных газах новых дизельных двигателей содержание оксида углерода не должно превышать 0,05 %, оксидов азота в пересчете на диоксид NO_2 не должно превышать 0,07 % (по объему) и альдегидов - 0,001 % (по объему) [28, 33, 16].

Как правило, большинство газов, которые присутствуют в воздухе рабочей зоны подземного объекта, относятся к веществам остронаправленного и раздражающего действия [86]. Условия труда при основных

технологических процессах в подземных условиях характеризуются наличием вредных производственных факторов, показатели интенсивности которых превышают гигиенические нормативы [81, 93] и оказывают неблагоприятное воздействие на организм работающего при этом создают угрозу для жизни и высокий риск развития острых профессиональных заболеваний с временной или стойкой утратой трудоспособности [86].

Следует отметить, что анализ загазованности, запыленности и других метеорологических показателей воздуха рабочей зоны должен производиться постоянно и сопоставляться с показателями заболеваемости работников [86].

Механизм газообмена человека регулируется центральной нервной системой, приспособляющей весь процесс дыхания к условиям окружающей среды. Воздействие вредных веществ и предельных микроклиматических параметров на работников приводит к вероятности наступления несчастного случая и профессиональных заболеваний.

При работе подземных машин рудничный воздух содержит вещества, которые по-разному действуют на организм работника, их можно разделить на несколько групп [87].

Первая группа – это вещества раздражающего действия на слизистые оболочки и кожные покровы. Они вызывают кашель, слезотечение, зуд, жжение. Это следующие вещества акролеин, формальдегид, сернистый газ и многие пары органических соединений [86].

Вторая группа веществ раздражает органы дыхания – это аммиак, серный и сернистый ангидрид (раздражают верхние дыхательные пути), окислы азота (проникают в альвеолы и приводят к отеку легких и пневмонии), углекислый газ при высокой концентрации.

Третья группа токсических веществ воздействует на кровь человека – монооксид углерода (преобразует гемоглобин в карбоксигемоглобин и приводит к кислородному голоданию).

Четвертая группа веществ (яды) действует на нервную систему (бензол, сероводород и др.).

Пятая группа веществ действует на дыхательные ферменты как катализаторы (сероводород, синильная кислота) и лишает ткани способности поглощать кислород, доставляемый кровью.

Современные методы и технологии проведения мониторинга выхлопных газов, качественный анализ и оценка фактических объемов выбросов как на холостом ходу, так и в движении машины, - позволяют максимально эффективно настроить топливные системы подземного транспорта на экологическую безопасность и существенно снизить воздействие токсичных веществ на организм работника [87, 16, 17].

Значительное увеличение количества самоходной техники в подземных условиях, ее разнообразие и изменение технического состояния в процессе эксплуатации приводят к увеличению концентрации загрязняющих веществ в атмосфере горных предприятий. Прямым последствием воздействия вредных веществ, возникающих при процессах сгорания дизельного топлива, является образование смеси дыма и вредных ядовитых веществ в горных выработках. Для того чтобы снизить влияние машин с дизельными двигателями (далее ДВС) на газовый состав воздуха рабочей зоны и микроклиматические условия в горных выработках, необходимо уделить особое внимание вопросу сокращения вредных выбросов, их своевременному и обоснованному контролю [86, 16].

Наиболее эффективным способом сокращения количества загрязняющих веществ в выхлопных газах является оптимальная настройка двигателей внутреннего сгорания и запрет использования неисправной самоходной техники. Особо важным фактором является качественное проветривание горных выработок с целью обеспечения соблюдения безопасных условий для работающих, соответствующих нормативным требованиям [86].

Тяжесть последствий для работников подземного комплекса зависит от интенсивности и продолжительности действия вредных факторов и наличия

объективного и обоснованного расчетного количества воздуха для соответствующих горных выработок [86, 61].

В связи с этим оценка эффективности системы вентиляции определяется по степени обеспеченности шахтной вентиляционной сети (далее ШВС) расчетным количеством воздуха и соответствием состоянию рудничной атмосферы установленным нормам по составу воздуха и показателям производственного микроклимата, успешной реализацией задач предусмотренных Планом мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий (далее ПМЛЛПА) [85].

Исходя из анализа современных методик расчета количества воздуха, необходимого для проветривания горнорудных предприятий, выделим основные требования, предъявляемые к методам расчета требуемого количества воздуха по различным факторам, - в том числе вредные газы от дизельного оборудования, - которые учитываем при проектировании [84, 1].:

- учет топологических и технологических факторов;
- учет динамики работы дизельного двигателя, обусловленный характером работы и выполняемыми операциями;
- возможность дифференцировано использовать в расчетной зависимости изменяющиеся от внешних условий и технического состояния двигателей параметры газовой смеси;
- возможность определения параметров газовой смеси в реальных условиях эксплуатации дизельного оборудования;
- учет разжижения и выноса вредных примесей турбулентным воздушным потоком;
- учет фактора перемещения дизельного оборудования в горных выработках;

удобство использования при расчетах вентиляции как на стадии проектирования рудника, так и в реальных условиях эксплуатации дизельного оборудования [84].

Вполне очевидно, что реализация этих требований в методах расчета требуемого количества воздуха позволит существенно повысить их точность и универсальность использования.

Расчет количества воздуха, необходимого для проветривания рудника складывается из следующих составляющих:

$$Q_{\text{ш}} = k_{\text{н}} \cdot (\sum Q_{\text{пз}} + \sum Q_{\text{оз}} + \sum Q_{\text{кш}} + \sum Q_{\text{у}} + \sum Q_{\text{пгв}}), \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1)$$

где $k_{\text{н}}$ – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения воздуха; при одном, двух, трех и более горизонтах принимается 1,05, 1,1 или 1,2 соответственно. При контроле воздухораспределения (автоматизированном или в ручном режиме) по горизонтам коэффициент принимается равным 1,05;

$Q_{\text{пз}}$ – сумма расходов воздуха для обособленного проветривания подготовительных выработок, проводимых за пределами выемочного блока, $\text{м}^3/\text{с}$;

$Q_{\text{оз}}$ – сумма расходов воздуха для проветривания добычных участков (очистных забоев – заходок), принимается наибольшее из количеств воздуха, полученных при расчетах по всем факторам, $\text{м}^3/\text{с}$;

$Q_{\text{кш}}$ – сумма расходов воздуха для обособленного проветривания камер, $\text{м}^3/\text{с}$;

$Q_{\text{у}}$ – сумма утечек воздуха через вентиляционные сооружения за пределами выемочных блоков, $\text{м}^3/\text{с}$.

$Q_{\text{пгв}}$ – сумма расходов воздуха для обособленного проветривания поддерживаемых выработок за пределами выемочных блоков, $\text{м}^3/\text{с}$.

Количество воздуха ($Q_{\text{пз}}$) рассчитывается по следующим факторам: наибольшему числу людей, занятых одновременно на подземных работах ($Q_{\text{л}}$), взрывоопасным газам, – при их наличии (метану, выделяющемуся из горных пород, водороду, образующемуся в зарядных камерах) ($Q_{\text{г}}$), вредным газам (образующимся после взрывных работ, при работе машин с ДВС, естественно выделяющиеся газы из породы, шахтных вод, гниении

крепёжного леса и т.п.) ($Q_{\text{ДВС}}$), сварочным аэрозолям при ведении огневых работ (сварка и резка металлов) ($Q_{\text{ОР}}$), по тепловыделениям – при наличии избытка явного тепла ($Q_{\text{Г}}$), минимальной и максимальной допустимой правилами безопасности скоростей движения воздуха [88].

При выборе вентиляционного оборудования для проветривания принимается наибольшее из полученных расчётных значений количества воздуха, т.е.

$$Q_{\text{ПЗ}} = \max (Q_{\text{Л}}, Q_{\text{Г}}, Q_{\text{ДВС}}, Q_{\text{ОР}}) \quad (2)$$

и далее полученное значение проверяется на соответствие требованиям по допустимой скорости движения воздуха:

$$Q_{v \text{ min}} > Q_{\text{ПЗ}} > Q_{v \text{ max}} \quad (3)$$

где $Q_{v \text{ min}}$, $Q_{v \text{ max}}$ – расходы воздуха по условиям соблюдения соответственно минимально и максимально допустимой скорости движения вентиляционной струи, м³/с.

Как показывает опыт расчетов по необходимому количеству воздуха для проветривания предприятий, работающих на рудных месторождениях, при проектировании вентиляции максимальных значений достигают требуемые расходы по фактору ДВС и тепловым техногенным факторам [88].

Обеспечение всех рабочих зон необходимым количеством свежего воздуха не является единственной задачей вентиляции. К системам вентиляции шахт и рудников все чаще предъявляется требование энергоэффективности [83].

В основе двух указанных задач проектирования систем вентиляции лежат два противоборствующих критерия: при решении задачи по обеспечению воздухом подразумевается увеличение расхода воздуха в вентиляционной сети, а вторая задача направлена на его максимально возможное снижение. Рациональное решение обеих задач систем вентиляции, позволяющее определить оптимальное распределение воздушных потоков по вентиляционной сети по критериям энергоэффективности и разбавления

загрязняющих веществ (на примере предлагаемых решений с ДВС), возможно только с применением методов теории оптимального управления [83]. А реализация оптимального распределения воздушных потоков на практике в условиях динамически изменяющихся вентиляционных сетей шахт и рудников возможна только с использованием средств автоматического управления проветриванием [83].

В Горном институте Уральского отделения Российской академии наук разработан и внедряется алгоритм оптимального управления проветриванием, в котором поиск оптимального воздухораспределения осуществляется системой в полностью автоматизированном режиме в реальном времени. Минимизация энергопотребления достигается за счет наиболее эффективного подбора частот оборотов вентиляторных установок, использования вентиляционных дверей с регулируемым сопротивлением, частичной рециркуляции, а также за счет посменного регулирования распределения воздуха [105].

В работе [74] предложена идея временного аккумуляирования выхлопных газов ДВС в призабойной части выработки путем увеличения ее объема и рециркуляционного проветривания для управления газовой динамикой в тупиковой горной выработке. Автором были выявлены закономерности газовой динамики призабойной зоны, получены аналитические зависимости, описывающие влияние основных вентиляционных параметров и параметров работы самоходного оборудования с ДВС на концентрацию вредных примесей выхлопных газов в призабойной зоне. На основе разработанной математической модели газодинамических процессов установлена необходимость применения схемы проветривания призабойной зоны тупиковой выработки двумя последовательными свободными турбулентными струями [74].

В настоящее время слабо освещен вопрос, связанный с аварийными режимами работы систем вентиляции шахт и рудников, а также с адаптацией

систем автоматизированного управления на произвольные варианты вскрытия, подготовки и систем разработки месторождений [83].

В последнее десятилетие за рубежом активно развивается принцип вентиляции «по требованию» или VOD (Ventilation on demand). Этот термин впервые упоминается в работах [96, 97]. Этот принцип аналогичен работам, проводимым в 70-80-е годы прошлого столетия советскими учеными, разработавшими алгоритмы управления для рудников и газообильных шахт (Щербань А.Н., Абрамов Ф.А., Пучков Л.А., Аюров В.Д., Бахвалов Л.А., Тянь Р.Б., Святный В.А. и др.) и успешно внедрившими их на практике, однако произошедшие социальные катаклизмы привели к прекращению этих исследований и отбросили нашу горную промышленность и науку назад на долгие годы.

Принцип вентиляции «по требованию» – это организация системы проветривания, при которой свежий воздух направляется только на те участки шахты или рудника, где он требуется, в количестве, необходимом для ведения горных работ и поддержания комфортных условий труда в течение заданного промежутка времени (добычной смены). То есть цель ее заключается в подаче свежего воздуха преимущественно в те рабочие зоны, в которых ведутся горные работы, при этом в оставшейся части рудника расходы воздуха должны быть минимизированы [96 83]. Такие системы требуют автоматического контроля и управления, эффективных регуляторов распределения воздуха, и строгого соблюдения регламентов, касающихся технического обслуживания выработок и движения подземного технологического оборудования.

В последнее десятилетие на горнорудных предприятиях России и стран СНГ возобновилась разработка и активно внедряется стратегия управления проветриванием, предложенная в работах [102, 103, 83, 94]. Данная стратегия является аналогом VOD, но имеет два ключевых отличия:

- 1) минимизация энергопотребления достигается не только за счет посменного регулирования воздухораспределения, но также за счет внедрения систем частичного повторного использования воздуха;

2) поиск оптимального воздухораспределения осуществляется системой в полностью автоматизированном режиме с помощью алгоритмов, запрограммированных в микроконтроллеры вентиляторных установок и вентиляционных дверей.

При решении задач первого направления предполагается, что заданы топология и геометрические параметры системы выработок, имеется компьютерная модель вентиляционной сети, с помощью которой осуществляется расчет оптимального воздухораспределения в шахтной сети и определяются обеспечивающие его параметры вентиляционных устройств: производительности вентиляторов, сопротивления вентиляционных сооружений и др. [94, 112, 114].

В задачах второго направления топология и геометрические параметры вентиляционной сети могут быть не заданы, а управляющие воздействия на регуляторы вентиляционных устройств определяются микроконтроллерами, исходя из их текущих значений и отклонений фактических значений управляемых величин (скоростей движения воздуха, концентраций газов) от требуемых и (или) критических значений [106, 70].

Уже много лет ведется работа по созданию специализированных программных комплексов для решения задач проветривания горных выработок и противоаварийной устойчивости горных предприятий - угольных шахт, рудников и объектов подземного строительства [47, 46, 57, 67, 82 и др.]. В России в настоящее время наиболее широкое применение получили комплексы «АэроСеть» и «Вентиляция 2.0» [113, 78, 79]. Расчёт количества воздуха в сети рудника производится для определения того, какие параметры по расходу и депрессии должны обеспечивать применяемые вентиляторы, чтобы подавать в каждую рабочую зону/блок/панель/крыло/горизонт количество воздуха, гарантирующее безопасное ведение горных работ [88].

Программа «АэроСеть» производит подобный многогранный расчёт в удобной электронной форме. Выбор текущей методики расчёта требуемого количества воздуха ведётся снизу-вверх, то есть сначала рассчитываются

расходы воздуха в рабочих зонах (забоях), затем – в блоках, и так далее. Добавлены актуальные функции, учитывающие влияние на проветривание выработок с дизельными машинами, массовых и технологических взрывов, пылевой нагрузки от различных механизмов, а также учитывающие процессы тепломассопереноса в том числе и в аварийных условиях [54, 78, 83, 11].

В программном комплексе «Вентиляция 2.0» исходными данными для расчетов являются пространственная сеть горных выработок с указанием имеющегося в них оборудования: конвейеров, трубопроводов, вентиляторов, стационарных устройств различного назначения, спасательных средств и проч., а также вентиляционных сооружений [11].

При этом оба комплекса решают основные вентиляционные задачи как на стадии проектирования, так и при эксплуатации предприятия [88]:

- расчет воздухораспределения в штатном режиме;
- расчет воздухораспределения в реверсивном режиме (при пожаре);
- расчет устойчивости проветривания в штатном режиме и при наличии тепловой депрессии при пожаре;
- расчет баланса воздуха;
- теплофизические расчеты;
- задачи плана ликвидации аварии (ПЛА).

Однако все эти достижения не касаются основного вопроса – изменения устаревших норм подачи воздуха на единицу мощности дизельного оборудования, которые существенно сдерживают производительность предприятий и увеличивают затраты на проветривание.

1.2. Анализ методов расчета требуемого количества воздуха по вредным газам от оборудования с ДВС

1.2.1 Обзор применяемых методик расчета воздуха для разбавления выхлопных газов дизельного оборудования

Основой создания методов расчета требуемого количества воздуха являются санитарные нормы предельно допустимых концентраций выхлопных газов при эксплуатации дизельных машин под землей [19-22, 81].

В настоящее время выделяют несколько методов расчета количества свежего воздуха, необходимого для разбавления выхлопных газов в условиях подземных рудников [23, 121]:

- расчет по условной норме подачи;
- расчет по экологическому классу двигателя;
- расчет по компонентам выхлопных газов.

Первоначально метод расчета базировался на простейшей зависимости, отражавшей разжижение вредных примесей до санитарных норм

$$Q_n = \frac{100 \cdot q_{max}}{C_{доп}}, \quad (1.2)$$

где q_{max} – максимальный объем токсичной примеси; $C_{доп}$ – предельно допустимая концентрация соответствующего вредного компонента.

Расчет требуемого количества воздуха по зависимости (1.2) был оправдан тем, что мощность используемого дизельного оборудования была небольшой, и расчет вентиляции по этому фактору практически не превышал требуемого количества воздуха по другим факторам. Использование этой зависимости при большой мощности оборудования с дизельным приводом приводит к повышению расчетного расхода воздуха. Это объясняется тем, что в зависимость входит параметр q_{max} , использование которого, без учета реальной газовой ситуации приводит к завышению требуемого количества воздуха. Следует подчеркнуть, что достоверность этого параметра достаточно сложно определить в реальных условиях эксплуатации дизельного оборудования. Специфика рудничной атмосферы: давление, влажность, наличие в атмосфере кислорода, углекислого и других газов, - в значительной степени влияет на выход вредных компонентов в выхлопе дизельного двигателя [37, 38, 49].

На первых этапах использования дизельного оборудования расчет производился по всем основным вредностям выхлопных газов: углекислому газу CO_2 , окиси углерода CO , окислам азота N_xO_x и альдегидам. К расчету

принималось максимальное количество воздуха, определенное по указанным вредностям.

Дальнейшая практика эксплуатации дизельного оборудования показала, что наличие в рудничной атмосфере нескольких вредных компонентов усиливает токсичность выхлопных газов. Этим обусловлено то, что зависимость (1.1) приобрела вид

$$Q_n = \sum \frac{100 \cdot q_i}{C_i}, \quad (1.3)$$

где q_i – выход соответствующей вредной примеси; C_i – предельно допустимая концентрация соответствующей вредной примеси.

Учитывая, что основными компонентами выхлопных газов являются окись углерода CO , окислы азота NO_x и альдегиды, расчетная зависимость для определения требуемого количества воздуха записывается в следующем виде

$$Q_n = 100 \cdot \left(\frac{q_{CO}}{C_{CO}} + \frac{q_{N_2O_5}}{C_{N_2O_5}} + \frac{q_a}{C_a} \right), \quad (1.4)$$

где q_{CO} , $q_{N_2O_5}$, q_a – выход соответствующей вредности;

C_{CO} , $C_{N_2O_5}$, C_a – предельно допустимая концентрация соответствующей вредной примеси.

Расчетное значение расхода воздуха по зависимости (1.3) может значительно превышать требуемое количество воздуха в связи с тем, что в формулу закладывается значение максимального выхода вредностей по всем трем параметрам. В реальных условиях эксплуатации эти параметры жестко связаны и при увеличении одного из них не может быть максимального выхода других [10, 18, 23].

Таким образом, правильное использование зависимости (1.4) требует достоверных данных по выходу соответствующих вредностей.

Следует отметить, что на определенном этапе, которому соответствует низкий технический уровень дизельных двигателей, при которых токсичность двигателей была высокой, применение зависимости (1.4) в какой-то степени оправдано. Совершенствование двигателей привело к значительному

сокращению вредностей в выхлопе, и использование зависимости (1.4) стало неоправданным.

Выше отмечалось, что выход вредностей во многом определяется условиями эксплуатации и параметрами рудничной атмосферы, т. е. один и тот же тип двигателя на разных шахтах может давать различный выход вредностей. Определение выхода этих вредностей в реальных условиях эксплуатации оборудования – технически очень сложная задача. В связи с этим довольно широко используются, так называемые, удельные нормы расхода воздуха на единицу мощности дизельного двигателя [27, 33].

Вполне очевидно, что диапазон удельных норм расхода воздуха на единицу мощности будет лежать в довольно широком диапазоне, что и получило отражение на практике. Например, в США и Канаде эти нормы лежат в диапазоне от 2,8–7,1 м³/мин. В нашей стране эта норма определена как не менее 5 м³ на л.с. для любых машин. Столь широкий диапазон значений удельных расходов объясняется также тем, что в различных странах приняты свои предельно допустимые концентрации вредных примесей в рудничной атмосфере. Так в США нормы на основные вредности приняты следующие: окись углерода $C_{CO} = 0,01 \%$, углекислый газ $C_{CO_2} = 0,5 \%$, двуокись азота $C_{NO_2} = 0,025 \%$.

Таким образом, удельные расходы воздуха на единицу мощности оправданы лишь для конкретных условий эксплуатации дизельного оборудования и могут быть использованы для рудников, на которых не проводился комплекс исследований по определению фактической газовойности двигателей. Следует также учитывать, что в эти нормы заложены коэффициенты запаса требуемого количества воздуха [42].

Теми же недостатками обладают методы расчета требуемого количества воздуха, основанные на расчете по удельному объему выхлопных газов, так как в этом случае количество каждого газового компонента относится к единице мощности двигателя, т. е. это тоже интерпретация расчетов по

удельным расходам воздуха, однако это в значительной степени повышает точность расчета [69, 70]. Это объясняется прежде всего тем, что помимо экспериментального определения выхода вредных компонентов, эти параметры можно определить теоретическими расчетами. Примером этому может служить методика расчета, используемая во Франции. Суть методики заключается в том, что определяется количество выхлопных газов по зависимости (1.5):

$$Q_{\text{в.г.}} = \frac{(B+G) \cdot RT}{P}, \quad (1.5)$$

где B – расход горючего, кг/час;

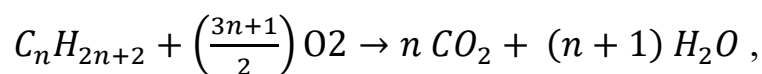
G – вес всасываемого двигателем воздуха, кг/час;

T – абсолютная температура выхлопных газов, К°;

R – газовая постоянная ($R = 29,1$);

P – атмосферное давление, кг/м².

Реакция сгорания, которая имеет следующий вид



показывает, что полтора объема кислорода дают один объем выхлопных газов или 6,1 объемов воздуха дают 6,6 объемов выхлопных газов. С учетом особенностей работы дизельного двигателя можно определить, что количество выхлопных газов примерно составляют 1 л/с на 1 л. с. мощности двигателя. Однако, реальное значение этого соотношения может значительно отличаться, в связи с совершенствованием конструкции двигателей, использования турбоподдува, специальных камер, повышающих степень сгорания топлива, добавок различных присадок, и может составлять $\pm 30-40$ %%. А это, в свою очередь, связано с точностью определения требуемого количества воздуха.

Внедрение дизельного оборудования на рудниках нашей страны и его эксплуатация показали несоответствие расчетного количества воздуха реально требуемому. Как правило, принятые в нашей стране удельные расходы воздуха на единицу мощности превышают расчетное количество

воздуха. В связи с этим ряд исследователей занимались разработкой новых методов расчета требуемого количества воздуха для разбавления выхлопных газов в шахтах и рудниках.

Так, в методике Н. В. Битколова и Т. О. Мирошниченко предложено рассчитывать требуемое количество воздуха по кратности разжижения вредных газов дизельного оборудования [10]. Кратность разбавления T определяется по формуле (1.6):

$$T = \left(\frac{C_1}{C_{q1}} + \frac{C_2}{C_{q2}} + \frac{C_3}{C_{q3}} \right), \quad (1.6)$$

где C_1, C_2, C_3 – концентрация соответствующей вредной примеси в выхлопных газах;

C_{q1}, C_{q2}, C_{q3} – предельно допустимая концентрация по соответствующей примеси [81].

Зная кратность разжижения по основным вредным примесям, можно определить требуемое количество воздуха по зависимости

$$Q = q_{\text{в.г.}} \cdot T, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1.7)$$

где $q_{\text{в.г.}}$ – количество выхлопных газов, $\text{м}^3/\text{с}$.

Анализируя зависимости (1.6) и (1.7), можно видеть, что они принципиально ничем не отличаются от зависимости (1.4), т.е. в зависимость входит максимальная газовость по основным компонентам вредных примесей, а методикой не определена количественная оценка выхлопных газов – $q_{\text{в.г.}}$, и концентрация в них этих примесей. В связи с этим использование этой зависимости может также значительно превышать требуемое количество воздуха.

Для повышения точности определения требуемого количества воздуха ряд авторов предполагает вводить эмпирические коэффициенты, учитывающие особенности разжижения вредных примесей в воздушных потоках и мероприятия, направленные на снижение газовыделения.

В зависимости, предложенной Н.И. Жалиным [29], а именно

$$Q = k \cdot q_{\text{в.г.}} \cdot T, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1.8)$$

в отличие от зависимости (1.7) введен коэффициент, который учитывает неравномерность выделения вредных примесей по сечению выработки.

Введение эмпирических коэффициентов несомненно повышает точность определения требуемого количества воздуха, но вместе с тем и ограничивает область использования этих расчетов. Это связано с тем, что значение этого коэффициента определено для конкретных условий работы дизельного оборудования, которые могут на других рудниках значительно отличаться от условий, в которых выведен этот коэффициент.

Техническое усовершенствование последних поколений дизельных двигателей привело к тому, что выхлопные газы дизельного оборудования стали менее токсичны. Практика эксплуатации самоходного оборудования в нашей стране и за рубежом показывает, что окись углерода СО, бывшая ранее основной токсичной вредностью, в настоящее время, при исправном состоянии штатных средств нейтрализации, практически отсутствует. Это привело к тому, что расчеты требуемого количества воздуха стали вестись по условной окиси углерода, т. е. замеренные значения концентрации по окислам азота путем пересчета приводились к токсичности по условной окиси углерода. Правомерность таких пересчетов нуждается в обоснованном подтверждении, поскольку каждый тип двигателя и даже каждый индивидуальный двигатель обладает своим соотношением вредных компонентов в выхлопных газах. На это соотношение также влияет режим работы двигателя и специфика внешних условий, которые во многом определяют выход вредностей. Однако, несмотря на этот факт, существуют методы, базирующиеся на расчете требуемого количества воздуха по условной окиси углерода.

Примером этому может служить расчетная зависимость для определения количества воздуха по фактору дизельного оборудования, предложенная И. И. Медведевым [76, 77]

$$Q = \frac{q_{в.г.} \cdot C_{CO}}{\gamma \cdot C}, \quad (1.9)$$

где C_{co} – концентрация условной окиси углерода в выхлопных газах, %;

$q_{в.г.}$ – количество выхлопных газов, м³/мин;

γ – удельный вес воздуха, кг/м³;

C – предельно допустимая концентрация по условной окиси углерода, кг/м³.

Особенностью зависимости является то, что количество выхлопных газов $q_{в.г.}$ рассчитывается по расходу топлива [76, 77]:

$$q_{в.г.} = \frac{G}{60} (q_0 a + 1), \text{ кг/мин} \quad (1.10)$$

где G – часовой расход топлива, кг/час;

q_0 – количество воздуха, необходимое для полного сгорания 1 кг топлива ($q_0 = 14,7$ кг/кг, кг);

a – коэффициент избытка воздуха (для подземных условий $a = 1$).

Анализируя этот метод расчета воздуха, можно видеть, что помимо ошибок, связанных с пересчетом на условную окись углерода, накладываются ошибки, вызванные тем, что этот метод, по существу, сводится к определению количества воздуха по удельному выходу выхлопных газов, со всеми присущими ему недостатками. Следует отметить, что в реальных условиях эксплуатации неравномерность работы дизельного двигателя не позволяет с достаточной точностью оценить расход топлива, поэтому все сводится к стендовым испытаниям, которые в силу множества факторов, отличных от реальных условий, не обеспечивают точности расчета.

Одним из направлений, повышающих точность расчетов требуемого количества воздуха, был учет фактора движения дизельного оборудования в выработках. Ведь самоходное оборудование в отличие от других источников газовыделения является подвижным. И вследствие этого возникает задача учета объемов воздуха, в которых происходит его перемещение. В конечном итоге решение этой задачи позволит определить оптимальные расстояния движения транспорта при выполнении производственных процессов. Учет фактора движения - сложная задача в связи с тем, что каждый рудник имеет свои особенности, связанные с топологией и технологией ведения горных

работ, поэтому расчетные зависимости требуемого количества воздуха, учитывающие этот фактор, имеют весьма сложный вид.

Движение оборудования в горных выработках во много раз увеличивает площадь контакта выхлопных газов, что приводит к так называемому эффекту «поглощения» вредных примесей окружающими породами. В настоящее время не существует количественной оценки этого эффекта, однако некоторые зависимости учитывают этот фактор эмпирическими коэффициентами.

Достоверность значения этих коэффициентов нуждается во всестороннем научном исследовании, поскольку механизм поглощения некоторыми породами вредных газов неясен. Вполне вероятно, что в горных выработках специфика рудничной атмосферы: влажность, температура, избыточное барометрическое давление, наличие определенных газовых компонентов, - обуславливает возможность протекания химических реакций, нейтрализующих действие неустойчивых соединений окислов азота и альдегидов. Другой и более вероятной гипотезой «эффекта поглощения» является то, что методы определения концентрации вредных газов непосредственно в выхлопе и в рудничной атмосфере не тождественны, т. е. базируются на разных методах определения, это и приводит к тому, что не соблюдается баланс количества вредностей в выхлопе и в рудничной атмосфере. Косвенным подтверждением этому служат эксперименты, проведенные МГИ на рудниках Норильского Никеля [39, 42, 71, 72], которые показали отсутствие эффекта поглощения, а разбаланс количества вредностей в выхлопе и рудничной атмосфере был на уровне погрешностей, определяемых химическим анализом.

С несколько иных позиций задача расчета требуемого расхода воздуха по вредным газам дизельного оборудования рассмотрена В.В. Скобуновым. Основой его решения является уравнение стационарной диффузии, имеющее вид:

$$[V \pm U_0(1 + N_x)] \frac{dc}{dx} = \frac{d}{dx} \left(D_x \frac{dc}{dx} \right) + \gamma C$$

$$(V \pm U_0) \frac{dc}{dx} = \frac{d}{dx} \left(D_x \frac{dc}{dx} \right) + \gamma C \quad (1.11)$$

где C – концентрация вредных газов, м³/м;

U_0 – средняя скорость движения воздуха, м/с;

x – текущая координата по длине выработки;

D_x – коэффициент диффузии в направлении оси X ;

N_x – обобщенный коэффициент утечек, кг⁻¹;

V – скорость движения машины, м/сек;

γ – коэффициент поглощения окислов азота мокрыми стенками выработок.

Из уравнения (1.11) видно, что в нем учитывается не только подвижность источника примеси, но и эффект поглощения окислов азота стенками выработки. Решение этого уравнения имеет весьма сложный вид:

$$C = \frac{0.14}{B} \left\{ \frac{C_{0п} \cdot q_{0п}^*}{[1 - U_0(1 + N_x)] U_0(1 + N_x)} \cdot \exp \left[\frac{1 - U_0 \left(1 + \frac{1}{2} N_x \right)}{A + V_A t} \right] x + \frac{C_{0в} q_{0в}^*}{[1 + U_0(1 + N_x)] U_0(1 + N_x)} \cdot \exp \left[\frac{1 + U_0 \left(1 + \frac{1}{2} N_x \right)}{A + V_A t} \right] x \right\} \quad (1.12)$$

где q_0^* и C_0 – соответственно относительная интенсивность и начальная концентрация источников примеси;

U_0 – скорость движения воздуха без учета утечек;

N – обобщенный коэффициент утечек через трубопровод;

Δt – интервал времени движения машины.

Коэффициенты A и B в зависимости (1.12) определяются выражениями:

$$A = 15.8 \cdot S \cdot C^{-0.6} \cdot S_{ст} \cdot \sqrt{\frac{\alpha}{\alpha_{ш}}}, \quad (1.13)$$

$$B = K_c \cdot K_\alpha \cdot S \cdot C^{0.4} \cdot S_{ст} \cdot \sqrt{\alpha}, \quad (1.14)$$

где S_c и $S_{ст}$ – соответственно молекулярное и турбулентное числа Шмидта для газов;

K_α – коэффициент формы профиля концентрации ($K_\alpha = 1 + \frac{3}{2} \sqrt{\alpha}$);

K_c – фактор усиления перемешивания, обусловленный влиянием аэродинамического следа за машиной ($K_c = 1 + 0,12 \cdot V \cdot d$, где d – диаметр машины по миделеву сечению);

α и $\alpha_{ш}$ – соответственно коэффициенты трения для гладких и шероховатых выработок при одинаковом числе Re .

Анализируя решение для распределения концентрации вредных примесей в выработке можно видеть, что автор не приводит метода расчета требуемого количества воздуха, базирующегося на этой зависимости. К тому же определение параметров A и B в каждом конкретном случае требует дополнительных исследований. Кроме того, в дифференциальном уравнении используются коэффициенты продольной диффузии D и коэффициент поглощения вредных примесей стенками выработки, численные значения которых можно получить только путем сложных натурных экспериментов.

Проведенный анализ показывает, что существующие методы расчета требуемого количества воздуха не отличаются точностью, или содержат трудноопределимые на практике константы. Расчетные зависимости не позволяют учитывать специфику рудничной атмосферы. Ни одна из представленных методик не определяет получение основного расчетного параметра – газовость дизельного оборудования и концентрацию вредных компонентов в выхлопных газах для реальных условий эксплуатации дизельного оборудования. Процессы разжижения вредных примесей и их вынос в ряде зависимостей учитываются эмпирическими коэффициентами, полученными для конкретных условий, что ограничивает их использование. В зависимостях, получивших распространение, не учитывается фактор движения дизельного оборудования по выработке. А зависимости, которые учитывают этот фактор, имеют сложный вид и для практического использования в расчетах вентиляции мало пригодны.

На практике горные предприятия выполняют научно-исследовательские работы и устанавливают самостоятельно норму подачи свежего воздуха. В

результате норма подачи свежего воздуха оказывается на уровне 1,5 – 2 м³ /мин на 1 л.с., что не всегда соответствует реальной газовой ДВС. Кроме того, некоторые производители горно-шахтного оборудования в документации к оборудованию приводят необходимый уровень вентиляции для разбавления выхлопных газов в соответствии с требованиями Управления по безопасности и охране труда при добыче полезных ископаемых (The Mine Safety and Health Administration – MSHA) [62,63]. Рассчитанная условная норма подачи в соответствии с требованиями, установленными MSHA, находится в пределах от 0,7 до 1,6 м³/мин, что значительно меньше значения, приведенного в нормативных документах. Этот метод применим как при эксплуатации, так и при проектировании горного предприятия [53].

Расчет по экологическому классу двигателей основывается на том, что двигатели внутреннего сгорания сертифицируются в соответствии с требованиями норм токсичности. Нормы токсичности двигателей внутреннего сгорания для внедорожной техники определяются в соответствии со стандартами Stage и EPA Tier и на практике будут завышены [23].

Метод расчета, основанный на компонентах выхлопных газов, позволяет эксплуатирующим и проектным организациям определять более точные значения количества воздуха, необходимого для разбавления выхлопных газов для каждой отдельной машины [84]. В настоящее время отдельным вопросом приведенного метода является точность определения количества выхлопных газов, производимых двигателями внутреннего сгорания [84].

1.2.2 Методика динамического расчета требуемого количества воздуха по фактору «выхлопные газы дизельного оборудования»

Особое место в ряду описанных методов расчета занимает методика, разработанная под руководством Л.А. Пучкова учеными Московского горного института [35,71] на базе натурных исследований, проведенных на рудниках. В указанной методике учтены требования, позволяющие не только значительно повысить точность расчетов требуемого количества воздуха, но и

сделать ее универсальной для использования, практически, на любых рудниках [84].

Общий вид расчетной зависимости:

$$Q = Q_{\text{э}} - Q_{\text{ф}}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1.15)$$

где $Q_{\text{э}}$ – эффективное количество воздуха, необходимое для разбавления вредных газов в турбулентном потоке, $\text{м}^3/\text{с}$;

$Q_{\text{ф}}$ – фиктивное количество воздуха, учитывающее участие стационарного объема горной выработки в разбавлении вредных газов, $\text{м}^3/\text{с}$.

Эффективное количество воздуха определяется выражением:

$$Q_{\text{э}} = K \left(\frac{q_1}{c_1} + \frac{q_2}{c_2} + \dots + \frac{q_n}{c_n} \right), \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1.16)$$

где K – коэффициент диффузионного осреднения газовости, учитывающий влияние продолжительности работы дизельной машины в режиме максимальной газовости и интенсивности диффузионного перемешивания газов в воздушном потоке;

$q_1, q_2 \dots q_n$ – интенсивность выделения соответствующей вредной примеси при работе машины в режиме максимальной газовости, $\text{м}^3/\text{с}$;

$c_1, c_2 \dots c_n$ – допустимые правилами безопасности концентрации в рудничной атмосфере соответствующих вредных примесей, %.

Одним из основных расчетных параметров зависимости (1.16) является параметр q – интенсивность выделения соответствующей вредной примеси. Как уже было отмечено, достоверность этого параметра определяет степень точности расчетных зависимостей требуемого количества воздуха.

В связи с этим, наиболее рациональным является получение этого параметра в реальных условиях эксплуатации дизельного оборудования. С этой целью проводились натурные эксперименты, позволившие получить

количественные значения этих параметров. Исследования показали, что максимальный выход вредных компонентов в выхлопных газах соответствует режиму работы машины, при котором она движется вверх по уклону или с равномерным ускорением по горизонтальной выработке. И определять его следует в этих режимах работы, в отличие от ранее используемого метода стендовых испытаний. В методике также указано, что замеры газовойности необходимо проводить в условиях того рудника, на котором будет использоваться это оборудование. Это позволит учесть влияние рудничной атмосферы на выход вредных примесей, и индивидуальные характеристики двигателей, связанные с их конструкцией и техническим состоянием [84]. Таким образом, в методике реализуются основные требования, предъявляемые к методам расчета требуемого количества воздуха по вредным газам дизельного оборудования: возможность дифференцированного учета в расчетах параметров газовойности, изменяющихся от внешних условий, технического состояния двигателя и режима его работы; возможность определения параметров газовойности в реальных условиях эксплуатации дизельного оборудования.

Очевидно, что расчет по максимальной газовойности, будет завышать расчетное значение требуемого количества воздуха, так как при эксплуатации машины, кроме движения по уклонам, существуют целый ряд других операций, при которых режим работы двигателя и его газовойность, отличны: режим максимальной газовойности существует не всю рабочую смену, а строго определенное время, по которому целесообразно вести расчет требуемого количества воздуха, что позволит определить его значительно точнее [84].

Для учета данного обстоятельства был введен коэффициент, учитывающий топологические и технологические факторы, динамику работы дизельного оборудования и аэродинамическое сопротивление горных выработок (процессы разбавления и выноса вредных примесей турбулентным воздушным потоком). В связи с этим, методика может быть использована, практически, для любых рудников [43].

Достоинством методики МГИ является то, что она обеспечивает 20%-ную точность, в то время как другие методы не гарантируют и 50%. Учитывая, что современные рудники требуют расходов воздуха, исчисляемых сотнями м³/с, увеличение точности расчетов в два раза играет огромное значение. Проектные расчеты, проведенные по этой методике для рудников НГМК, показали, что при той же мощности используемого оборудования, можно снизить подаваемое в рудники количество воздуха в 1,5 раза при соблюдении установленных ПДК вредных компонентов выхлопных газов.

1.2.3 Требования к методам расчета проветривания рудников с учетом работы машин с ДВС

Исходя из изложенного, можно выделить основные требования, предъявляемые к методам расчета необходимого количества воздуха.

При расчете проветривания по фактору «вредные газы дизельного оборудования» необходимо обеспечить:

- учет топологических и технологических факторов;
- учет динамики работы дизельного двигателя, обусловленный характером работы и выполняемыми операциями;
- возможность дифференцировано использовать в расчетной зависимости изменяющиеся от внешних условий и технического состояния двигателей параметров газовой;
- методика должна предусматривать определение параметров газовой в реальных условиях эксплуатации дизельного оборудования;
- расчетная зависимость должна учитывать разжижение и вынос вредных примесей турбулентным воздушным потоком;
- учитывать фактор перемещения дизельного оборудования в горных выработках;
- обладать удобством использования при расчетах вентиляции на стадии проектирования и в реальных условиях эксплуатации дизельного оборудования.

Вполне очевидно, что реализация этих требований в методах расчета требуемого количества воздуха позволит существенно повысить их точность и универсальность использования [84].

1.3 Учет режима движения машин с ДВС в горных выработках при расчетах количества воздуха для проходческих забоев

Первой очевидной возможностью учета динамики процессов выделения и переноса примесей является учет движения источника примесей. Исходные предпосылки постановки задачи в данном случае заключается в следующем.

Сущность расчета вентиляции заключается в том, чтобы обеспечить определенное соотношение объемов вредных примесей и свежего воздуха. Если выделение примесей осуществляется в количестве q , м³/с, в объеме выработки V_0 , то при отсутствии движения воздуха ($v = 0$) (рисунок 1.1а) поддержание безопасной атмосферы возможно при условии

$$V_0 = q t / C \quad (1.19)$$

где t – время выделения примесей;

C – допустимая концентрация примеси.

То есть следует учитывать не только количество выделяемой примеси, но и время ее выделения в рассматриваемом объеме горной выработки. В практике вентиляции рудников объемы V_0 обычно не велики и процесс диффузии примеси в объеме воздуха при отсутствии его движения (отсутствии воздухообмена) резко замедляется. Тем не менее, это обстоятельство следует учитывать применительно к ограниченным во времени выделениях примеси, например при взрывных работах, в камерах значительного объема [115, 116, 18].

Известно, что в камерах большого объема при меньшем расходе воздуха, по сравнению с выработками малого объема, при прочих равных условиях, может обеспечиваться нормальный состав атмосферы. В этих случаях важно

не столько увеличение интенсивности общего воздухообмена, сколько местная турбулизация воздушного потока – локальная интенсификация перемешивания примесей при помощи эжекторов или вентиляторов местного проветривания [23].

Движение воздуха по горной выработке, с точки зрения баланса объемов, добавляет дополнительный объем воздуха V , который равен произведению расхода воздуха Q на время движения машины t в выработке [44]:

$$V = Q t, \quad (1.20)$$

Тогда формула (1.19) приобретает вид

$$V_0 + V = q t / C \quad (1.21)$$

Обычно в рудничной вентиляции объем V_0 не учитывается вследствие его малости по сравнению с V поэтому практически считают, что $V_0 = 0$ и принимают

$$V = q t / C,$$

или

$$Q t = q t / C \quad (1.22)$$

Отсюда следует известная расчетная формула необходимого количества воздуха в ее простейшем виде

$$Q = q / C \quad (1.23)$$

В настоящее время эта формула используется в расчете вентиляции выработок при применении дизельного оборудования с учетом того, что выделяется несколько примесей. При этом следует отметить, что зависимость (1.23) справедлива для любого непредвиденного источника примесей, которые являются характерными для условий рудников и шахт (взрывные работы, выделение газа из горных пород и т. п.).

В работе [44] отмечается, что дизельные машины являются движущимся источником, скорость движения которого – соизмерима со скоростью движения воздуха в выработках. Поэтому движение источника примесей по отношению к воздушному потоку в значительной степени влияет на соотношение объемов примесей и воздуха, в котором эти примеси рассеиваются. Для оценки этой особенности дисперсии выхлопных газов рассмотрим приведенный пример выделения примесей из источника при отсутствии движения воздуха и в движущийся поток (рисунок 1.1 [44]).

Если источник движется со скоростью v м/с то, за рассматриваемый период времени t он проходит расстояние $L = v t$, и выделившийся за этот период объем примеси qt записывается не в фиксированном объеме V_0 , как это было в случае неподвижного источника, а в объеме

$$V_0' = L S = v S t,$$

где S – площадь поперечного сечения выработки.

В этом случае соотношение (1.21) записывается в виде

$$V_0 + V_0' = q t / C$$

или

$$V_0 + v S t = q t / C \quad (1.24)$$

При равных сечениях выработки на пути следования машины объем V_0' значительно превышает V_0 , если процесс рассматривается в период времени t , соизмеримый со временем присутствия источника в выработке в течение рабочей смены. С учетом этого допущения (при $V_0 \ll V_0'$) - формулу (1.24) можно записать в виде

$$v_m S = q / C \quad (1.25)$$

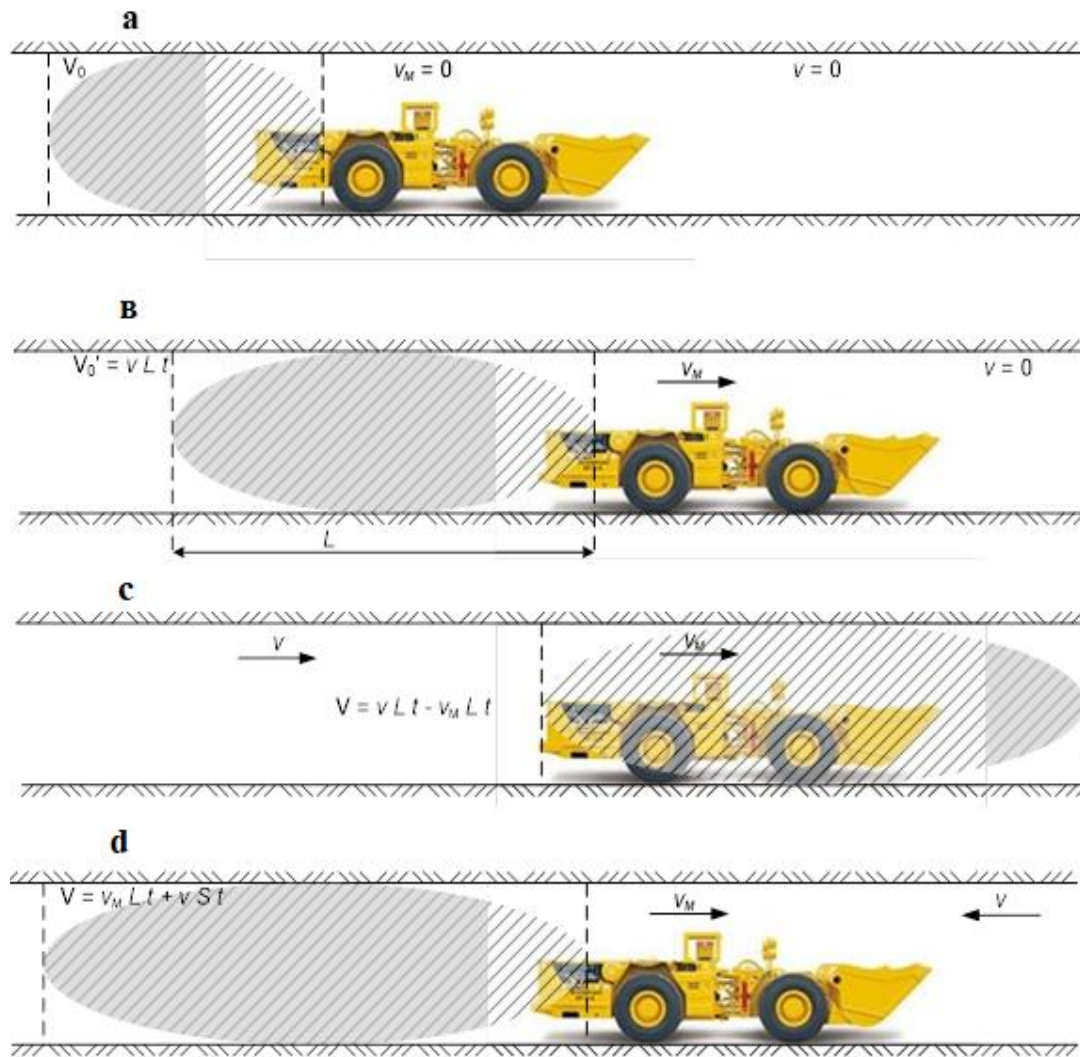


Рисунок 1.1 – Схемы распределения газов от машин с ДВС [44]:

a – источник и воздух неподвижны; *b* – движущийся источник в неподвижном воздухе; *c* – источник и поток воздуха движутся в одном направлении (спутное движение); *d* – источник и поток воздуха движутся в противоположных направлениях (встречное движение); v_M – скорость движения машины, v – скорость движения воздуха, t – время.

Отсюда можно определить скорость движения источника, при которой в данной выработке, будет поддерживаться безопасная концентрация примеси:

$$v_M = q / S C, \quad (1.26)$$

Параметр $v_M S$ представляет собой величину, аналогичную некоторому фиктивному расходу воздуха [44], который был бы необходим для

разбавления примеси до безопасных концентраций в случае, если бы ее источник был неподвижным.

Отсюда следует, что при движущемся источнике примеси необходимо учитывать фиктивное количество воздуха Q_{ϕ} , которое не связано с подаваемым объемом воздуха Q , но полностью определяется скоростью движения машины v_m .

В случае встречного движения машины и воздушного потока (рисунок 1.1с) в разбавлении выделяющихся примесей участвует как поступающее, так и фиктивное количество воздуха, вследствие чего баланс между количеством воздуха Q и выделением примеси q выглядит следующим образом

$$Q + Q_{\phi} = q / C, \quad (1.27)$$

тогда количество воздуха, подаваемого в выработку должно быть меньше, по сравнению со случаем, когда источник неподвижен, на величину

$$Q = q / C - Q_{\phi}, \quad (1.28)$$

где

$$Q_{\phi} = v_m S, \quad (1.29)$$

Таким образом, для определения необходимого количества воздуха для эффективного проветривания выработки с движущимися дизельными машинами при их встречном движении по отношению к потоку следует использовать формулу (1.30):

$$Q = q / C - v_m S, \quad (1.30)$$

а для случая спутного движения воздуха и машины, когда скорость воздуха превышает скорость движения машины, количество подаваемого воздуха должно быть увеличено по сравнению со случаем неподвижного источника в соответствии с формулой (1.31):

$$Q = q / C + v_m S, \quad (1.31)$$

Учитывая тот факт, что в реальных условиях дизельные машины движутся с достаточно высокими скоростями, определяющими большой удельный вес члена $v_m S$ в уравнениях (1.30) и (1.31), фактор движения дизельной машины должен учитываться при вентиляционных расчетах, как обязательный. При этом организация движения технологического транспорта должна осуществляться - по возможности - таким образом, чтобы движение машин и воздушных потоков было встречным, хотя бы для груженых машин, т. е. для тех режимов работы машин, когда наблюдается максимальное выделение вредных примесей. Кроме того, следует ограничивать время работы двигателей внутреннего сгорания при технологических остановках машин, связанных с погрузочно-разгрузочными работами [44].

1.4 Анализ действующих удельных норм расхода воздуха на единицу мощности машин с ДВС

Расход воздуха для проветривания горных выработок, где работает самоходное оборудование с двигателями внутреннего сгорания (далее ДВС), определяется по нормативу удельного расхода воздуха на единицу номинальной мощности дизельных двигателей, который был принят еще Госгортехнадзором СССР («Временная инструкция по безопасному применению машин с ДВС в подземных рудниках», 1968, и «Временная инструкция по расчету количества воздуха, необходимого для проветривания рудных шахт», 1983). Эта норма составляет: не менее $5 \text{ м}^3/\text{мин}$ на 1 лошадиную силу (далее - л.с.) или $6,8 \text{ м}^3/\text{мин}$ на 1 кВт номинальной мощности двигателей. При этом расчет количества воздуха по интенсивности пылевыведения в этих нормативных документах не привязан к мощности двигателей применяемого оборудования, а определяется в зависимости от типа применяемого бурового оборудования или погрузочных машин [74, 77].

За истекший период самоходное оборудование с ДВС и используемое дизтопливо претерпели существенные качественные изменения, и количество вредных компонентов в выхлопе ДВС значительно снизились [41]. На период

утверждения данных нормативов действовал экологический этап EURO-0. Нормативы для дизельных двигателей по экологическим стандартам EURO приведены в таблице 1.1 [28, 87]. На ведущих горнодобывающих предприятиях России применяется новое поколение высокопроизводительных дизельных машин, выпуск которых датируется от 2015 года и позднее, где содержание вредных веществ соответствуют требованиям стандарта EURO-3 и даже EURO-4. С 1 января 2016 г. был введен экологический класс EURO -5.

Исходя из данных, приведенных в таблице 1.1 и в соответствии с формулой

$$Q = V_v \left(\frac{C_{\text{усл}}}{C_{\text{пдк}}} - 1 \right) \quad (1.32)$$

где $C_{\text{усл}}$ – условная объемная концентрация вредных газов в процентах по объему приведенная к CO; V_v – объем выхлопа СХО, м³/с; $C_{\text{пдк}}$ – допустимая объемная концентрация CO = 0,0017 % об.,

- количество воздуха, необходимого для разжижения вредных примесей в выхлопных газах самоходного оборудования с ДВС должно быть пропорционально снижено: по оксиду углерода в 5,8 раза и составлять 0,9 м³/л.с., по окислам азота в 3,1 раза и составлять 1,6 м³/л.с., - и в сумме не превышать 2,5 м³/л.с.

Таблица 1.1 – Евростандарты для большегрузного транспорта [52]

Стандарт	Дата	CO		NO _x		НС (альдегид) (гр./кВт.ч)	PM (сажа) (гр./кВт.ч)
		(гр./кВт.ч)	%	(гр./кВт.ч)	%		
Евро 0	1988–1992	12.3	0,196	15.8	0,146	2.6	-
Евро 1	1992-1995	4.9	0,076	9.0	0,083	1.23	0.40
Евро 2	1995-1999	4.0	0,064	7.0	0,064	1.1	0.15
Евро 3	1999-2005	2.1	0,034	5.0	0,046	0.66	0.1
Евро 4	2005-2008	1.5	0,024	3.5	0,032	0.46	0.02

Евро 5	2008-2012	1.5	0,024	2.0	0,018	0.46	0.02
Евро 6	2015-по н.в.	1		0,6			

Нормы количества воздуха на единицу мощности двигателя, принятые в различных странах, не идентичны. Отмечается, что эта норма подачи воздуха, принятая на 1 л.с. в США - 0,675–2,5 м³/мин, в Канаде - 2,1–7,1 м³/мин, в Германии - 6,0 м³/мин, Франция - 2,0–4,0 м³/мин., в СНГ - 5 м³/мин. Таким образом, удельный расход воздуха на 1 л.с. мощности двигателя в зарубежной и отечественной практике колеблется в диапазоне от 0,7 до 7,1 м³/мин, что зависит от ряда условий: качества дизельного топлива; технического состояния ДВС; систем газоочистки [41].

Выхлоп вредных газов зависит от расхода топлива и системы очистки. Причем главным фактором загрязнения рудничной атмосферы является показатель расхода топлива. Катализаторы также значительно снижают содержание вредных примесей в выхлопных газах, при этом некоторые типы катализаторов - в 10-20 раз.

Приведенная таблица 1.2 и рисунок 1.2 для различных типов машин с ДВС показывает, что расход топлива y не является линейной функцией от мощности двигателя x . Зависимость расхода топлива от мощности двигателя (как видно из рисунка 1.2) может быть описана экспоненциальной функцией $y = 0,8445e^{0,0194x}$ с коэффициентом корреляции $R^2 = 0,53$, что говорит об отсутствии значимой статистической связи между указанными параметрами.

Наибольшее количество вредностей дают машины большой мощности, работающие в постоянном режиме – это погрузочно-доставочные машины (ПДМ) и шахтные самосвалы (ШС). Максимальная мощность ПДМ порядка 80-90% развивается при зачерпывании с подъемом горной массы, в дальнейшем при перемещении и разгрузке 20-30%.

Таким образом, на основании выполненного анализа состояния исследований по теме диссертации, можно констатировать, что комплекс

мероприятий по обеспечению нормальной атмосферы при эксплуатации дизельного оборудования проводится по двум основным направлениям:

- снижение токсичности выхлопных газов средствами нейтрализации вредных примесей, вывод из эксплуатации машин, не отвечающих экологическим нормам на основании диагностических показателей, поддержание хорошего технического состояния двигателей внутреннего сгорания.

- снижение содержания вредных веществ в рудничной атмосфере средствами вентиляции путем сбалансированного и точного распределения воздуха, методически оправданных расчетных расходов и других вентиляционных маневров.

Снижение концентрации вредных веществ методом увеличения расхода воздуха не всегда является экономически оправданным и реализуемым.

Таблица 1.2 – Зависимость расхода топлива от мощности двигателя (информация из доступных источников)

Тип применяемого оборудования с дизельным двигателем	Паспортная мощность двигателя, (л.с.)	Паспортный расход топлива при максимальном режиме нагрузки, (л/час)	Расход топлива ДВС на 1л.с. мощности двигателя, (л/час/л.с.)
CAT R1300	167,28	20	0,12
ТОРО-М6	184,96	17	0,092
ТОРО - 006	184,96	20	0,108
ТОРО-301	88,4	17	0,192
SWT заправщик	115,056	13	0,113
УАЗ Курьер	77,52	8	0,103
Мицубиси L 200	136	7	0,052
СБУ Минибул А210	59,84	0,96	0,016
ЛК - 1	115,056	12	0,104
ТОРО - 301	163.2	17	0,104
SPRAYMEC6050	88,4	12	0,136
UTIMEC 6300 MIXER	119,68	12	0,100
СОЛОМАТИК-720	59,84	0,96	0,016
SOLO 5-7F1503	74,8	0,96	0,013
SOLO DL 430-7	59,84	1,96	0,032
ЛК - 1	115,056	12	0,104
SWT доставочная машина	115,056	13	0,113

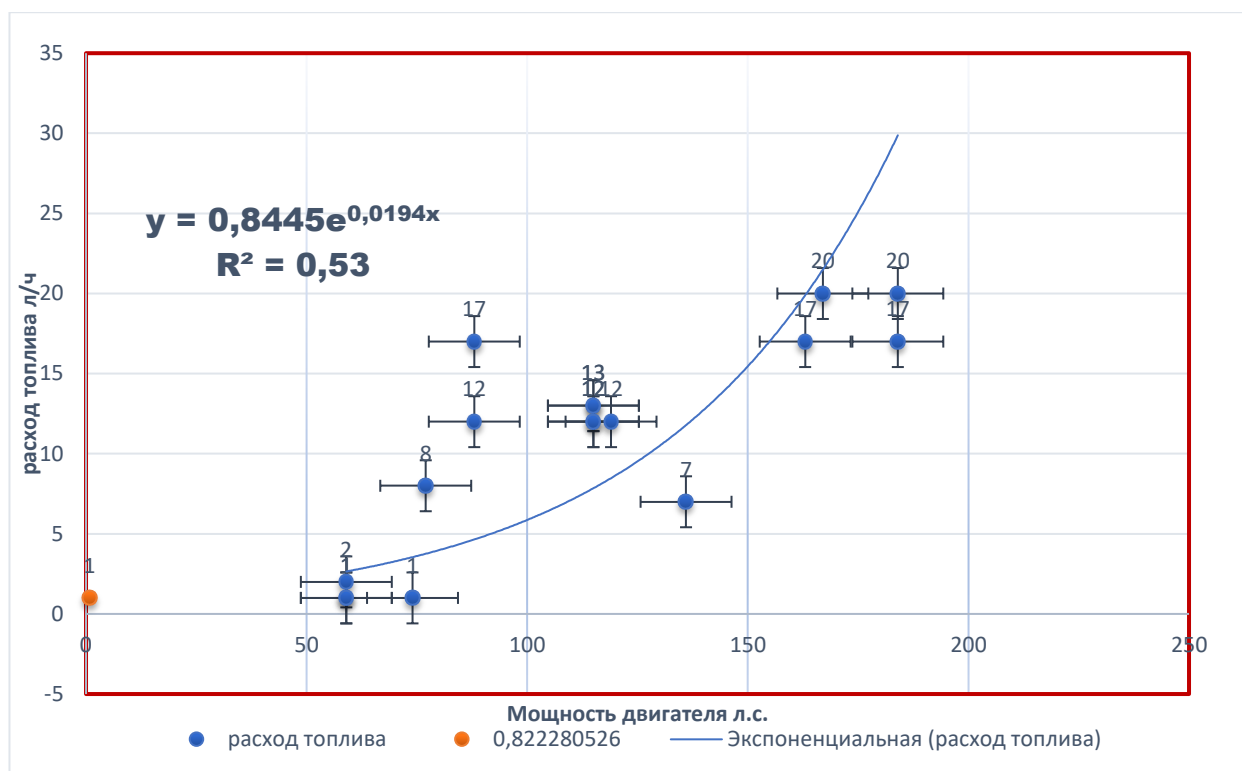


Рисунок 1.2 – Зависимость расхода топлива от мощности двигателя (усредненная)

Гораздо эффективнее работают методы снижения токсичности и/или объемов выхлопных газов. Мочевину как азотсодержащее органическое соединение используют в качестве добавки к дизельному топливу с целью снизить выбросы вредных веществ в атмосферу совместно с технологией селективного каталитического восстановления (СКВ) с образованием непосредственно азота, и воды [28]. Технология SCR (избирательная каталитическая нейтрализация) основывается на очистке отработавших газов за счет добавления раствора мочевины AdBlue с распадом окислов азота на газообразный азот и водяной пар.

Большинство отечественных и зарубежных исследователей сходятся во мнении, что расчет воздуха по фактору выхлопных газов следует производить по фактической фактическому объему их выделения - фактической газовости двигателей, но универсальной методики определения данного показателя на сегодняшний день не существует, и норма подачи свежего воздуха на единицу мощности двигателя в разных странах разная, причем дифференцируется по

типам оборудования и степени очистки газов. Поскольку этот вопрос является очень важным и с точки зрения обеспечения безопасного состава рудничной атмосферы, и с точки зрения энергоэффективности предприятий, его решение является актуальной задачей, требующей научно обоснованного решения.

1.5. Задачи исследования

Проведенные исследования показали, что на предприятиях с существенно различными технологическими процессами имеют место общие проблемы в отношении качества воздушной среды на рабочих местах [86].

Полученные результаты говорят о высоких рисках профессиональных заболеваний горнорабочих в результате воздействия вредных примесей в рудничном воздухе и о необходимости исключения из технологических циклов машин с предварительными признаками неисправностей [86]. В связи с этим, на современных рудниках следует уделять особое внимание эффективности системы вентиляции и совершенствованию методов и средств контроля параметров состояния рудничной атмосферы и методов диагностики машин с ДВС.

На основании результатов выполненного анализа нормативной базы в части расчетов требуемого расхода воздуха при эксплуатации самоходного оборудования с ДВС в горных выработках обоснована актуальность темы диссертации для высокопроизводительных рудников. Целью данной работы является создание научно-методических основ расчёта необходимого количества воздуха при работе машин с ДВС большой мощности, учитывающих параметры протекания аэрогазодинамических процессов дисперсии выхлопных газов на основе достоверной оценки их фактического объема.

Для достижения поставленных целей сформулированы следующие **задачи исследования:**

1. Анализ методов расчета расхода воздуха для горных выработок, в которых используется оборудование с ДВС.

2. Анализ методов и способов определения фактического объема выхлопных газов (фактической газовой) ДВС.
3. Установление закономерностей распространения выхлопных газов - динамики их объемов и концентраций, - в процессе эксплуатации оборудования с ДВС в горных выработках высокопроизводительных подземных рудников.
4. Анализ теоретических описаний процесса диффузии выхлопных газов в подземных горных выработках для установления основных параметров, определяющих закономерности их переноса.
5. Разработка математических моделей для исследования закономерностей переноса выхлопных газов в горных выработках при движении оборудования с ДВС.
6. Разработка методики оценки фактической газовой оборудования с ДВС.
7. Разработка методики расчета требуемого расхода воздуха для проветривания рудников, в которых эксплуатируются ДВС.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕНОСА ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ РУДНИКОВ

2.1 Обоснование методики исследований

Диффузия выхлопных газов в турбулентных вентиляционных потоках в горных выработках – сложный аэрогазодинамический процесс, описываемый системой дифференциальных уравнений, решение которых зависит от граничных и начальных условий их реализации. Важнейшим показателем, определяющим параметры этих процессов, является коэффициент турбулентной диффузии. Экспериментальное определение коэффициентов диффузии в натурных условиях - достаточно трудоемкий процесс, осложняемый множеством случайных возмущений в системе вентиляции рудника, связанных с различными технологическими операциями. Изучение процессов диффузии с целью установления закономерностей распространения выхлопных газов от движущихся источников в горных выработках наиболее эффективно осуществлять с использованием численного объемного моделирования аэрогазодинамических процессов, что позволяет рассмотреть большое число возможных вариантов в широком диапазоне режимов движения.

Кроме того, объемное динамическое моделирование позволяет визуализировать результаты расчетов, представляя их в удобном для восприятия и последующего анализа виде.

Адекватность компьютерной модели можно обеспечить сочетанием численного математического моделирования и полевых исследований – для обоснования граничных и начальных условий моделирования и последующей верификации результатов в натурных условиях. Именно это сочетание натурных исследований и численных методов позволяет создавать компьютерные модели, обеспечивающие высокую сходимость результатов, что отмечено в работах ученых МГИ, ГИ УрО РАН, КНЦ РАН [45, 54, 69].

Основой для трехмерного компьютерного моделирования являются уравнения, выражающие законы сохранения массы, импульса, энергии и масс компонентов в рассматриваемом малом контрольном объеме (методом конечных элементов или объёмов). В данной работе использован метод численного моделирования процессов переноса, реализованный в программном комплексе Ansys CFD.

ANSYS CFD – мощный инструмент для оптимизации процесса разработки и технологической подготовки в области вычислительной динамики жидкостей и газов [99]. Он совмещает в себе передовую технологию решения дифференциальных уравнений с современным пользовательским интерфейсом и адаптивной архитектурой, что делает этот инструмент доступным как для разработчиков, владеющих общими инженерными знаниями, так и для специалистов в области гидродинамики, работающими с моделью и ее свойствами на глубоком уровне. CFD позволяет детально изучить оборудование и процессы тепломасспереноса, повысить эффективность, увеличить срок службы и оптимизировать параметры.

Для задания граничных и начальных условий в компьютерной модели необходимо провести полевые исследования фактической газовой среды дизельного оборудования. С этой целью необходимо разработать методику натурных экспериментов по изучению распространения выхлопных газов от работающего дизельного оборудования в условиях рудника.

2.2. Теоретическое описание процессов переноса выхлопных газов

2.2.1 Уравнение количества движения

Согласно второму закону Ньютона, выделенный объем воздуха приводится в движение с ускорением под влиянием суммы всех действующих сил, т.е. сила инерции уравновешивается силами

$$\rho \frac{DU}{Dt} = P + G + R + A + F, \quad (2.1)$$

где G - силы градиента давления; P и F - массовые силы; A – сила трения;

R – сила Кориолиса.

При этом поступательное движение объема воздуха обеспечивают силы градиента давления G и массовые силы P и F , а силы трения и Кориолиса тормозят или отклоняют движение.

Применение второго закона Ньютона к жидкости, протекающей через бесконечно малый фиксированный контрольный объем, приводит к уравнению количества движения

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho V) + \nabla \cdot \rho V V = \rho F + \nabla \Pi_{if}, \quad (2.2)$$

Первый член этого уравнения дает отнесенное к единичному объему изменение количества движения в контрольном объеме за единицу времени. Второй член есть отнесенное к единичному объему изменение количества движения в контрольном объеме за счет конвекции в единицу времени. Заметим, что $\rho V V$ – тензор и второй член можно разложить на два слагаемых:

$$\nabla \cdot \rho V V = \rho V \nabla V + V(\nabla \cdot \rho V). \quad (2.3)$$

Когда это выражение подставляется в уравнение (2.2), то с использованием уравнения неразрывности последнее упрощается и уравнение количества движения принимает вид

$$\rho \frac{DV}{Dt} = \rho F + \nabla \Pi_{if}, \quad (2.4)$$

Первый член в правой части уравнения (2.4) есть отнесенная к единице объема массовая сила. Чаще всего это – сила тяжести. Тогда сила F , отнесенная к единичной массе, равна ускорению свободного падения g

$$\rho F = \rho g, \quad (2.5)$$

Второй член в правой части уравнения (2.4) дает отнесенные к единице объема поверхностные силы. Эти силы суть механические напряжения, действующие на выделенный жидкий объем со стороны внешней по

отношению к нему жидкости. Они образованы нормальными и сдвиговыми напряжениями и задаются компонентами тензора напряжений Π_{if} .

Приведенное выше уравнение выписано для общего случая и пригодно как для течений с разрывами, так и без таковых. Но, как только для тензора напряжений мы принимаем какую-либо аппроксимацию, уравнение (2.2) теряет свою общность. Для всех газов, которые можно считать сплошной средой, и большинства жидкостей замечено, что напряжение в некоторой точке линейно зависит от скорости деформации жидкости. Такая жидкость называется ньютоновской. При этом допущении можно вывести общий закон деформации (Schlichting, 1968), который связывает тензор напряжений с давлением и компонентами скорости. В тензорных обозначениях он записывается в виде

$$\Pi_{if} = -p\delta_{if} + \mu \left[\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{if} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right], \quad (2.6)$$

где δ_{if} – символ Кронекера ($\delta_{if} = 1$, если $i = j$, и $\delta_{if} = 0$, если $i \neq j$);

u_1, u_2, u_3 – компоненты вектора скорости V ;

x_1, x_2, x_3 – координаты радиус-вектора точки;

μ – коэффициент динамической вязкости;

μ' – второй коэффициент вязкости. Эти два коэффициента вязкости связаны с коэффициентом объемной вязкости χ выражением

$$\chi = \frac{2}{3} \mu + \mu', \quad (2.7)$$

Обычно коэффициент объемной вязкости полагают пренебрежимо малым, за исключением тех случаев, когда изучается структура ударных волн, а также поглощение и затухание акустических волн. Поэтому в дальнейшем мы будем им пренебрегать. При $\chi = 0$ второй коэффициент вязкости станет равным

$$\mu' = -\frac{2}{3} \mu, \quad (2.8)$$

Подставляя (3.6) в (3.2), получаем уравнение Навье – Стокса:

$$\rho \frac{DV}{Dt} = \rho F - \nabla p + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{if} \frac{\partial U_k}{\partial x_k} \right], \quad (2.9)$$

В декартовой системе координат имеем три скалярных уравнения Навье – Стокса:

$$\begin{aligned} \rho \frac{Du}{Dt} &= \rho F_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{2}{3} \mu \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \\ &+ \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right], \\ \rho \frac{Dv}{Dt} &= \rho F_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{2}{3} \mu \left(2 \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + \\ &+ \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right], \\ \rho \frac{Dw}{Dt} &= \rho F_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{2}{3} \mu \left(2 \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + \\ &+ \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right]. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Уравнения Навье–Стокса образуют ту базу, на основе которой была развита полная теория вязких течений. Термин уравнения Навье–Стокса относится к проекциям уравнений движения (2.9) на оси координат. Однако в систему уравнений Навье–Стокса включают еще и уравнения неразрывности и энергии. Основой теоретической базы для расчета турбулентных течений в вычислительной гидродинамике являются осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье–Стокса.

$$V_x = \bar{V}_x + V_{x\Pi},$$

$$V_y = \bar{V}_y + V_{y\Pi}, \quad (2.11)$$

$$V_z = \bar{V}_z + V_{z\Pi}.$$

где усредненная скорость получается, например, для V_x :

$$V_x = \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} V_x dt, \quad (2.12)$$

Мгновенная концентрация газа в воздухе C также выражается как сумма усредненной во времени и пульсационной составляющих:

$$C = \bar{C} + C_{\Pi}. \quad (2.13)$$

Течение несжимаемой жидкости с постоянным коэффициентом вязкости μ описывается упрощенной формой уравнения (2.9), а именно

$$\rho \frac{DV}{Dt} = \rho F - \nabla p + \mu \nabla^2 V, \quad (2.14)$$

Уравнение (2.14) получено в предположении постоянной вязкости, которое может оказаться неоправданным для неизотермических течений, когда вязкость сильно зависит от температуры. С другой стороны, вязкость газов обнаруживает умеренную зависимость от температуры и уравнение (2.14) хорошо описывает течение несжимаемого газа.

2.2.2 Уравнение неразрывности

Для замыкания уравнения Навье-Стокса, составляющего основу всей гидродинамики, предлагаем использовать уравнение неразрывности (сплошности, непрерывности), в общем виде для сжимаемых газов в эйлеровом представлении, здесь плотность есть произвольная функция (аналитическая) пространства и времени. Это выражение должно быть равно уменьшению или увеличению во времени массы объема благодаря изменению

плотности по Прандтлю. Применяя закон сохранения массы к газу, протекающему через фиксированный бесконечно малый контрольный объем, получим уравнение неразрывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \cdot U) = 0, \quad (2.15)$$

или в координатной форме

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + U \frac{\partial \rho}{\partial x} + V \frac{\partial \rho}{\partial y} + W \frac{\partial \rho}{\partial z} + \rho \cdot \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} \right) = 0 \quad (2.16)$$

где ρ – плотность газа, а U, V, W – скорость.

Уравнение (2.15) было выведено с использованием подхода Эйлера. В этом подходе фиксируется контрольный объем и рассматривается баланс жидкости, протекающий через его поверхность. В альтернативном подходе Лагранжа изменения свойств некоторого жидкого элемента фиксируются наблюдателем, движущимся вместе с этим элементом. В работе К.З. Ушакова [91] предлагается использовать при описании диффузии полуэмпирический метод, основанный на гипотезе Буссинеска о пропорциональности потока. Обычно в решении задач механики жидкости и газа использование подхода Эйлера предпочтительнее.

2.2.3 Уравнения сохранения энергии

Применение первого закона термодинамики к жидкости, протекающей через бесконечно малый фиксированный объем, приводит к уравнению энергии такого вида

$$\frac{\partial E_t}{\partial t} + \nabla \cdot E_t V = \frac{\partial Q}{\partial t} - \nabla \cdot q + \rho F \cdot V + \nabla(\Pi_{if} \cdot V), \quad (2.17)$$

где E_t – полная энергия единицы объема, задаваемая выражением

$$E_t = \rho \left(e + \frac{v^2}{2} + \text{потенциальная энергия} + \right) \quad (2.18)$$

где e – внутренняя энергия единицы массы, ρ – плотность газа, V – скорость движения воздуха.

Первый член в левой части уравнения (2.17) есть изменение полной энергии единицы контрольного объема в единицу времени, тогда как второй – изменение полной энергии за счет конвекции через контрольную поверхность (в единицу времени и отнесенная к единице объема). Первый член в правой части уравнения (2.17) есть скорость тепловыделения внешних источников, отнесенная к единице объема, а второй член (∇q) – тепловые потери за счет теплопроводности через контрольную поверхность в единицу времени (отнесенные к единице объема). Закон Фурье для переноса энергии за счет теплопроводности гласит, что поток тепла выражается через градиент температуры следующим образом:

$$q = -k \nabla \cdot T, \quad (2.19)$$

где k – коэффициент теплопроводности и T – температура.

Третий член в правой части (2.17) есть отнесенная к единице объема работа массовых сил, совершаемая над контрольным объемом. Четвертый — отнесенная к единичному объему работа поверхностных сил, совершаемая над контрольным объемом. Очевидно, что уравнение (2.17) есть первый закон термодинамики, записанный для контрольного объема, т.е. изменение энергии системы равно подводимому к системе теплу плюс совершаемая над системой работа массовых и поверхностных сил [2, 4, 25].

В декартовой системе координат уравнение (2.17) запишется в дивергентном виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_t}{\partial t} - \frac{\partial Q}{\partial t} - \rho(F_x u + F_y v + F_z w) + \frac{\partial}{\partial x}(E_t u + p u - u \tau_{xx} - v \tau_{xy} - w \tau_{xz} + q_x) + \\ + \frac{\partial}{\partial y}(E_t v + p v - u \tau_{xy} - v \tau_{yy} - w \tau_{yz} + q_y) + \end{aligned}$$

$$+ \frac{\partial}{\partial y} (E_t w + p w - u \tau_{xz} - v \tau_{yz} - w \tau_{zz} + q_z), \quad (2.20)$$

$$\frac{\partial (p h_{\text{tot}})}{\partial t} - \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U h_{\text{tot}}) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + \nabla \cdot (U \cdot \tau) + U \cdot S_M + S_E, \quad (2.21)$$

где

$$\tau = \mu (\nabla U + (\nabla U)^T) - \frac{2}{3} \delta \nabla U, \quad (2.22)$$

$$h_{\text{tot}} = h + \frac{1}{2} U^2, \quad (2.23)$$

ρ – плотность газа, U – скорость движения воздуха.

2.3. Обоснование математической модели

Рассмотренные теоретические описания процессов переноса приняты в качестве основы численного моделирования для установления зависимостей, требуемых для расчета параметров проветривания горных выработок с ДВС. В основе проведения численных расчетов лежат трехмерные модели, которые можно считать виртуальными аналогами аэрогазодинамических систем [39, 42, 43]. Как показано в работах [102, 105], одной из важных задач для получения адекватных результатов моделирования является максимально точное приближение всех реальных параметров горных выработок и размещаемого в них горного оборудования к размерам в модели.

Объектом исследований в работе являются горные выработки рудника с учетом оборудования, которое в них располагается (машины с ДВС). Основными элементами, определяющими аэродинамику и процесс задымления, являются горные выработки и горное оборудование [39, 42, 43].

Для проведения численных расчетов достаточной является разработка виртуального аналога горной выработки (сети горных выработок) с размещаемым в ней горным оборудованием - машинами с ДВС. На рисунках 2.1-2.3) приведены рассматриваемые модели для двух типов машин, которые

более чем на 90 % отражают фактическую геометрию объекта исследования. Мелкими деталями (размер которых менее 0,1 м) при проведении расчетов пренебрегли, так как их влияние на аэродинамику не существенно [102].

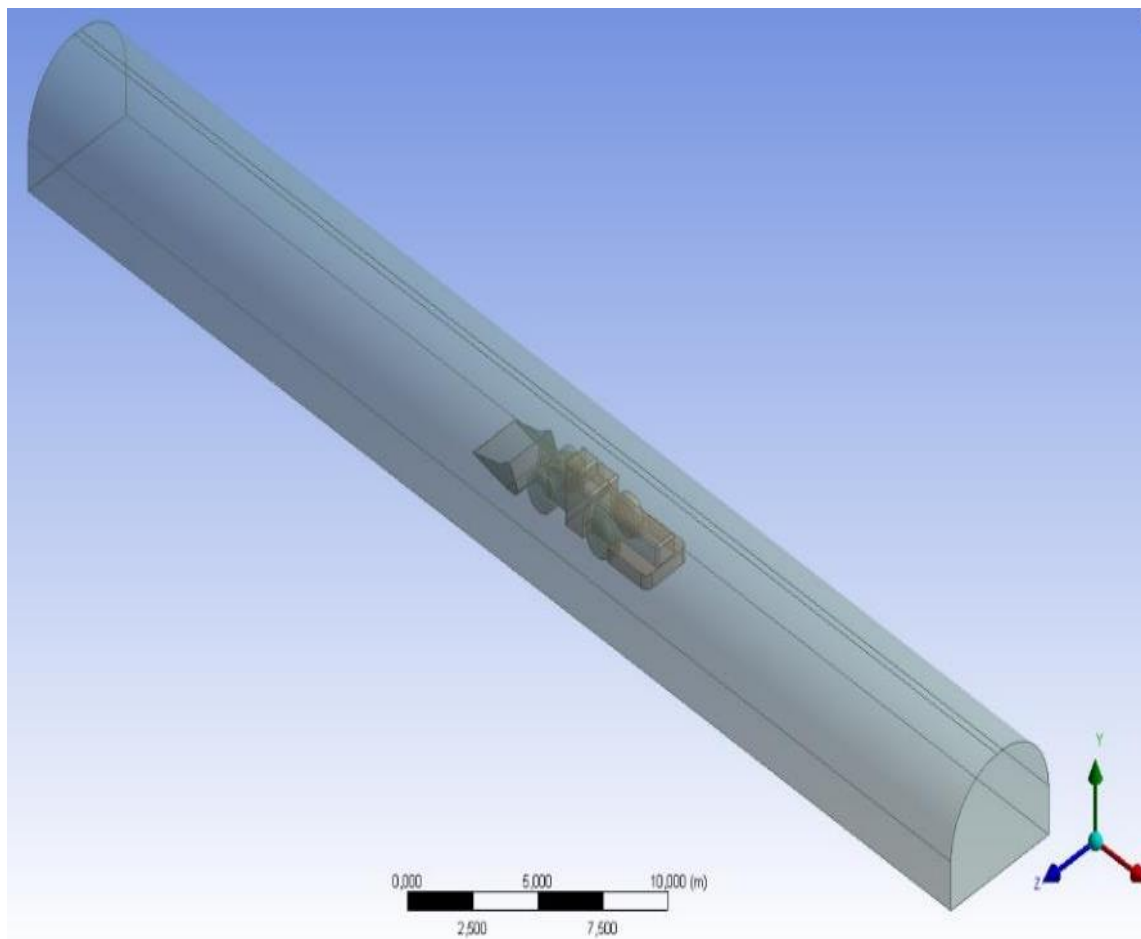


Рисунок 2.1 – Трехмерная модель горной выработки и ЛН 410

Для описания тепломассопереноса в горных выработках широко используются уравнения Навье-Стокса с использованием программного комплекса ANSYS CFD. Теоретической основой 3D-модели являются уравнения количества движения, неразрывности, сохранения энергии и уравнения физических моделей турбулентности. Движение воздуха в горных выработках всегда турбулентное, т. к. с увеличением турбулентности приводит к улучшению смешивания и теплообмена, увеличивает перепад давлений, поэтому учет турбулентности при моделировании очень важен [43].

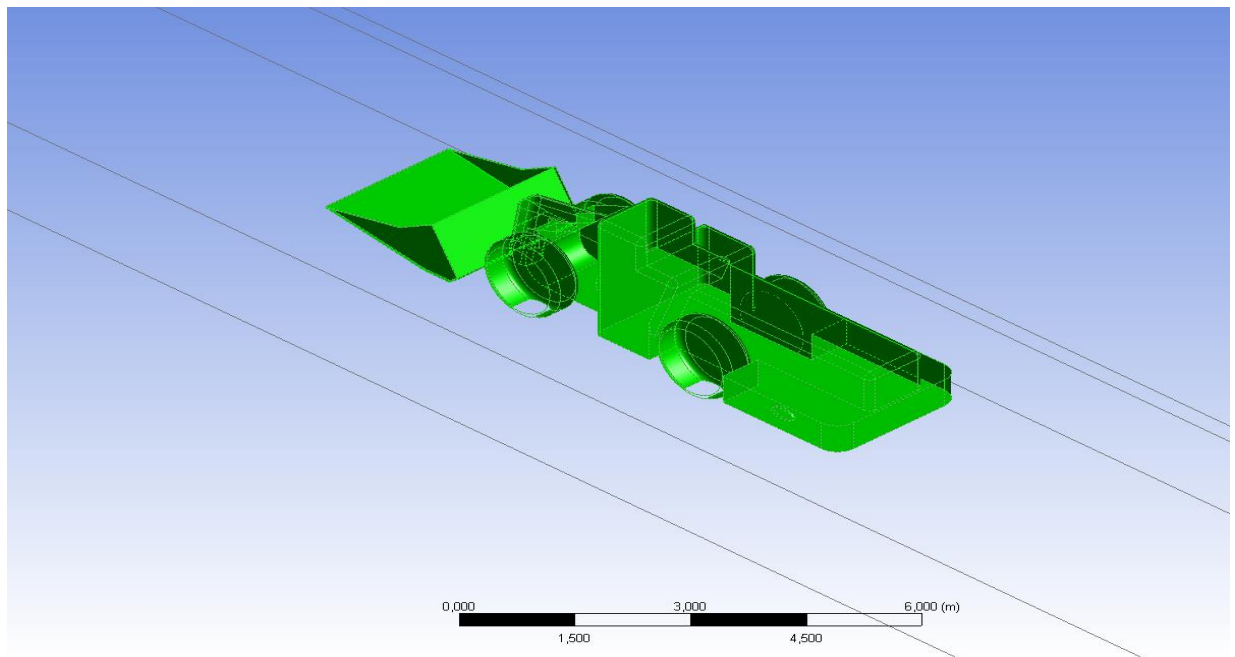


Рисунок 2.2 – Трехмерная модель горной выработки и LH 310

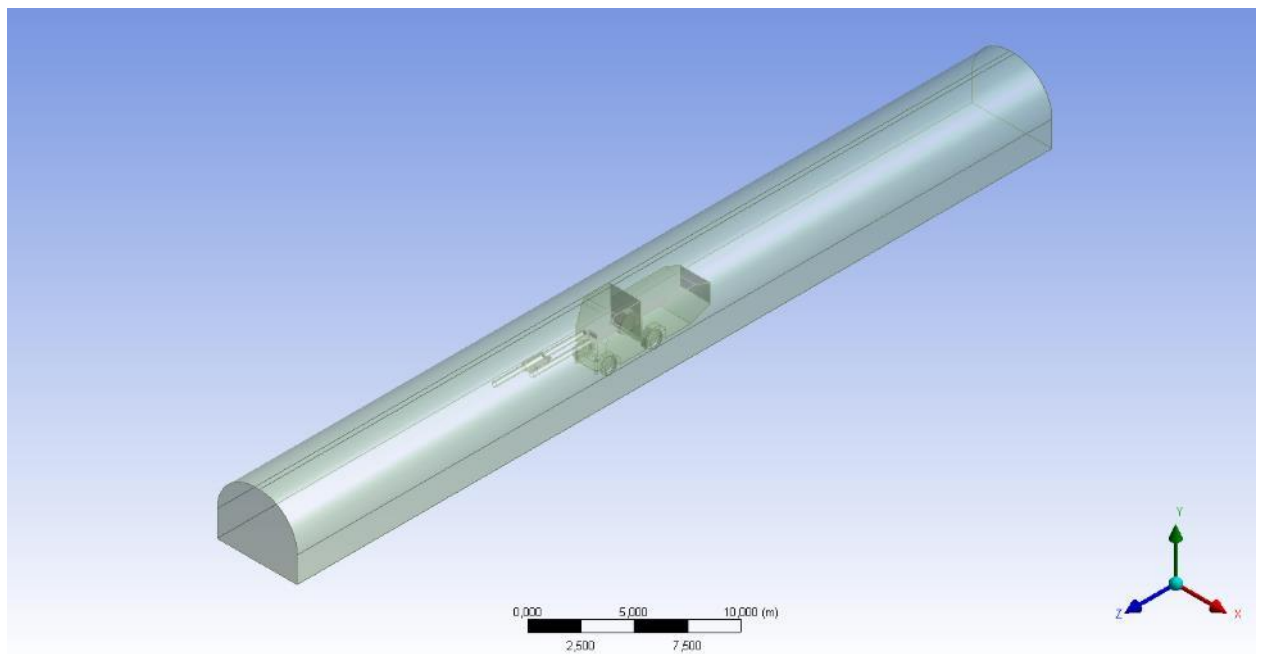


Рисунок 2.3 – Трехмерная модель горной выработки и Sandvik DD 311

Прямое численное моделирование уравнений Навье-Стокса для турбулентного течения требует мощных вычислительных ресурсов, чем те, что доступны в настоящее время. Поэтому обычно используют стандартные модели турбулентности, что позволяет значительно снизить размерность задач.

В работе [43] показано, что из большого количества доступных моделей турбулентности некоторые имеют очень специфическое применение, другие могут использоваться для широкого класса течений с приемлемым уровнем достоверности. В данной работе, как и в большинстве случаев при решении задач промышленной вычислительной гидродинамики, принята стандартная $k-\varepsilon$ модель, которая обеспечивает приемлемый баланс между трудоемкостью расчета и точностью вычислений. Скорость и масштаб длины определяются из отдельных уравнений переноса (турбулентная кинетическая энергия, k , и диссипация турбулентных вихрей, ε). Данные параметры задаются в краевых условиях.

Важным вопросом при проведении моделирования является порядок разбиения трехмерной модели на элементарные объемы. Как показали исследования, для вычисления аэрогазодинамики оптимальными являются элементы, представленные тетраэдрами, поскольку их автоматическая генерация со сгущением в местах сужения позволяет повысить скорость проведения вычислений за счет быстрой сходимости по невязкам и количества расчётных точек [98, 43, 89].

Расчет высоты первого слоя элементов (пристеночного слоя) производится в следующей последовательности [43]. Сначала рассчитывается число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu}, \quad (2.24)$$

где ρ – плотность воздуха (в расчетах принимается равной $1,23 \text{ кг/м}^3$);

v – скорость движения воздуха (по результатам анализа ветрового потока);

d – гидравлический диаметр горной выработки определяется по формуле $d = 4 \cdot S / P$, где сечение выработки $S = 20,3 \text{ м}^2$, а периметр равен $P = 17,1 \text{ м}$, тогда $d = 4 \cdot S / P = 4 \cdot 20,3 / 17,1 = 4,75 \text{ м}$;

μ – динамическая вязкость воздуха (при температуре воздуха 26°C она равна $0,0000181 \text{ Па/с}$).

Тогда

$$Re = \frac{1,23 \cdot 0,25 \cdot 4,75}{0,0000181} = 80697.$$

Затем для оценки коэффициента поверхностного трения (c_f) используется эмпирическая зависимость для полностью развитого турбулентного потока [5, 119]:

$$c_f = [2 \log_{10}(Re) - 0,65]^{-2,3} = 0,006. \quad (2.25)$$

После вычисления коэффициента поверхностного трения вычисляется напряжение сдвига стенки

$$\tau_w = 0,5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot c_f = 0,5 \cdot 1,23 \cdot 0,25^2 \cdot 0,006 = 0,00023 \text{ Па}. \quad (2.26)$$

Зная напряжение сдвига стенки, может быть вычислена скорость трения

$$u_\tau = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} = \sqrt{\frac{0,00023}{1,23}} = 0,0137, \text{ м/с}. \quad (2.27)$$

Уравнение для определения y_+ [3] может быть преобразовано для определения высоты центра элемента от поверхности с учетом того, что для моделей турбулентности $k-\epsilon$ $30 \leq y_+ \leq 300$ [8] при $y_+ = 100$,

тогда

$$y_p = \frac{y_+ \cdot \mu}{u_\tau \cdot \rho} = \frac{100 \cdot 0,0000181}{0,0137 \cdot 1,23} = 0,1 \text{ м}. \quad (2.28)$$

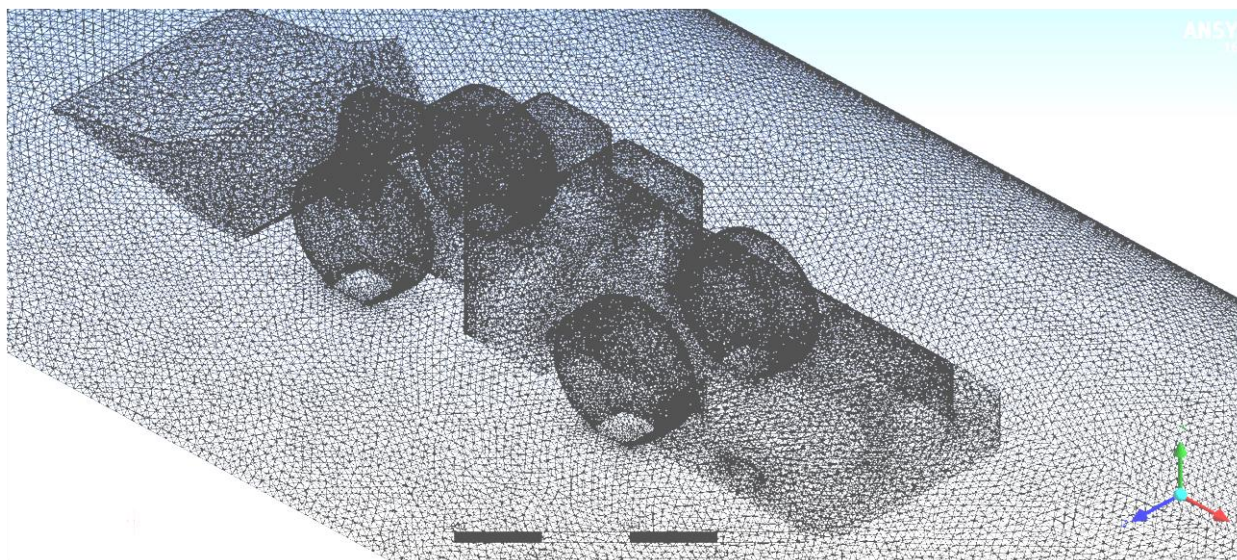
Это значение можно использовать для определения размера высоты первой ячейки от (бортов, почвы и кровли) при создании начальной сетки [62]:

$$y_H = 2 \cdot y_p = 0,2 \text{ м}. \quad (2.29)$$

При проведении моделирования трехмерная модель разбивалась на элементарные объемы, представленные тетраэдрами для автоматической генерации со сгущением в местах сужения. Для представленной трехмерной модели с учетом проведенных исследований была построена сетка с элементом 0,2 м. Общее количество элементов равно 4032002, количество узлов – 1378165. На поверхностях с одним из линейных параметров меньше 0,1 м делалось сгущение сетки, чтобы на данной линии было минимум 5 узлов [89].

Для описанной модели движения самоходной машины в горной выработке, представленной на рисунке 2.4, с учетом вышесказанного, была построена сетка. Элемент ее представлен на рисунке 2.4 б.

а)



б)

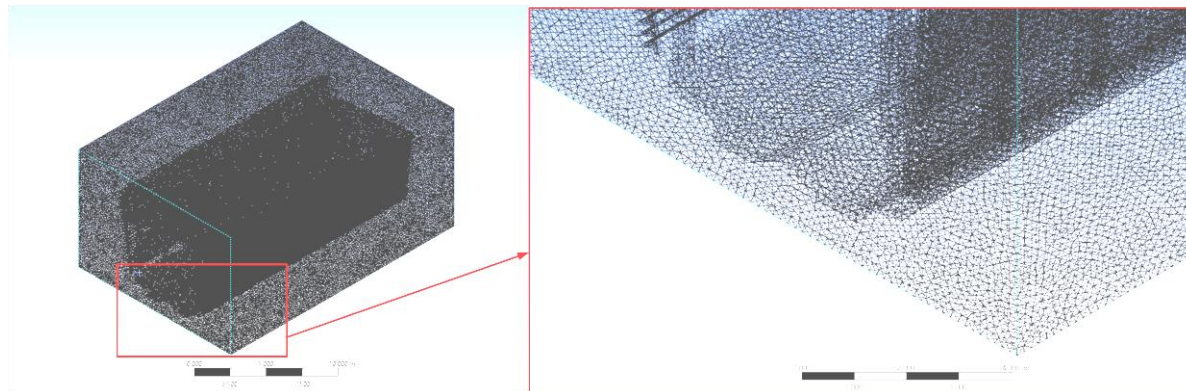


Рисунок 2.4 – Вид применяемой расчетной сетки: а) вид полной модели, разбитой на элементарные объемы, б) объемное представление расчётной сетки

Важнейшая задача моделирования процессов газопереноса - задание краевых условий и верификации компьютерной модели [42]. Ее решение включает несколько последовательных этапов:

- сбор и анализ необходимых данных, характеризующих горно-геологические условия, проектные решения и показатели принятой технологии и оборудования; проведение натурных измерений параметров проветривания, рассчитываемых при моделировании (фактические значения скоростей движения воздуха, давлений, температур, влажности, объемов и концентраций газов, и др.);

- предварительные расчёты параметров проветривания для исследуемого объекта, расчёт воздухораспределения и т.д.;

- измерение габаритов горного и вентиляционного оборудования, а геометрических параметров мест его установки и размеров горных выработок;

- создание трёхмерной геометрической модели виртуального аналога моделируемой аэрогазодинамической системы в масштабе 1:1, осуществляемое на основе проектной документации обследуемого объекта;

- выбор системы уравнений, модели турбулентности, расчетной сетки и определение краевых условий на основании параметров, полученных при натурных измерениях;

- выполнение численных расчётов, при необходимости – корректировка параметров моделей, краевых условий, изменение расчётной сетки, оценка сходимости расчётов и сравнение результатов расчетов с фактическим состоянием.

На основе верифицированной модели возможно осуществление исследований в диапазоне определяющих параметров, полученных при предварительном анализе, с учётом различных возможных ситуаций для обследуемого объекта. Анализ полученных результатов позволяет выявить закономерности влияния определяющих факторов, выбрать оптимальные режимы проветривания, при которых значения скорости движения воздуха, температуры и концентрации контролируемых газов, соответствуют допустимым и др..

По результатам моделирования предусмотрена разработка методики расчета расхода воздуха по фактору «вредные газы дизельного оборудования»

для проветривания рудников, отвечающая тем требованиям, которые поставлены в настоящей работе: учет топологических и технологических факторов; учет динамики работы дизельного двигателя, обусловленный характером работы и выполняемыми операциями; возможность дифференцировано использовать в расчетной зависимости изменяющиеся от внешних условий и технического состояния двигателей параметров газовой среды; расчетная зависимость должна учитывать разжижение и вынос вредных примесей турбулентным воздушным потоком и фактор перемещения дизельного оборудования в горных выработках; обладать удобством использования при расчетах вентиляции на стадии проектирования и в реальных условиях эксплуатации дизельного оборудования.

Адекватность модели обеспечивается заданными краевыми условиями решения. Чем лучше они отображают объект исследования, тем точнее будет результат. Поэтому граничные и начальные условия исследуемых в модели процессов тепломассопереноса целесообразно определять на основании результатов натурных исследований состава, температуры и скорости движения выхлопных газов в привязке к технологическим процессам рудника. Этим исследованиям посвящена следующая глава диссертации.

Выводы:

1. Приведено обоснование методики проведения исследований для решения, сформулированных выше задач, заключающейся в использовании численного объемного моделирования для установления взаимосвязей (зависимостей) параметров, определяющих эффективность проветривания горной выработки; при этом адекватность компьютерной модели должна обеспечиваться на основе комплекса натурных исследований в условиях эксплуатации подземного рудника.
2. На основе анализа теоретического описания переноса выхлопных газов вентиляционными потоками, показано, что основные параметры этого

процесса определяются решением системы уравнения Навье-Стокса, включающих уравнения количества движения, неразрывности и сохранения энергии.

3. Выполнено обоснование математической модели для численного моделирования исследуемых процессов.
4. Для задания граничных и начальных условий в компьютерной модели необходимо провести полевые исследования фактической газовой дизельного оборудования.

ГЛАВА 3. НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕНОСА ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ОТ МАШИН С ДВС

3.1 Анализ используемых методик определения фактической газовойности

Натурными экспериментами в полевых условиях решались следующие две задачи: разработка методики определения фактических выбросов двигателей в условиях эксплуатации и исследование параметров процессов газопереноса при работе источников выхлопных газов для определения факторов, оказывающих наибольшее влияние на состояние атмосферы в выработках с целью задания краевых условий и верификации результатов моделирования.

Основными источниками загрязнения воздуха рабочей зоны вредными газами и пылью в условиях подземного рудника являются [84]:

- взрывные работы;
- работа дизельного оборудования;
- процессы окисления и подземные пожары;
- основные производственные процессы при добыче полезных ископаемых.

При этих процессах воздух рабочей зоны рудника насыщается такими ядовитыми газами, как оксид углерода, оксиды азота, акролеин, формальдегид, - которые могут вызывать патологические изменения в организме человека: нарушение регуляции дыхания, нарушение функции гемоглобина крови и прочие негативные реакции [84].

Процесс сгорания дизельного топлива очень сложен для формализации его описания из-за нестационарной, неоднородной и турбулентной природы. Эта сложность делает фундаментальное понимание местоположения, сроков и механизмов накопления загрязняющих веществ реальной проблемой [42], что обусловило выбор метода натурных исследований с последующим компьютерным моделированием для решения поставленных задач.

В результате работы дизельного двигателя при повышенной мощности (с подачей большого объема горючего) существенно возрастает образование сажи, образующейся при неполном сгорании топлива или при попадании его в смазочный материал. Сажа является одним из достоверных показателей повышенной газовойности двигателя.

В России имеется нормативный документ, устанавливающий гравиметрическую методику определения массовой концентрации сажи в пыли при аналитическом контроле промышленных выбросов в атмосферу и воздуха рабочей зоны [19, 20]. Метод основан на разложении навески пыли путем сжигания в атмосфере воздуха и определении массовой доли выгоревшей сажи взвешиванием остатка. Пылевую навеску получаем методом аспирации, при этом объем аспирируемого воздуха зависит от предполагаемого содержания сажи и определяется, по существу, необходимостью накопления на фильтре такого количества сажи, которого достаточно для надёжного взвешивания (не менее 5 мг) и не превышает пылеемкости применяемого фильтра. Выбор типа фильтров, применяемых для отбора проб, зависит от температуры газов в газоходе выхлопной системы и степени запылённости.

Рассмотрим еще один достоверный показатель фактической газовойности – дымность, которая характеризует степень поглощения светового потока, просвечивающего столб отработавших газов при помощи дымомеров.

Отбор проб отработавших газов из выпускного трубопровода самоходной подземной машины осуществляют с помощью специального устройства (пробоотборного зонда), называемого дымомером. Он позволяет оперативно измерить дымность отработавших газов от любого технологического оборудования, оснащенного двигателями внутреннего сгорания. Результат измерений выражается в единицах натурального показателя ослабления (коэффициента поглощения) и в единицах коэффициента ослабления.

Методы определения объема выхлопных газов, их дымности, а также фактических параметров содержания окислов азота, окислов углерода, углеводородов и дымности приведены в соответствующем межгосударственном стандарте [21] с оригинальными методиками определения коэффициента ослабления светового потока (показатель дымности ОГ, измеренный оптическим методом), выхлопных газов и системой пробоподготовки, с системой соотношения единиц измерения дымности. Их недостатком является то, что они методы больше подходят для проведения стендовых испытаний, многорежимны, с фиксацией нагрузки в процентах от максимальной, при этом рекомендуемые газоанализаторы однокомпонентны и требуют предварительной подготовки проб.

Рассмотрим положительные и отрицательные аспекты методик определения фактической газовой.

Одним из универсальных показателей, как отмечалось выше, является сажевое число, которое можно измерить различными экспресс-приборами, например Тесто-338. Использование анализатора сажевого числа позволяет оценить сажевое число с высокой точностью, до 0,1 (шкала Бакарака), - и при далее, на основе сравнительного анализа позволяет выходить на уровень экспресс-диагностики.

Сажевое число, определяется степенью почернения бумажного фильтра при прокачивании через него дымовых газов, проходящего диод-излучатель и фотодетектор. Измерение сажевого числа позволяет определить не только уровень наличия сажи, которая является катализатором многих химических процессов, разрушающих топливо-сжигающую систему и снижающих её КПД, но и качество распыла дизельного топлива через форсунки.

Промышленный электронный дымомер применяется для замеров выхлопа дизельных двигателей. По степени потемнения фильтра автоматически определяет FSN (дымовое число фильтра), единицы дымности по шкале Bosch, концентрация сажи в мг/м^3 и соответственно результаты сопоставимы с фактической газовой.

Предлагаемые варианты определения фактической газовой для двигателей внутреннего сгорания по [20] с нормируемыми параметрами удельных средневзвешенных выбросов оксидов азота, оксида углерода, углеводородов в г/(кВт.ч) предусматривают проведение испытаний на двигателе, установленном на испытательном стенде, оснащенном измерителем мощности и обеспечивающим точность измерений не ниже указанной в [33] по достаточно сложной схеме.

В работе Еремеевой А.М. [28] предлагается «Методика контроля содержания токсичных компонентов в отработавших газах дизельных двигателей», которая направлена на отбор проб, характеризующих состав неразбавленных отработанных газов, отбирающихся при работе двигателей в режиме холостого хода с максимальным числом оборотов. На стеклянные пробоотборники и резиновые камеры, предназначенные для отбора проб отработавших газов, должна быть нанесена маркировка. При отборе проб отработавших газов наборщик проб должен располагаться на входящей вентиляционной струе по отношению к выхлопу. 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. 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 шахтного транспорта, но соответственно не подходит для экспресс-диагностики в подземных условиях рудников и очень трудоемкая, при этом необходимо определение расхода выхлопных газов.

Другая методика, предложенная Е. В. Накаряковым в работе [62], предлагает использование замеров непосредственно в подземных условиях. Измерения производятся на прогретый двигатель в выработке длиной не менее 50 м, что обусловлено длиной машины и минимальным расстоянием от выхлопной трубы до места проведения замера. Измерения производятся двумя способами: отбором пробы выхлопных газов и экспресс-методом измерения концентраций газов при помощи газоанализаторов.

В процессе измерений горные машины поочередно заезжают в выработку со сквозным проветриванием. Осуществляются измерения концентраций газов из выхлопной трубы отбором проб и экспресс-методом на расстоянии 30 м от выхлопа машины по направлению движения воздуха в выработке.

Измерения производятся путем отбора проб выхлопных газов в полипропиленовые одноразовые шприцы объемом 160 мл. Производится отбор трех шприцев с одной машины. Отобранные пробы поднимаются на поверхность, где естественным путем охлаждаются до температуры атмосферы и принимают давление окружающей среды. На поверхности каждая из проб разбавляется свежим воздухом. Разбавление пробы воздуха производится так как предел измеряемой концентрации вредного вещества для применяемых индикаторных трубок значительно меньше фактического значения концентрации данного компонента в выхлопных газах ДВС. Разбавление пробы воздуха производится в соотношении 1:9 (100 мл – проба, 900 мл – свежий воздух). Разбавление проб осуществляется в герметичных металлических шприцах объемом 1,1 л. Разбавленная проба из металлического шприца прогоняется через индикаторную трубку, рассчитанную на объем 1 л. После снятия полученного значения со шкалы индикаторной трубки производится обратный пересчет на фактическую концентрацию исходя из соотношения разбавления для всех трех замеренных концентраций.

Представленная методика проведения натурных измерений концентраций вредных компонентов выхлопных газов техники с двигателями

внутреннего сгорания двумя методами: отбором проб из выхлопной трубы и экспресс-методом с использованием портативных газоанализаторов, - интересна, но может быть использована специалистами только с хорошей научно-лабораторной базой, а для повседневного практического использования на горных предприятиях сложна и требует достаточно квалифицированных замерщиков и инженеров.

В работе [23] представлен подход к комплексному исследованию газовой обстановки подземных рудников. Приводится описание предлагаемой методики проведения экспериментальных и лабораторных исследований в условиях подземных горных выработок. Экспериментальные исследования включают проведение общерудничной газовой съемки, локальные измерения газовыделений от работы самоходного дизельного оборудования и др.

Измерения в выработке предусматривали определение концентраций газов с учетом работы самоходной машины на холостом ходу и на максимальных оборотах двигателя [86]. Замеры произведены на свежей струе воздуха на расстоянии не менее чем 2 эквивалентных диаметра сечения выработки от СДО и на исходящей струе воздуха на расстоянии не менее чем 6 эквивалентных диаметров от СДО (рис. 3.1).

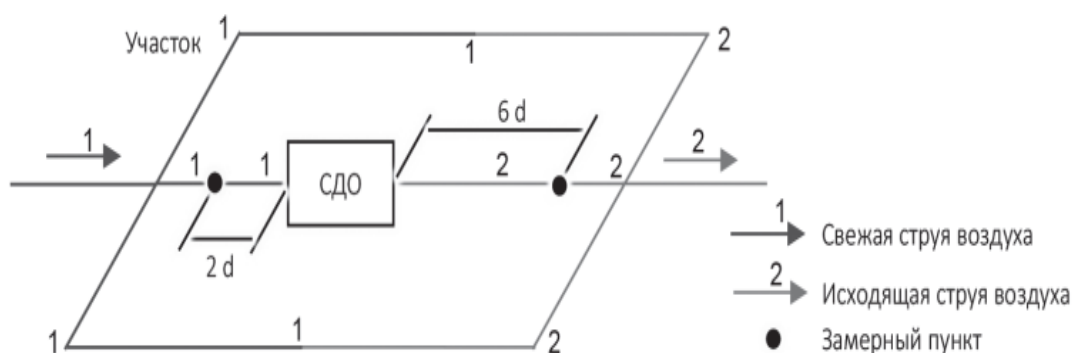


Рисунок 3.1 – Схематическое расположение замерных пунктов в сквозной выработке при измерении газовыделений от СДО [63]

В замерных пунктах при помощи портативных приборов фиксировались содержания CO , NO , NO_2 , а также расход воздуха в выработке. Кроме этого, с помощью шприцов объемом 150 мл с зажимами производился отбор проб выхлопных газов СДО, в дальнейшем с помощью индикаторных трубок на поверхности производится измерение концентрации CO и суммы окислов азота NO_x в выхлопных газах [62]. Отбор проб осуществлялся непосредственно на выходе из выхлопной трубы путем введения трубки-насадки шприца в поток выхлопных газов на холостом ходу и на максимальных оборотах двигателя.

Отдельным направлением можно выделить работы д.т.н. Уваровой В. А. в которых заложены методологические основы контроля пожароопасных и токсических свойств шахтных полимерных материалов. Автором был проведен большой объем лабораторных и опытно–промышленных испытаний и исследований пожароопасных и токсических свойств полимерных материалов и были установлены закономерности методологических подходов к процедурам классификации, идентификации, испытаний, установления классов опасности [90] в стационарных условиях и не описывают процессы в динамических исследованиях. Подземные машины с ДВС в большей части своих технологических процессов находятся в движении под нагрузкой и часто близко к максимальной; их движение происходит по выработкам с различными углами наклона, а процессы наполнения ковша происходят с газовыделением, отличающимся от стационарных режимов без нагрузки даже при максимальных оборотах ДВС.

Методики не учитывают диффузионного осреднения газовой смеси, учитывающего влияние продолжительности работы дизельной машины в режиме максимальной газовой смеси и интенсивности диффузионного перемешивания газов в воздушном потоке.

Стандартные методики определения вредных компонентов в выхлопных газах в условиях подземных рудников и современные стандарты анализа в воздухе рабочей зоны [21], вакуумно-химический метод измерения массовых

концентраций методом фотометрии [32] сложны в реализации программы экспресс-диагностики и выбраковки машин с предельными значениями газовой. Поэтому в данной работе была поставлена задача разработки методики определения газовой двигателей, обеспечивающей достаточную точность и оперативность в динамическом режиме в условиях их эксплуатации.

3.2 Выбор объектов для проведения экспериментов

Применение машин с неисправными двигателями резко снижает ресурс ДВС и влияет на состояние воздуха рабочей зоны, соответственно здоровья работников.

В определенные годы российский рынок самоходной техники для подземных работ был в основном рынком сбыта европейских поставщиков поэтому в основном выбраны европейские образцы горно-шахтной техники.

С появлением на рынке китайских производителей стало ясно, что они могут представить технику практически в любом диапазоне мощностей и областей применения. В начале поставок производитель не ориентировался в реалиях российских горняков и часто использовал «свои» стандарты безопасности, которые более лояльные по некоторым направлениям и отчасти не соответствовали требованиям ФНП РФ в области промышленной безопасности, но дальнейшее использование дизельных двигателей ведущих мировых производителей во многом решило эти вопросы.

Перед использованием машин в подземных условиях проводились экспериментальные работы по определению фактической газовой поступающего в эксплуатацию оборудования.

Были дополнительно отработаны и исследованы машины из Китая, Европы, Белоруссии: KAISHAN KJ 311 (СБУ), YANTAI XYL-7 (ПДМ), ПДМ DALI WJ-6 (ПДМ), FL04 (ПДМ), Самосвал MD-230K, CAT-1300 G (ПДМ), SANDVIK LH-307 (ПДМ), BM-L71H B-miner (ПДМ), FL07 FAMBITION

(ПДМ), CHTC DRWJ-5 (ПДМ), NORMET MULTIMEC SF 060 (PCM), UTIMEC MF500 Transmixer (PCM), PAUS (манипулятор) (PCM), Scamec 2000L (мех.оборки кровли), NORMET CARMEK (PCM), PAUS Pscale 8-T (мех.оборки кровли), SANDVIK DD-310 (СБУ), Siton DW1-31 (ПДМ), Ferrit DLP 140 F13t (ПДМ), самосвал Bell В 40 D, самосвал Bell В 45 E, самосвал VOLVO A40 G, самосвал CAT 745, ПДМ «LIEBHERR 566 Т», экскаватор с гидромолотом «LIEBHERR» А 904 С, телескопический подъемник MERLO ROTO 45.21 MCSS, анкерная машина SMAG FA-520-11KED и др.

При выборе объектов для исследования мощность ДВС принципиального значения не имела, а интересовали в основном показатели с различными эксплуатационными характеристиками машин разных производителей и показатели работы исправного двигателя.

В экспериментах участвовали все возможные типы подземных машин, применяемых на подземных рудниках: как российские машины, предназначенные и подготовленные для подземного использования, так и импортные образцы горной техники. Полученные показатели газовойости приведены в приложении № 1.

Дополнительно к стационарным исследованиям проведены динамические испытания по основным типам оборудования с ДВС.

Исследования показали, что влияние на фактическую газовойость оборудования оказывают множество специфичных факторов для ДВС, а состояние рудничного воздуха может не соответствовать установленным нормам даже при исправной идеально настроенной технике и хорошем качестве топлива при нарушении расчетных показателей проветривания или неправильном использовании вентиляционного оборудования.

3.3 Методика проведения натурных экспериментов по определению фактической газовойости оборудования с ДВС

Для проведения эксперимента была разработана специальная методика (приложение №1). В основу методики определения фактической газовойости

(далее Методика) заложены основные принципы регистрации и качественного определения вредных (загрязняющих) веществ в воздухе рабочей зоны при помощи специализированных газоанализаторов. Для определения газового состава рудничного воздуха (выхлопных газов машин с ДВС) и других физических показателей применялись комплексные приборы разных годов выпуска: MRU Delta 2000 CD, Testo 350-XL, АГМ – 510 характеристики которых приведены в таблице 1 приложения № 1.

Цель Методики - определение параметров газовой выделения машин с ДВС, рудничного воздуха с целью сравнения их с гигиеническими нормативами - предельно-допустимыми концентрациями (далее ПДК), а также сравнительный контроль выбросов вредных веществ отработавших газов машин с ДВС с установленными (рекомендованными) нормативами [85].

Сбор сведений по источнику выхлопных газов (ВГ) является элементом Методики, т. к. эти данные будут в дальнейшем востребованы в процессе эксплуатации машины с ДВС в режиме диагностического контроля состояния ДВС и настройки топливной аппаратуры.

Количество выхлопных газов $g_{\text{вых}}$ определяется по фактическому значению. Для самоходного дизельного оборудования, применяемого на предприятии, принимается в соответствии с фактическими значениями, определяемыми специальным газоанализатором по рассматриваемой методике [84].

Остановимся на способе проведения измерения для самоходных машин с ДВС с учетом сказанного выше.

Аэродинамические параметры выбросов, которые подлежат измерению совместно с определением газового состава выхлопных газов в соответствии с работой узла пробоподготовки прибора:

- температура газового потока выхлопных газов;
- абсолютное давление;
- скорость газового потока (скоростной напор);

Параметры измеренных выбросов приводим к нормальным условиям.

Измерения проводятся в установившемся потоке выхлопных газов при номинальных нагрузках (или в исследуемом режиме).

Методика проведения эксперимента предусматривает использование газоанализаторов многоканальных, предназначенных для измерений массовых (иных) концентраций веществ, содержащихся в ВГ. В зависимости от поставленных исследовательских задач и необходимых аналитических выводов эксперименты проводились с использованием следующего оборудования:

1. Testo 350-XL (или более поздние версии с аналогичным функционалом). Система анализа дымовых газов портативная для проведения анализа дымовых газов в промышленности, энергетике, на турбинах, двигателях и отопительных установках. Данная измерительная станция использовалась для комплексного измерения состава выхлопных газов с учетом их температуры в стационарном и динамическом режимах работы техники. Максимально допустимая температура измерения более 500 °C. Газоанализатор имеет комплексную систему пробоподготовки.

Анализатор Testo 350 M/XL измеряет все параметры, необходимые для контроля процессов выхлопных газов (например, концентрации O_2 , CO, CO_2 , NO_x , SO_2 , H_2S , H_2) [41]. В зависимости от количества одновременно подключенных зондов (1 - 4) регистратор позволяет измерять и сохранять в памяти температуру, относительную влажность, скорость потока воздуха/выхлопных газов, дифференциальное давление и другие параметры. Управление Анализатором осуществляется с управляющего модуля или с ПК, оснащенного платой PCMCIA, с помощью программы Testo ComSoft 3. Анализатор может самостоятельно осуществлять измерения после программирования с управляющего модуля или ПК. В каждый из анализаторов можно загрузить только одну измерительную программу.

После ручного или автоматического запуска измерений выхлопные газы всасываются встроенным в прибор насосом, затем через газоотборный зонд и соединительные шланги подаются в блок пробоподготовки [41].

Новизна предлагаемых технологий измерения вредных компонентов заключается в использовании современных многофункциональных станций с последующим компьютерным трехмерным моделированием для определения распределения выхлопных газов по горным выработкам с учетом различной топологии горных выработок, количества и типов работающих машин с ДВС [85].

Измеряемые параметры и методы определения выбросов газообразных вредных веществ с отработавшими газами двигателя можно определить по ГОСТ 31967-2012 расчетами по удельным средневзвешенным выбросам углеводородов, оксидов азота, оксида углерода и объемного расхода отработавших газов.

Измерения других показательных параметров работы двигателей определяем по ГОСТ 10448.

Объемный расход ВГ измеряем любым прямым методом с последующим приведением к стандартным атмосферным условиям либо рассчитываем по измеренным значениям расхода воздуха и топлива на каждом режиме измерений.

Предлагаемые к использованию измерительные станции позволяют определять необходимые расчетные значения выбросов в автоматическом режиме.

Разработанная методика, предусматривающая определение параметров газовой в реальных условиях эксплуатации дизельного оборудования, была согласована приказом 2023 года по ЯГОКу (приложение 1).

Основные положительные условия внедрения Методики и их новизна заключаются в подходе к проведению измерений и простоте проведения расчетов в условиях горных предприятий. Подготовительные работы можно проводить при плановых измерениях и отборах проб на машинах с ДВС.

3.4. Анализ результатов полевых исследований переноса выхлопных газов в горных выработках

Исходя из задач, поставленных в исследовании, методика натурных исследований включала измерения фактического газовыделения по определенным алгоритмам и методикам измерения отдельных параметров (абсолютного и дифференциального давления, скоростных напоров (скорости движения выхлопных газов), показателей температуры и влажности окружающего воздуха и состава вредных примесей.

В таблицах П2.1, П2.15, П2.17 приложения П2 указаны перечни машин, участвующих в экспериментах на различных горных предприятиях, фактическое газовыделение по вредным примесям с указанием необходимых для расчетов параметров по маркам автомобилей с ДВС в режиме холостого хода при различных оборотах двигателя, приведены результаты измерений параметров выхлопных газов (полный перечень) в динамическом режиме с указанием дополнительных измерений в интервал 5 секунд.

Отдельно приведены графические зависимости изменения содержания выхлопных газов и других параметров в динамическом режиме [84].

Полученные результаты измерений, в дальнейшем используем для определения начальных и граничных условий при компьютерном моделировании, на основании которых рассчитаны основные требования к расходу воздуха по условиям работы ДВС [85].

Измерения фактической газовой по разработанной методике автором производились с 2021 по 2025 гг., и продолжаются регулярно в настоящее время на Яковлевском и некоторых других рудниках (в результате успешного внедрения этой методики). Данные протоколов измерений приведены в Приложении П2.

Результаты проведенных экспериментов в стационарном режиме на холостом ходу при различных оборотах показывают, что минимальные обороты двигателя не приводят к превышению ПДК по СО и NO_x для неразбавленных выхлопных газов, фактически не могут в полной мере

являться условиями для оценки газовой ДВС и составляют значения в несколько раз ниже ПДК (по сравнению с определением согласно действующим нормативным документам для контроля машин с ДВС) [84].

В базовом экспериментальном цикле основного технологического процесса работы ПДМ холостой ход на минимальных оборотах двигателя занимает около 15–20 % рабочего времени оборудования под нагрузкой. Объемы газов при этом минимальные, содержание кислорода практически не изменяется, а температура выхлопных газов не превышает 100 °С.

На рисунках 3.2-3.7 приведены графики изменений концентрации газов O_2 , CO , NO , NO_2 , CO_2 , H_2 и температуры при работе ЛН-310.

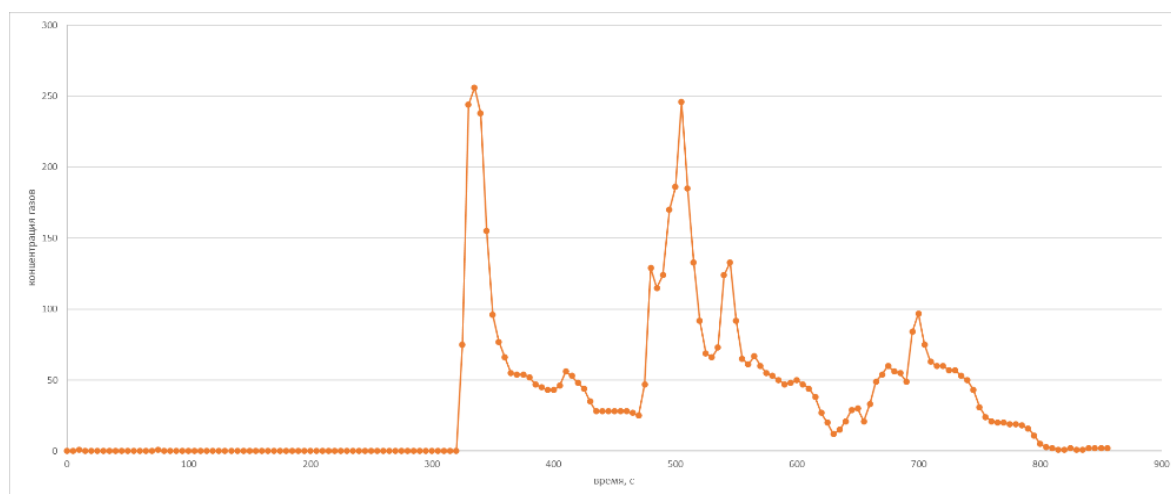


Рисунок 3.2 – График изменения концентрации CO при работе ЛН-310 в динамическом цикле под нагрузкой, при выполнении технологического цикла

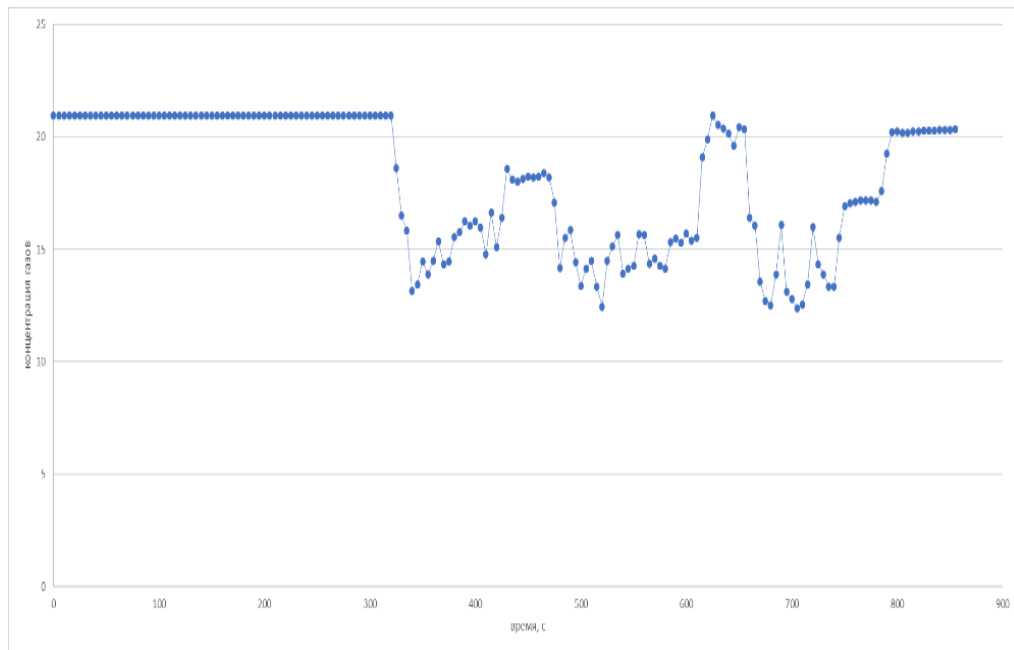


Рисунок 3.3 – График изменения концентрации O_2 при работе LH-310 в динамическом цикле под нагрузкой при выполнении технологического цикла

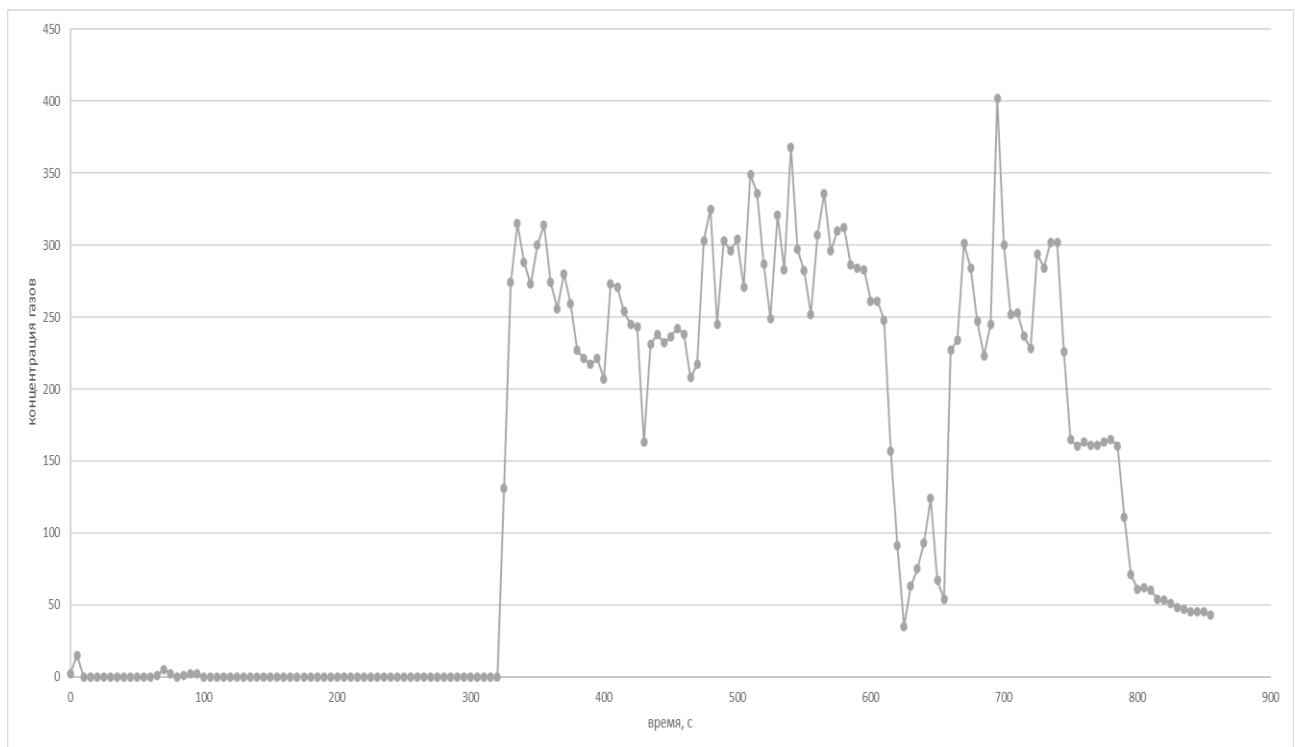


Рисунок 3.4 – График изменения концентрации NO при работе LH-310 в динамическом цикле под нагрузкой при выполнении технологического цикла

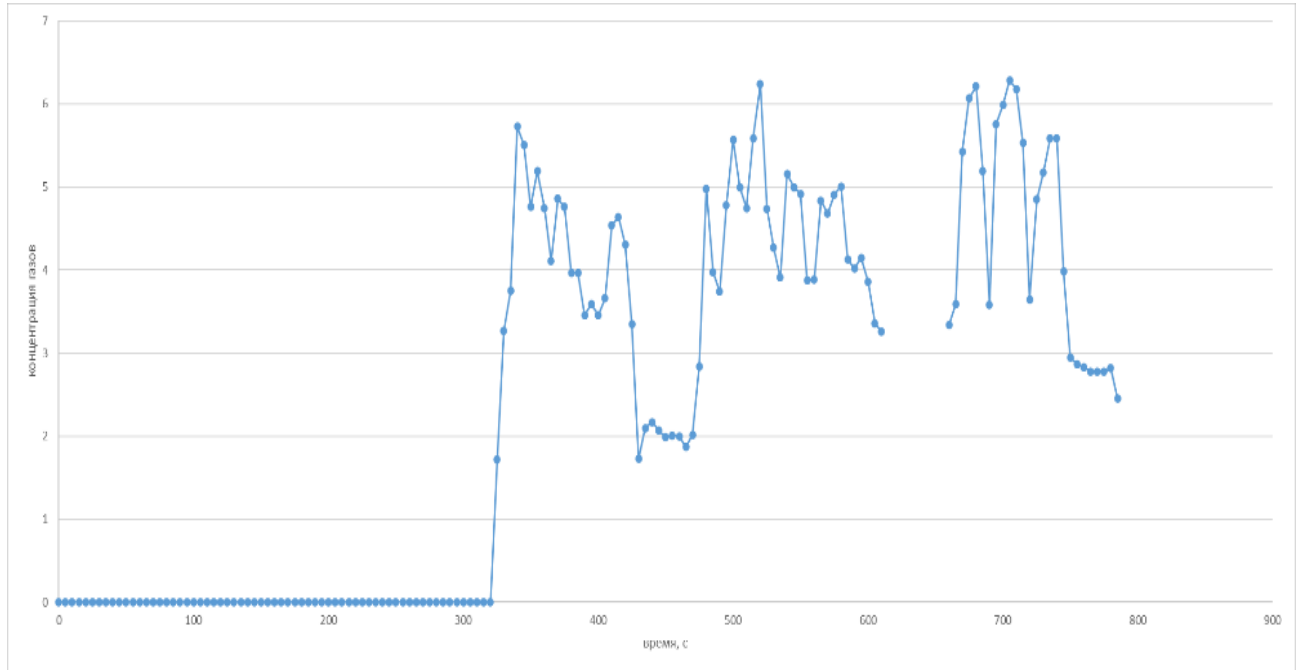


Рисунок 3.5 – График изменения концентрации CO₂ при работе LH-310 в динамическом цикле под нагрузкой

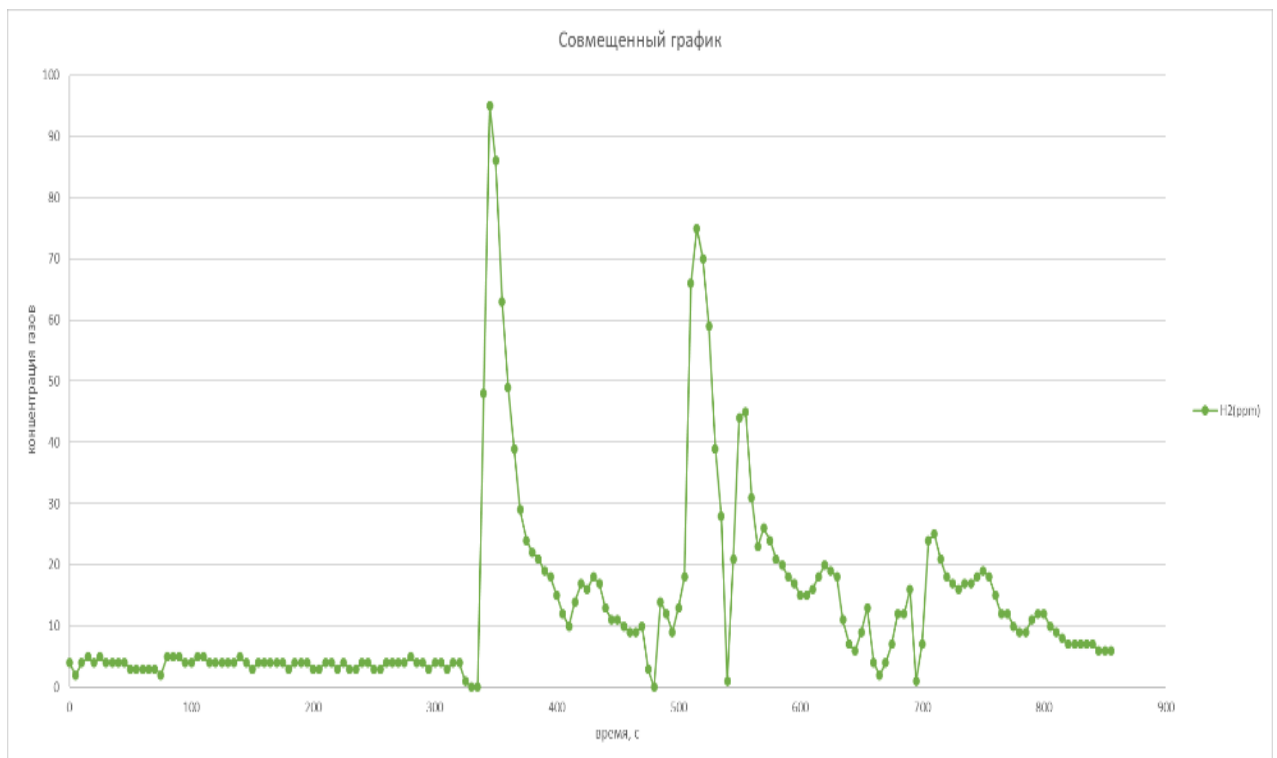


Рисунок 3.6 – График изменения концентрации H₂ при работе LH-310 в динамическом цикле под нагрузкой

Для машин LH-307, CAT-1300, и ST 1030 EPIROC, работающих на проходческих участках, данные измерений приведены на рисунках 3.8–3.10.

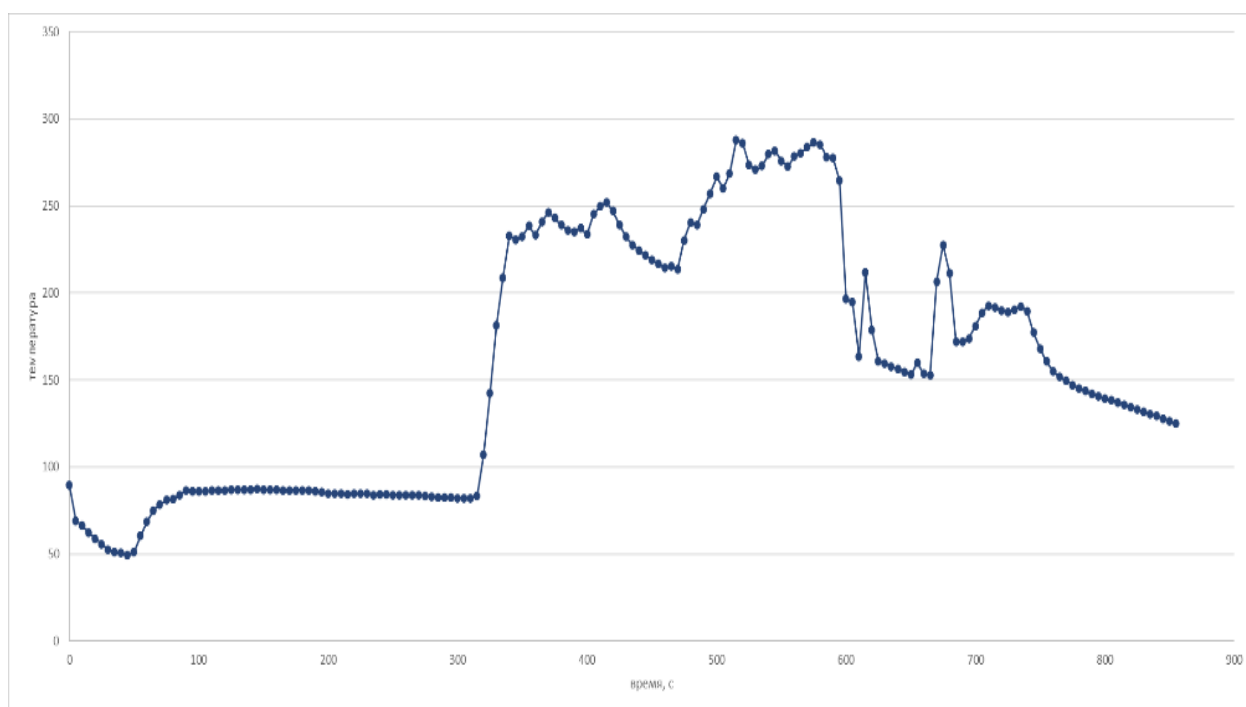


Рисунок 3.7 – График изменения температуры при работе ЛН-310 в динамическом цикле под нагрузкой

Сводный график по динамике состава выхлопных газов и их температуры от машины ЛН-310 в течение технологического цикла (с отметками по технологическим процессам) приведен на рисунке 3.11.

При работе под нагрузкой максимальные концентрации CO , NO , CO_2 , H_2 и повышенная температура выявлены при движении машины вверх по уклону, загрузке ковша и выгрузке горной массы, что соответствует и минимальному содержанию кислорода в выхлопных газах (рис. 3.2).

В стационарном режиме с плавным увеличением числа оборотов ДВС концентрация CO плавно нарастает до максимальных оборотов, содержание NO и NO_2 сначала растет, затем снижается [85]. По полученным данным фактического газовыделения от самоходного оборудования, работающего с ДВС, можно сделать вывод о том, что для каждого типа машин - свои значения газовыделения, причем для одного типа машин значения концентрации вредных газов могут отличаться [84]. При этом не всегда более мощные машины выделяют больше вредных газов.

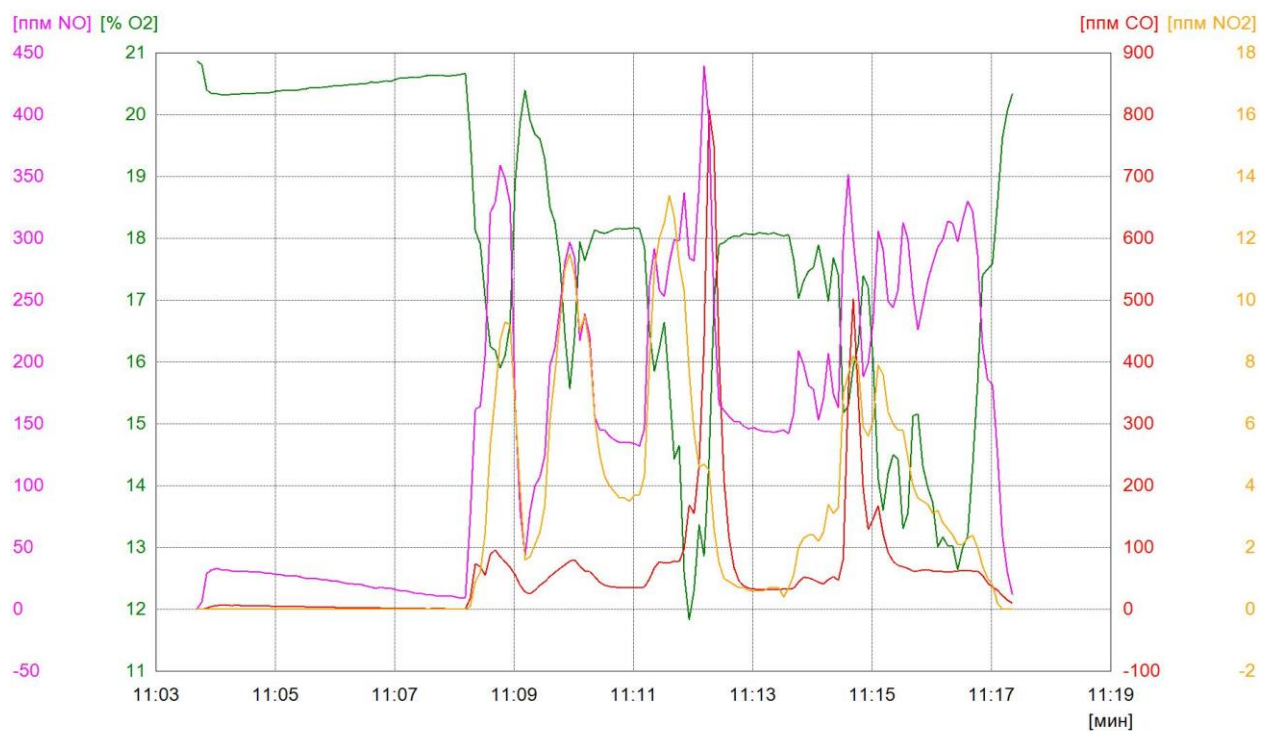


Рисунок 3.8 – Совмещённый график по составу выхлопных газов и их температуры от машины LH-307 в динамическом цикле под нагрузкой

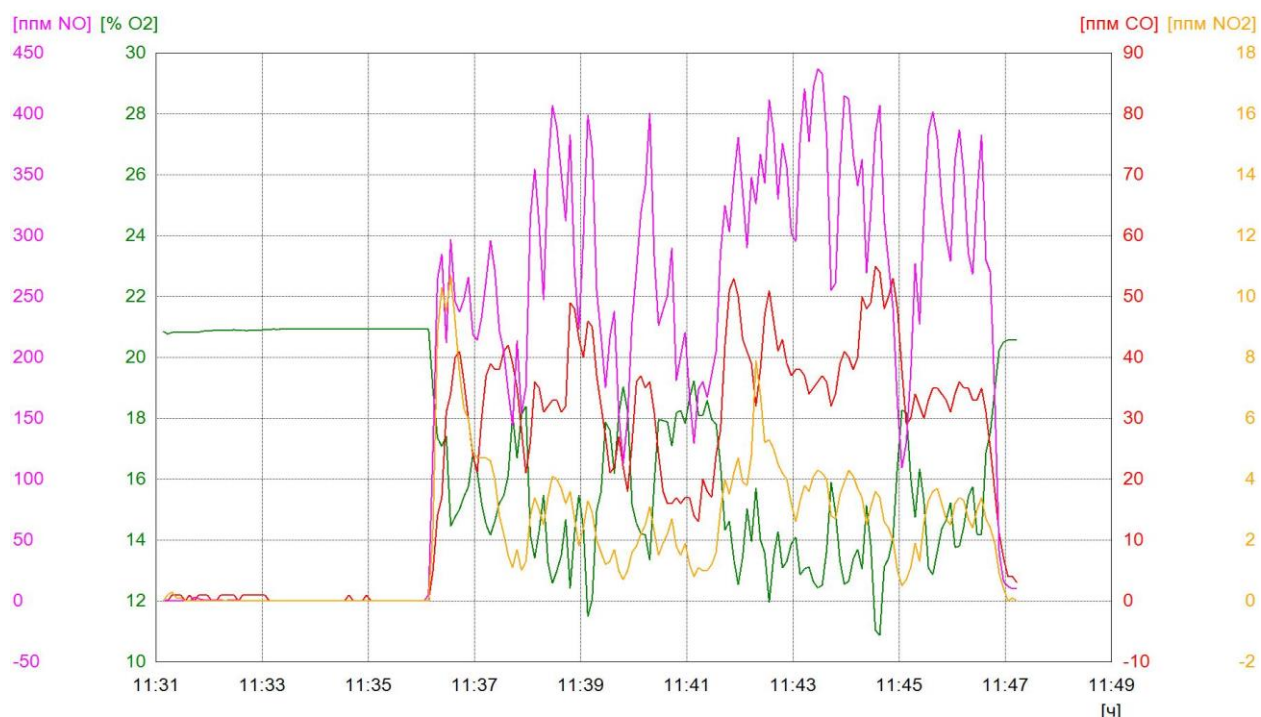


Рисунок 3.9 – Совмещённый график по составу выхлопных газов и их температуры от машины SAT-1300 в динамическом цикле под нагрузкой

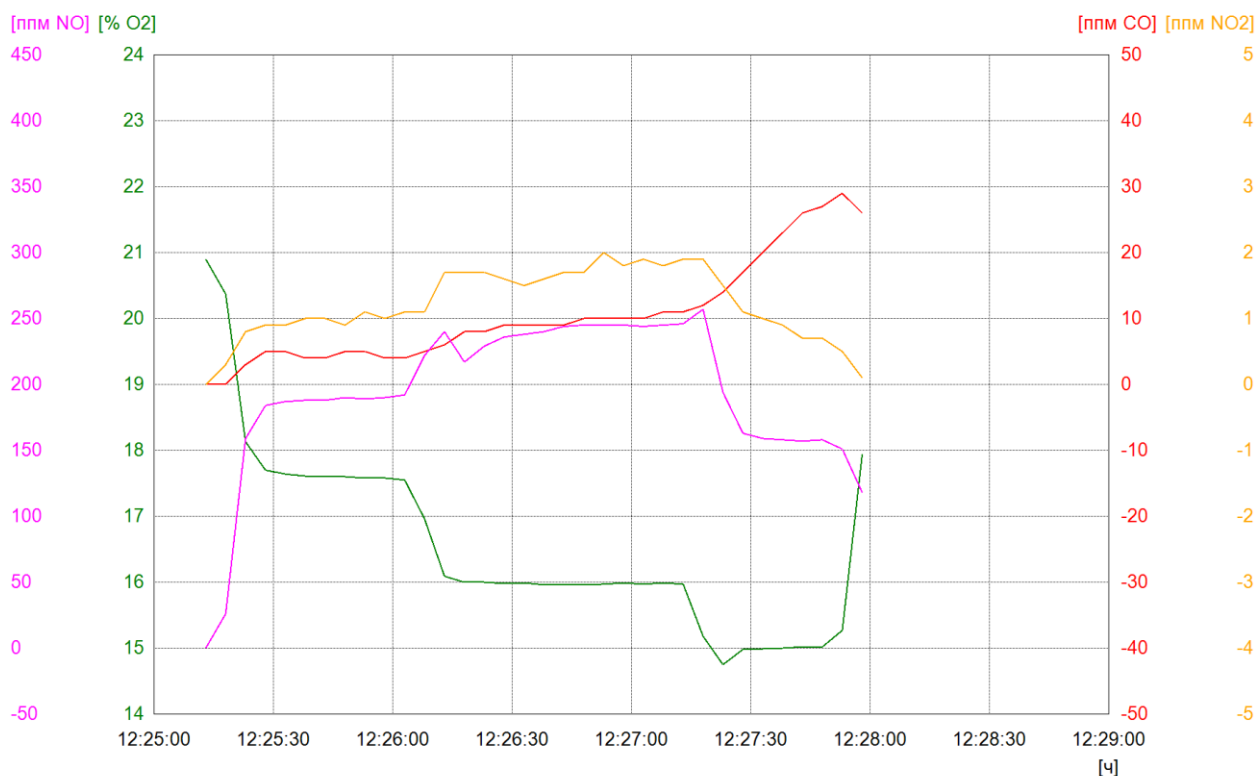


Рисунок 3.10 – Совмещённый график по составу выхлопных газов от машины ST 1030 EPIROC (холостой ход с увеличением оборотов двигателя в стационарном режиме)

Основным фактором, влияющим на выход выхлопных газов, является объем потребляемого топлива и его качество (состав), а также система очистки. Различные типы рудничного самоходного оборудования работают в различных режимах. Буровые установки используют двигатель только для перемещения, потребляемое фактическое количество топлива не превышает 0,4 от максимального расхода. Зарядные машины и грейдер потребляют менее 0,5 от максимального расхода топлива. Миксер на подъем движется пустой, а вниз груженный, его потребление топлива также ниже 0,5 от максимального значения. Наибольшее количество вредных веществ дают машины большой мощности, работающие в постоянном режиме – это погрузочно-доставочные машины (ПДМ) и шахтные самосвалы (ШС) [43].

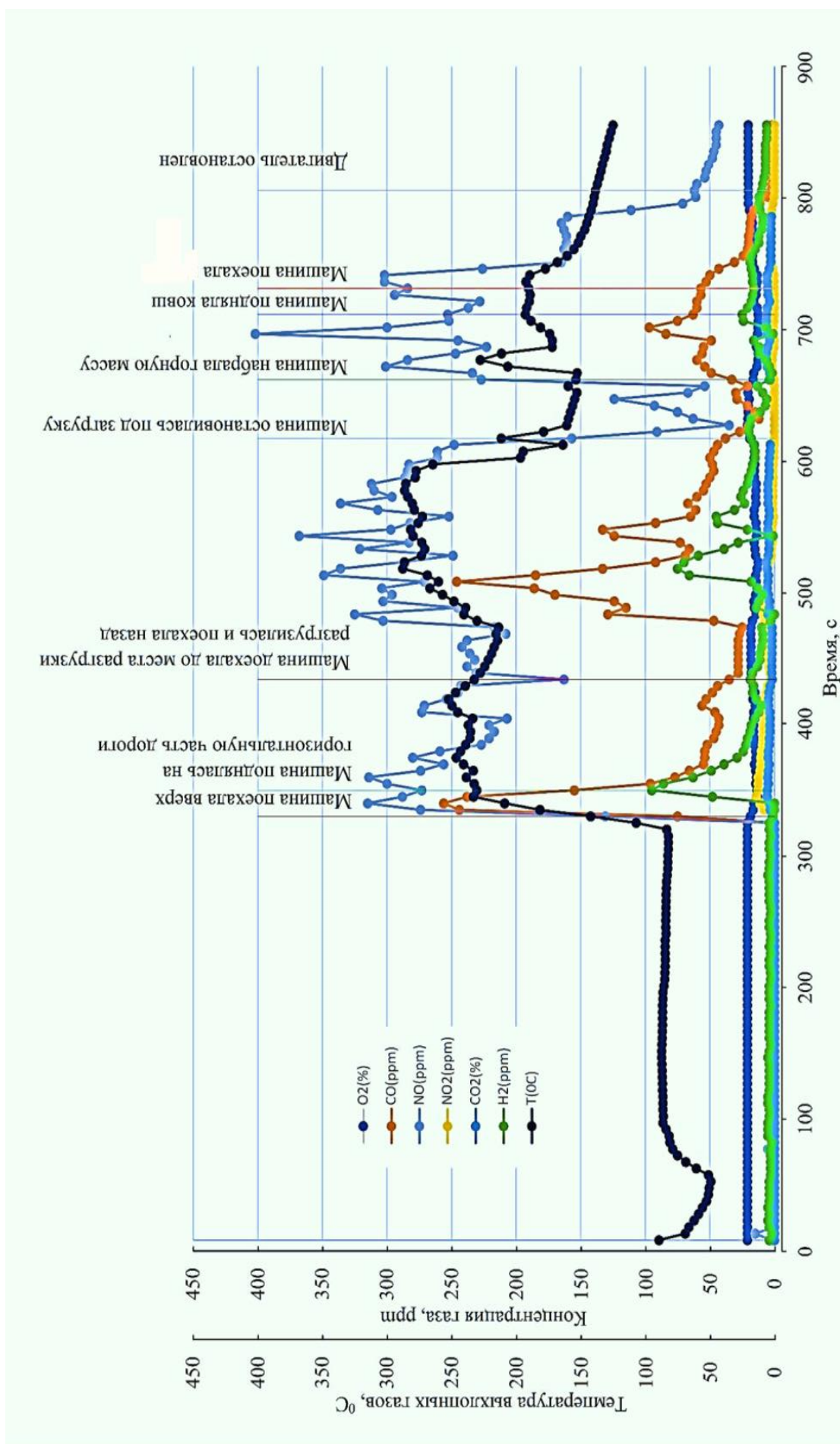


Рисунок 3.11 - Совмещённый график изменения концентраций компонентов выхлопных газов и их температуры при работе ПДМ LN-310 в привязке к технологическим процессам

Кроме того, выход вредных веществ во многом определяется условиями эксплуатации и параметрами рудничной атмосферы, т. е. один и тот же тип двигателя на разных шахтах может давать различный выход вредных веществ, поскольку износ оборудования зависит при прочих равных условиях от состояния маршрутов его движения.

Существенное значение на распределение концентраций газов оказывает место расположения выхлопной трубы: максимальные концентрации находятся вблизи выхлопной трубы, в последующем на расстоянии 20–30 м они рассеиваются равномерно по сечению [84].

Анализ исследований множественных параметров выхлопных газов на ДВС в режиме холостого хода с плавным увеличением оборотов двигателя с минимальных до максимальных позволяет отметить интересные закономерности и связи показателей выхлопных газов таких как содержание кислорода, угарного газа, окислов азота, углекислого газа, водорода, температуры выхлопных газов, коэффициента избытка воздуха [87].

Максимальные концентрации водорода, оксидов углерода и азота имеют место при минимальных оборотах двигателя. С увеличением числа оборотов содержание компонентов выхлопных газов меняется по-разному: максимальным оборотам двигателя соответствуют максимальные концентрации оксида азота и углекислого газа, но минимальное значение кислорода, угарного газа, диоксида азота, водорода и коэффициента избытка воздуха (λ), при этом температура выхлопных газов имеет максимальное значение.

Главным фактором загрязнения рудничной атмосферы является показатель расхода топлива, а остаточный кислород, не использованный в процессе сгорания выходит в виде газообразных примесей. Для оптимизации настройки режима работы системы ДВС на сгорание необходимо подавать немного больше воздуха, чем это теоретически необходимо.

Во время горения значению содержания CO_2 , в свою очередь, соответствует конкретное содержание CO (при недостатке воздуха - если $\lambda < 1$) или O_2 (для избыточного воздуха - если $\lambda > 1$).

Зависимость изменения дымления двигателя от нагрузки показывает, что даже при нормальном техническом состоянии приборов системы питания дымление двигателя возрастает в 4—5 раз при увеличении нагрузки двигателя от 25 до 100%. Анализ отработавших газов дизельных двигателей показывает, что количество наиболее токсичных компонентов и сажи обратно пропорционально коэффициенту избытка воздуха. При практическом определении токсичности отработавших газов можно ориентироваться на содержание сажи в абсолютных величинах (г/м^3) или в относительных, например по светопоглощающей способности.

Выводы

1. Разработанная методика подтвердила возможность определения фактической газовой ДВС горного оборудования в условиях его эксплуатации.
2. Факторы, влияющие на конечные показатели состава газов, зависят от качества топлива, термо-влажностных показателей, состава атмосферы горных выработок, абсолютного давления и технического состояния машины.
3. Практические выводы о состоянии машин с ДВС следует основывать на показателях выхлопных газов (в том числе кислорода): концентраций, избытка воздуха и температуры ВГ.
4. При проведении расчетов для определения и контроля фактических выбросов вредных веществ при проектировании вентиляции необходимо проводить аналитический контроль выбросов от всех потенциальных источников по специальным методикам, особенно по фактору газовой т. е. по фактической величине выхлопа, как функции фактического максимального потребления топлива и

концентрации всех ядовитых газов, в нем можно определить загрязняющий фактор работы машин с ДВС, по которому определим количество воздуха, необходимого для разбавления ядовитых газов до ПДК.

5. На основе проведенного анализа и проделанных натурных экспериментов за длительный период выявлены состав и параметры выхлопных газов технологического оборудования, использованные для определения краевых условий в компьютерной модели.

ГЛАВА 4. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ПРИ РАБОТЕ В НИХ МАШИН С ДВС

4.1 Обоснование условий математического моделирования

Граничные условия трехмерного моделирования были получены путем проведения натурных экспериментов (Приложение П1, таблица П1.9).

На основании полученных результатов в модели были приняты следующие параметры. Средняя скорость движения воздуха по горной выработке равна 0,2 м/с. Температура воздуха равна 26 °С. Двигатель автомобиля нагревается до температуры 75 °С [64]. Из выхлопной трубы газ выделяется со скоростью 2,6 м/с с температурой 193°С. Объемная доля угарного газа СО составляет 0,0008 %, оксида азота NO – 0,004 %. Остальная часть выхлопных газов – воздух [64].

Для обоснования математической модели Normet Multimes SF 060 (213) в таблице 4.1 приведены данные по концентрации и температуре газов (среднеарифметическое значение при различных оборотах двигателя), выделяющихся при работе техники. Данные получены в ходе натурных замеров.

Таблица 4.1 – Параметры выхлопных газов

№	Наименование техники	СО _{ср} % об.д.	NO _{ср} % об.д.	Т _{ср} , °С	Средняя скорость выхлопных газов, м/с
1	Normet Multimes SF 060 (213)	0,003	0,0157	181	25
2	Sandvik DD 311 (508)	0,00455	0,02378	188,6	21,23

Были разработаны 3D-модели техники, применяемой на руднике. На рисунке 4.1 представлена модель Normet Multimes SF 060 (213).

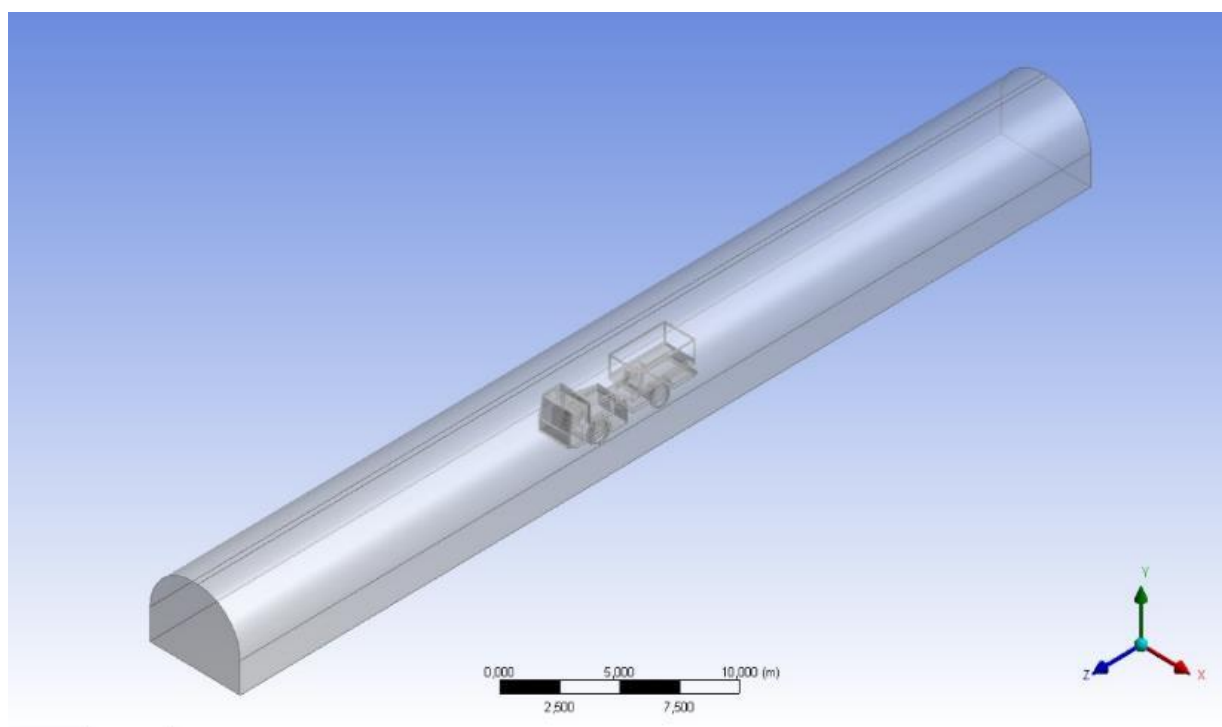


Рисунок 4.1 – Компьютерная модель Normet Multimec SF 060 (213)

Данные из таблицы 4.1 были внесены в модель на этапе задания начальных и граничных условий, рисунок 4.2

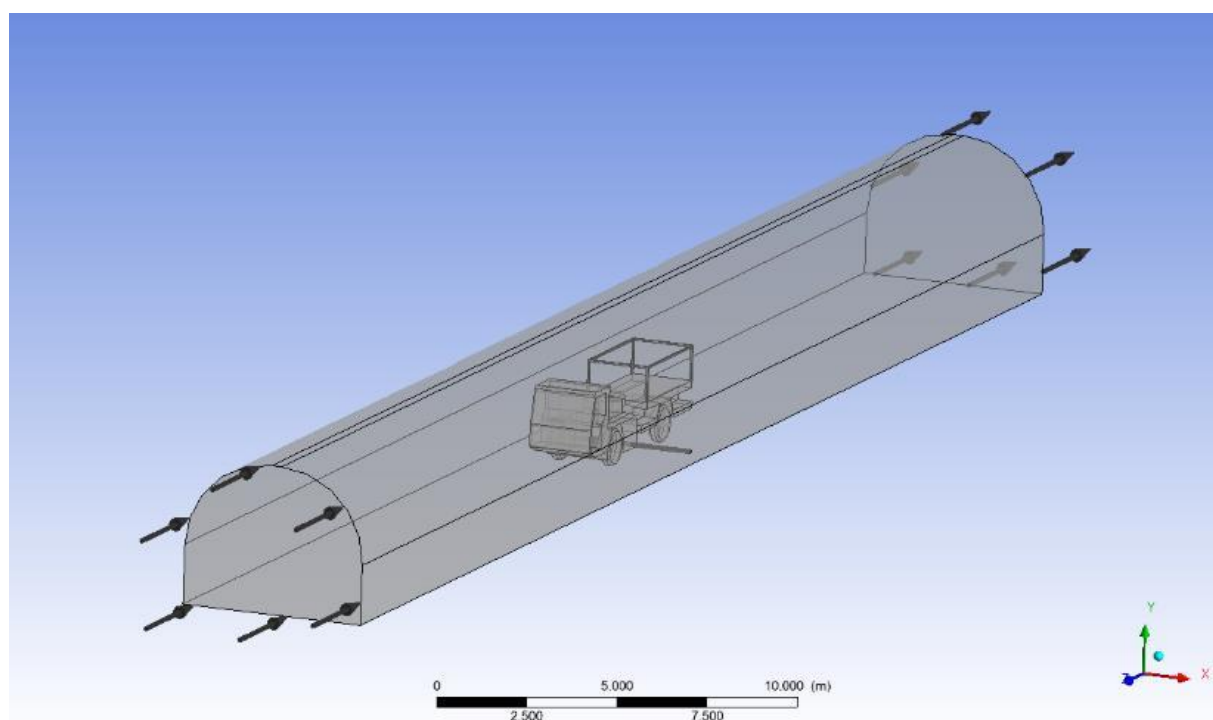


Рисунок 4.2 – Задание начальных и граничных условий для Normet Multimec SF 060 (213)

4.2 Динамическое моделирование распределения выхлопных газов по горным выработкам с оценкой их диффузии

Проведение динамического моделирования позволяет оценить временные параметры распределения выхлопных газов, позволяет увидеть аэродинамику газовоздушного потока и оценить параметры диффузии газов в горной выработке.

Моделирование проводилось для ПДМ LH-310 в горной выработке шириной 5,3 м и высотой 4,2 м (6 слой заходки). Расчетные точки модели приведены на рисунках 4.3 и 4.4: на расстояниях от оси выработки с шагом 1 м по ширине, и 0,8 м по высоте выработки.

Визуализация результатов моделирования по всем сценариям приведена в Приложении ПЗ.

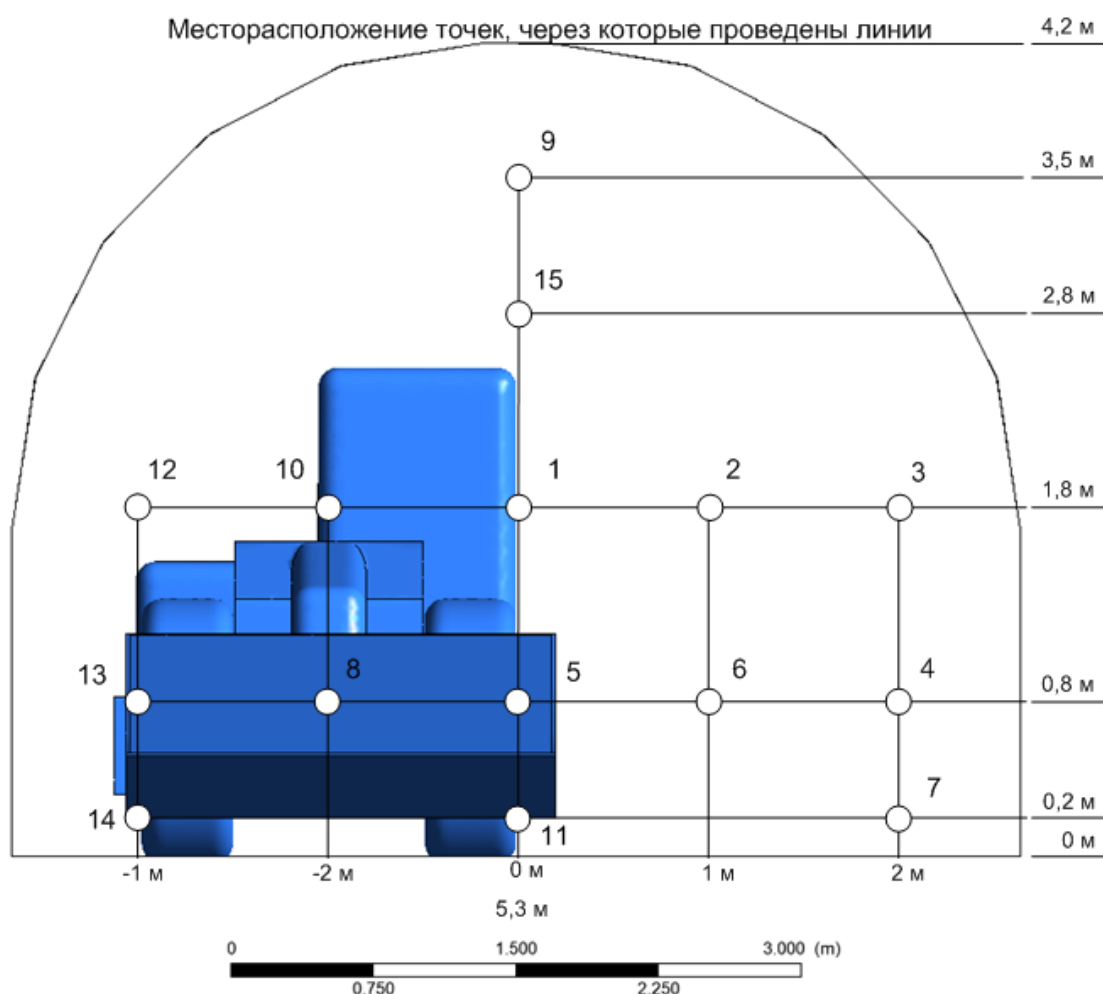


Рисунок 4.3 – Расположение точек определения параметров выхлопных газов в горной выработке: фронтальный вид модели

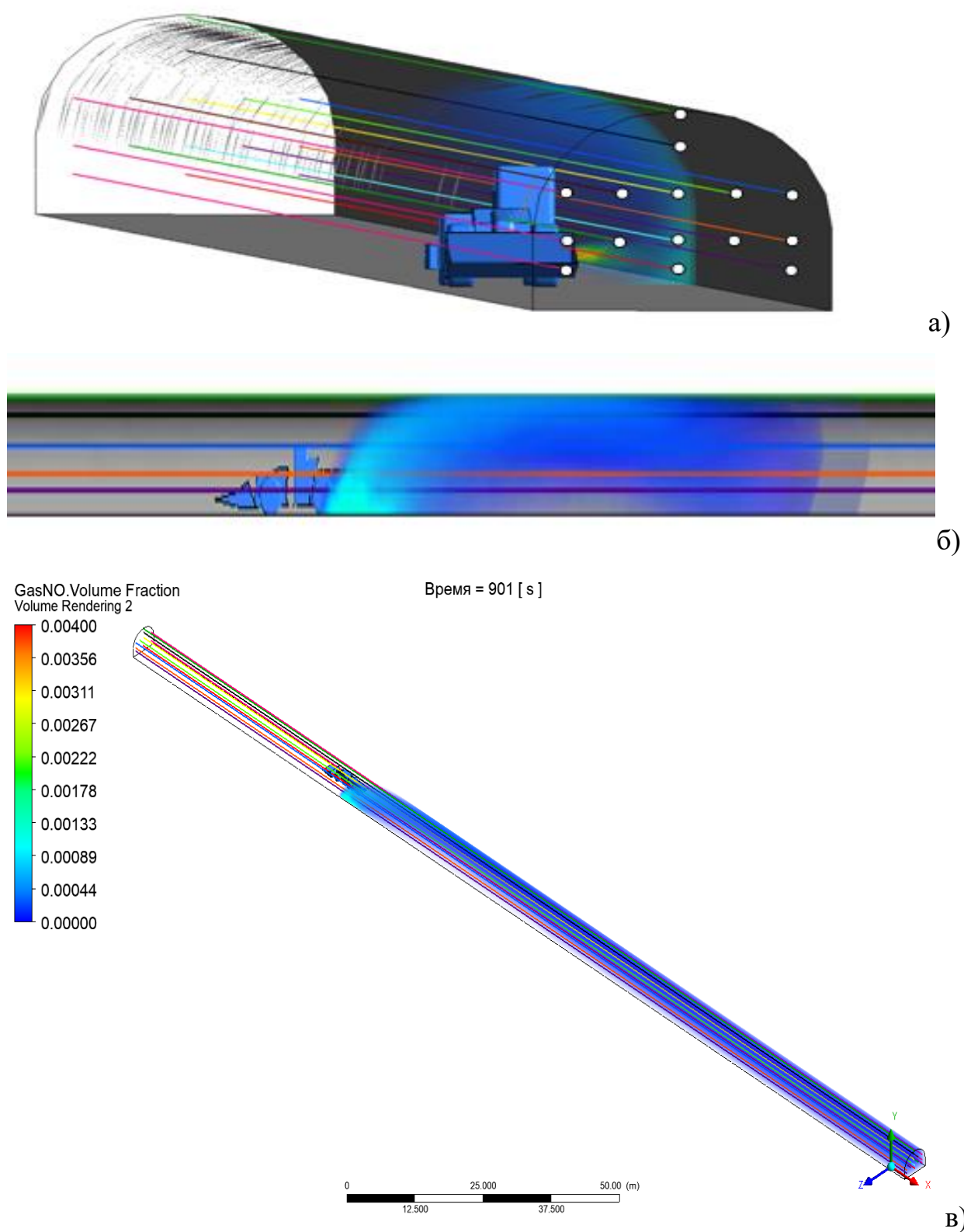


Рисунок 4.4 – Визуализация распределения концентраций выхлопных газов в модели: а) трехмерный вид с обозначенными линиями, по которым строятся графики концентрации, б) вид сбоку, в) общий вид модели

Далее приводятся результаты моделирования по нескольким из основных рассмотренных сценариев таблице 4.2

Таблица 4.2 – Параметры выхлопных газов

№	Скорость движения воздуха, входящая в модель, м/с	Направление движения воздуха относительно техники	Состояние техники	Температура воздуха, °С	Наклон горной выработки, град
1	0,1	Спереди на кабину	Стоит на месте	25	0
2	0,2	Спереди на кабину	Стоит на месте	25	0
3	6	Спереди на кабину	Стоит на месте	25	0
4	0,1	Спереди на кабину	Стоит на месте	25	10 кабина по направлению вверх
5	0,2	Спереди на кабину	Стоит на месте	25	10 кабина по направлению вверх
6	6	Спереди на кабину	Стоит на месте	25	10 кабина по направлению вверх
7	0,1	Спереди на кабину	Стоит на месте	25	30 кабина по направлению вверх
8	0,2	Спереди на кабину	Стоит на месте	25	30 кабина по направлению вверх
9	6	Спереди на кабину	Стоит на месте	25	30

№	Скорость движения воздуха, входящая в модель, м/с	Направление движения воздуха относительно техники	Состояние техники	Температура воздуха, °С	Наклон горной выработки, град
10	0,1	Спереди на кабину	Стоит на месте	25	0
11	0,2	Спереди на кабину	Стоит на месте	25	0
12	6	Спереди на кабину	Стоит на месте	25	0
13	0,1	Спереди на кабину	Стоит на месте	25	10 кабина по направлению вверх
14	0,2	Спереди на кабину	Стоит на месте	25	10 кабина по направлению вверх
15	6	Спереди на кабину	Стоит на месте	25	10 кабина по направлению вверх
16	0,1	Спереди на кабину	Стоит на месте	25	30 кабина по направлению вверх
17	0,2	Спереди на кабину	Стоит на месте	25	30 кабина по направлению вверх
18	6	Спереди на кабину	Стоит на месте	25	30
19	0,2	Спутное	Двигается по направлению воздуха	25	0
20	0,2	Спутное	Двигается по направлению воздуха	25	30

Сценарий 1.

Иллюстрации к динамике распространения выхлопных газов их температуры приведены на рис. 4.4 и на рис. ПЗ.1 – ПЗ.62 Приложения ПЗ. Для данного сценария получены следующие результаты: в сечении горной выработки на расстоянии 25 метров от источника по направлению движения потока воздуха получены следующие результаты: содержание СО составило $2.01107\text{e-}005$ % об.д., содержание NO - 0.000105246 % об.д., значение температуры T составило $299,697$ [K] ($26,697$ °C).

Сценарий 2.

Иллюстрации к динамике распространения выхлопных газов приведены на рис. ПЗ.4–ПЗ.6 приложения ПЗ. В сечении горной выработки на расстоянии 25 метров от источника по направлению движению потока воздуха получены следующие результаты: содержание СО составило $2,65607\text{e-}006$ % об.д., NO – $1,39001\text{e-}005$ % об.д., T – $298,368$ [K] $25,368$ (°C).

Сценарий 3.

Иллюстрации к динамике распространения выхлопных газов приведены на рис. ПЗ.7–ПЗ.9. В сечении горной выработки на расстоянии 25 метров от источника по направлению движению потока воздуха получены следующие результаты: содержание СО составило $1,27714\text{e-}006$ % об.д., NO – $6,68371\text{e-}005$ % об.д., T – $298,25$ [K] $25,25$ (°C).

Сценарий 4.

Иллюстрации к динамике распространения выхлопных газов приведены на рис. ПЗ.10–ПЗ.13.

В сечении горной выработки на расстоянии 25 метров от источника по направлению движению потока воздуха получены следующие результаты:

содержание СО составило $6,31135\text{e-}010$ % об.д., NO – $3,30293\text{e-}009$ % об.д., T – $298,15$ [K] ($25,15$ °C).

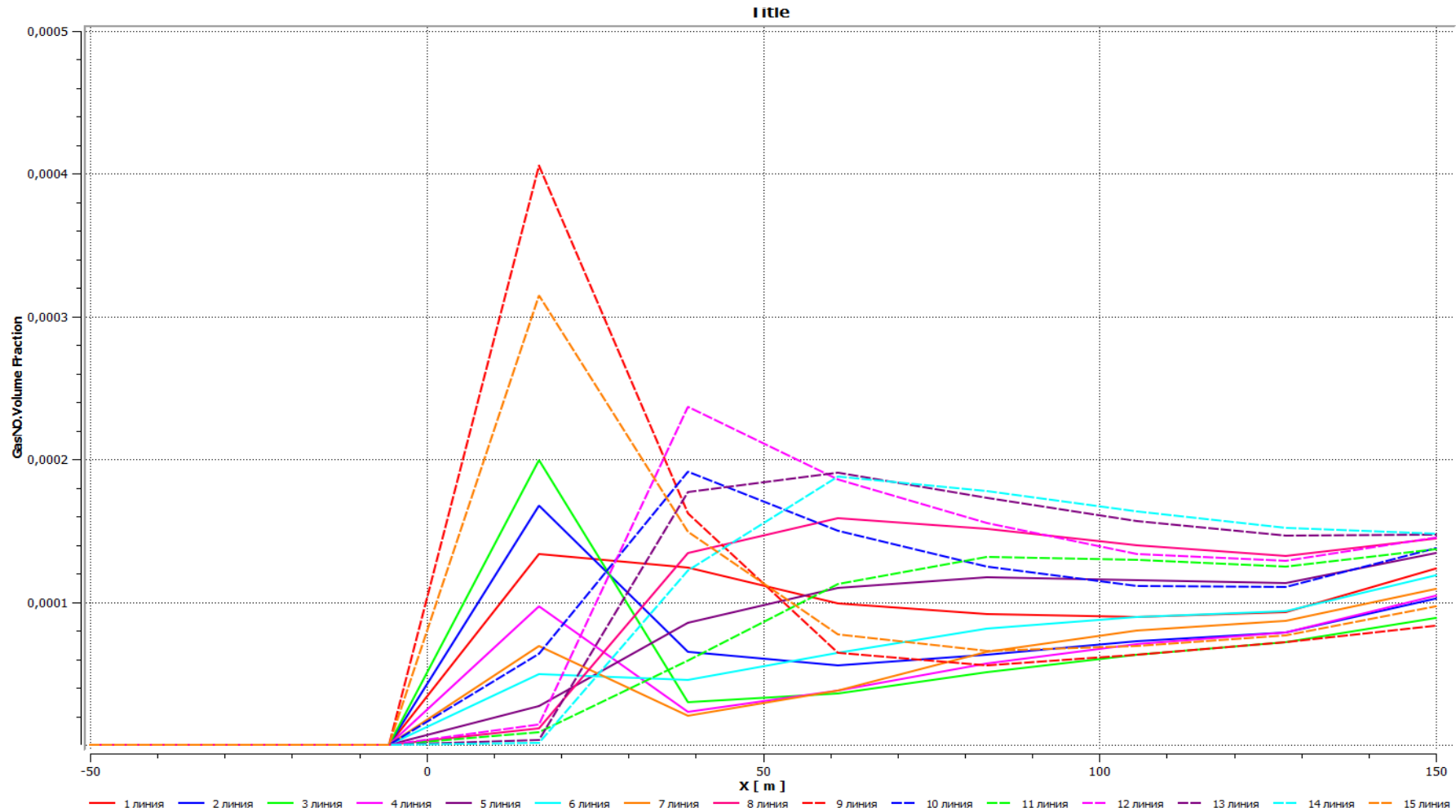


Рисунок 4.5 – Распределение концентраций выхлопных газов по линиям вдоль горной выработки (расположение линий в сечении указано для ПДМ LH-310 в горной выработке шириной 5,3 м и высотой 4,2 м)

Сценарий 5.

Иллюстрации к динамике распространения выхлопных газов приведены на рис.ПЗ.14–ПЗ.16. приложения ПЗ. В сечении горной выработки на расстоянии 25 метров от источника по направлению движению потока воздуха получены следующие результаты: содержание СО составило $2,24823 \times 10^{-6}$ % об.д., NO – $1,17657 \times 10^{-5}$ % об.д., T – 298,336 [K] (25,336 °C).

Сценарий 6.

Иллюстрации к динамике распространения выхлопных газов приведены на рис. ПЗ.17–ПЗ.19 приложения ПЗ. В сечении горной выработки на расстоянии 25 метров от источника по направлению движению потока воздуха получены следующие результаты: в сечении горной выработки на расстоянии 25 метров, по направлению движению потока воздуха, содержание СО составило $1,26704 \times 10^{-6}$ % об.д., NO – $6,63085 \times 10^{-6}$ % об.д., T – 298,25 [K] (25,25 °C).

Сценарий 7.

Иллюстрации к динамике распространения выхлопных газов приведены на рис. ПЗ.20 - ПЗ.22. В сечении горной выработки на расстоянии 25 метров от источника по направлению движению потока воздуха получены следующие результаты: содержание СО составило $9,79876 \times 10^{-10}$ % об.д., NO – $5,12801 \times 10^{-9}$ % об.д., T – 298,15 [K] (25,15 °C).

Сценарий 8.

Иллюстрации к динамике распространения выхлопных газов приведены на рис. ПЗ.23 – ПЗ.25. В сечении горной выработки на расстоянии 25 метров от источника по направлению движению потока воздуха получены следующие результаты: содержание СО составило $2,89318 \times 10^{-6}$ % об.д., NO – $1,51409 \times 10^{-5}$ % об.д., T – 298,39 [K] (25,39 °C).

Сценарий 9.

Иллюстрации к динамике распространения выхлопных газов приведены на рис. ПЗ.26 –ПЗ.28. В сечении горной выработки на расстоянии 25 метров от

источника по направлению движению потока воздуха получены следующие результаты: содержание СО составило $1,273\text{e-}006$ % об.д., NO – $6,66203\text{e-}006$ % об.д., T – 298,25 [K] (25,25 °C).

10 Сценарий

Визуализация результатов моделирования приведена на рис. ПЗ.29 – 3.31. В сечении горной выработки на расстоянии 25 метров, по направлению движению потока воздуха, содержание СО составило $1.20277\text{e-}005$ % об.д., NO – $6.29447\text{e-}005$ % об.д., T – 299.284 [K] (26,284 °C).

11 Сценарий

Визуализация результатов моделирования приведена на рис. ПЗ.32 – ПЗ.34. В сечении горной выработки на расстоянии 25 метров, по направлению движению потока воздуха, содержание СО составило $3.73601\text{e-}006$ % об.д., NO – $1.95256\text{e-}005$ % об.д., T – 298.387 [K] (25,387 °C).

12 Сценарий

Визуализация результатов моделирования приведена на рис. ПЗ.35 – ПЗ.37. В сечении горной выработки на расстоянии 25 метров, по направлению движению потока воздуха, содержание СО составило $2.67132\text{e-}006$ % об.д., NO – $1.39613\text{e-}005$ % об.д., T – 298,315 [K] 25,315 (°C).

13 Сценарий

Визуализация результатов моделирования приведена на рис. ПЗ.39 – ПЗ.41. В сечении горной выработки на расстоянии 25 метров, по направлению движению потока воздуха, содержание СО составило $8.61775\text{e-}010$ % об.д., NO – $4.50394\text{e-}009$ % об.д., T – 298,15 [K] (25,15 °C).

14 Сценарий

Визуализация результатов моделирования приведена на рис. ПЗ.42 – ПЗ.44. В сечении горной выработки на расстоянии 25 метров, по направлению движению потока воздуха, содержание СО составило $3.23121\text{e-}006$ % об.д., NO – $1.68875\text{e-}005$ % об.д., T – 298,355 [K] (25,355°C).

15 Сценарий

Визуализация результатов моделирования приведена на рис. ПЗ.45 - ПЗ.47. В сечении горной выработки на расстоянии 25 метров, по направлению движению потока воздуха, содержание СО составило 2.66816×10^{-6} % об.д., NO – 1.39448×10^{-5} % об.д., T – 298,315 [K] (25,315 °C).

16 Сценарий Визуализация результатов моделирования приведена на рис. ПЗ.48 – ПЗ 50. В сечении горной выработки на расстоянии 25 метров, по направлению движению потока воздуха, содержание СО составило 1.02952×10^{-9} % об.д., NO – 5.38065×10^{-9} % об.д., T – 298,15 [K] (25,15 °C).

17 Сценарий

Визуализация результатов моделирования приведена на рис. ПЗ.51 – ПЗ .53. В сечении горной выработки на расстоянии 25 метров, по направлению движению потока воздуха, содержание СО составило 3.65354×10^{-6} % об.д., NO – 1.90946×10^{-5} % об.д., T – 298.386 [K] (25,386 °C).

18 Сценарий

Визуализация результатов моделирования приведена на рис. ПЗ.54 – ПЗ.56. В сечении горной выработки на расстоянии 25 метров, по направлению движению потока воздуха, содержание СО составило 2.67111×10^{-6} % об.д., NO – 1.39602×10^{-5} % об.д., T – 298.315 [K] (25,315 °C).

19 Сценарий

Визуализация результатов моделирования приведена на рис. ПЗ.57 – ПЗ.59. Машина движется со скоростью потока воздуха в спутном направлении. Угол наклона горной выработки 0 градусов, , содержание СО составило 0,00051 % об.д., NO – 0,003 % об.д., T – 308.445 [K] 35,445 °C).

20 Сценарий

Визуализация результатов моделирования приведена на рис. ПЗ.60 – 3.62. Машина движется со скоростью потока воздуха в спутном направлении. Угол наклона горной выработки 30 градусов. СО составило 0,00065 % об.д., NO – 0,00013 % об.д., T – 306.45 [K] 33,45 °C).

4.3 Анализ результатов моделирования аэрогазодинамических процессов в горных выработках при работе оборудования с ДВС

В настоящее время методы расчета количества воздуха исходят из максимальных значений концентраций выхлопных газов ДВС в стационарном режиме работы или на стендах, и считается, что расчетные значения обеспечат аэрологическую безопасность в любых режимах работы машины. Как отмечалось выше, для мощной современной техники дают завышенные результаты, что приводит к необоснованному повышению энергозатрат на проветривание. Кроме того, статические методы пригодны для расчета в условиях стационарной работы при постоянном газовыделении. Но, как показали исследования в натурных условиях, машины должны рассматриваться как источник вредных примесей с учетом фактора движения.

Результаты моделирования показали, что наблюдается общая динамика распределения выхлопных газов по объему горной выработки независимо от типа применяемой горной техники.

Процессы диффузии от точечного источника в выработках, поперечные размеры незначительно отличаются от продольных протекают по трем осям. Но при малых сечениях и протяженных горных выработках поперечная диффузия малозначима, в рассеянии выхлопных газов в основном участвуют конвективный и турбулентный перенос в направлении основного потока.

В процессе работы машин с ДВС распределение концентрации выхлопных газов со временем приобретает равномерный характер. Выравнивание концентраций происходит на расстоянии около 100 м от источника загрязнений.

Из технологических факторов играет роль уклон горной выработки.

Подвижный характер источника ВГ налагает определенное влияние на распределение примесей как по длине, так и во времени. Скорости источников выделения примесей значительно влияют на концентрации вредных веществ и, соответственно, требуемый расход воздуха. Поэтому при расчете

вентиляции исходными параметрами следует считать не только интенсивность газовыделения, но и характер работы машины.

Направление движения машины относительно движения воздушной струи также имеет значение. При встречных потоках воздуха и машины отмечаются самые благоприятные условия (см. рис.ПЗ.4, ПЗ.5, ПЗ.14), в отличие от движения машин в спутном потоке воздуха со скоростью близкой со скоростью движения машины (см. рис. ПЗ.57, ПЗ.58, ПЗ.60, ПЗ.61) При однонаправленном движении машины и воздуха на рабочем месте оператора в зоне его дыхания возможны появления концентраций вредных веществ более ПДК.

Поэтому организация транспортных работ должна осуществляться, по возможности, таким образом, чтобы движение машин и воздушных потоков было встречным.

При работе одновременно нескольких машин с ДВС в разных заходках на одном добычном участке (блоке) при выдаче исходящей струи воздуха на общую вентиляционную горную выработку происходит суммирование концентраций выхлопных газов [84].

Результаты экспериментов показали возможность дифференцированно использовать в расчетной зависимости (1.16) изменяющиеся от внешних условий, технического состояния двигателя и режима его работы параметры газовой, полученные как в режиме стационарных измерений, так и динамическом режиме используя K – коэффициент диффузионного осреднения газовой, учитывающий влияние продолжительности работы дизельной машины в режиме максимальной газовой и интенсивности диффузионного перемешивания газов в воздушном потоке и $q_1, q_2 \dots q_n$ – интенсивность выделения соответствующей вредной примеси при работе машины в режиме максимальной газовой, м³/с [84].

Моделированием установлено, что при увеличении скорости движения воздуха (и как следствие его расхода), время разбавления выхлопных газов

существенно снижается [41]. Также ускоряется вынос газов из горной выработки.

По фактической величине выхлопа, как функции фактического максимального потребления топлива, и концентрации всех ядовитых газов в нем можно определить загрязняющий фактор работы машин с ДВС, по которому возможно рассчитать количество воздуха, необходимого для разбавления ядовитых газов до ПДК.

Выводы:

1. Результаты моделирования показали, что наблюдается общая динамика распределения выхлопных газов по объему горной выработки независимо от типа применяемой горной техники.
2. Проведенное численное моделирование динамических процессов (с изменяющимися параметрами во времени) позволило установить, что в процессе работы машин с ДВС распределение концентрации выхлопных газов со временем приобретает равномерный характер. Выравнивание концентраций происходит на расстоянии около 100 м от источника загрязнений.
3. Коэффициент диффузионного осреднения газовой смеси, учитывающий влияние продолжительности работы дизельной машины в режиме максимальной газовой смеси и интенсивности диффузионного перемешивания газов в воздушном потоке можно использовать в различных диапазонах с учетом применения методики определения фактической газовой смеси оборудования в динамическом режиме применительно к условиям каждого действующего подземного рудника.
4. Ориентируясь на фактическую газовую смесь в стационарном режиме, можно определить норматив подачи свежего воздуха при работе машин с ДВС по мощности двигателя с учетом типа машин с ДВС и условий их эксплуатации на каждом руднике.

ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА РАСХОДА ВОЗДУХА ДЛЯ РУДНИКОВ ПО ФАКТИЧЕСКОЙ ГАЗОВОСТИ ДВС

Основным загрязняющим фактором при работе машин с ДВС является выхлоп вредных газов в рудничную атмосферу. Известно, что выхлоп вредных газов зависит от технического состояния ДВС, расхода топлива и системы очистки [28].

По фактической величине выхлопа, как функции фактического максимального потребления топлива, и концентрации всех ядовитых газов в нем можно определить загрязняющий фактор работы машин с ДВС, по которому возможно рассчитать количество воздуха, необходимого для разбавления ядовитых газов до ПДК, а также определить норматив подачи свежего воздуха при работе машин с ДВС по мощности двигателя с учетом условий эксплуатации и типа машин на каждом руднике. В данной главе приводится предлагаемый методический подход к расчету требуемого расхода воздуха для рудника с учетом фактической газовой.

5.1 Методика расчета количества воздуха, необходимого для разбавления вредных газов, образующихся при работе машин с ДВС

Количество свежего воздуха, подаваемого в выработки рабочих зон, в которых постоянно или периодически используются машины с двигателями внутреннего сгорания (ДВС), должно быть не менее необходимого для статического разжижения основных ядовитых компонентов выхлопных газов (оксид углерода, диоксида азота в пересчете на NO_2) до предельно допустимых концентраций или обеспечения нормативного содержания кислорода и определяется по формуле

$$Q_{\text{ДВС}} = k_{\text{од}} \cdot \sum (k_{\text{ц}} \cdot Q_{\text{м}}), \quad (5.1)$$

где $k_{\text{од}}$ – коэффициент одновременности работы машин с ДВС в отдельной выработке;

$k_{од} = 1,0; 0,9; 0,85$ при одновременной работе одной, двух, трех и более машин соответственно;

$k_{ц}$ – коэффициент цикличности работы машины с ДВС, принимается в зависимости от процентного соотношения времени нахождения машины с ДВС в горной выработке, для которой производится расчет, ко времени цикла ее работы; изменяется в пределах от 0,1 до 1.

Q_M – количество воздуха, необходимое для проветривания каждой машины по вредным факторам ДВС, м³/с.

Расчет коэффициента цикличности

Коэффициент цикличности рассчитывается по следующим формулам [111].

$$k_{ц} = \frac{t}{t_{ц}}, \quad (5.2)$$

где t – время работы машины в выработке, мин;

$$t = t_{загр} + \left(\frac{l_{пор}^{кам}}{v_{пор}} + \frac{l_{гр}^{кам}}{v_{гр}} \right), \quad (5.3)$$

$t_{ц}$ – время цикла работы машины, мин.

$$t_{ц} = t_{загр} + t_{разгр} + t_{вспом} + t_{ожид} + \left(\frac{l_{пор}^{кам}}{v_{пор}} + \frac{l_{пор}^{вне}}{v_{пор}} + \frac{l_{гр}^{кам}}{v_{гр}} + \frac{l_{гр}^{вне}}{v_{гр}} \right), \quad (5.4)$$

где $t_{загр}$ – время загрузки машины, мин;

$t_{разгр}$ – время разгрузки машины, мин;

$t_{вспом}$ – время выполнения вспомогательных операций машины, мин;

$t_{ожид}$ – время ожидания транспортирующего средства, мин;

$l_{пор}^{кам}$ – длина пути машины по выработке порожняком, м;

$l_{пор}^{вне}$ – длина пути машины вне выработки порожняком, м;

$l_{гр}^{кам}$ – длина пути машины по выработке груженой, м;

$l_{гр}^{вне}$ – длина пути машины вне выработки груженой, м;

$v_{пор}$ – скорость движения машины порожняком, м/мин;

$v_{гр}$ – скорость движения машины груженой, м/мин.

При увеличении времени ожидания транспортирующего средства либо увеличении длины доставки вне выработки, для которой осуществляется расчет, коэффициент цикличности снижается.

Коэффициент цикличности можно связать с показателями фактической газовой в динамическом режиме по методике определения фактической газовой (см. таблицу П2.19 приложения П2).

Расчет необходимого количества воздуха Q_M производится в отдельности для каждого нормируемого компонента выхлопных газов (при максимально возможных оборотах двигателя), и для кислорода. В качестве требуемого количества воздуха принимается наибольшее из полученных по формулам (5.5) и (5.7).

Расход воздуха по компонентам выхлопных газов

$$Q_M = \frac{c_{\text{вых}}}{c_{\text{пдк}}} \cdot g_{\text{вых}}, \quad (5.5)$$

где $c_{\text{вых}}$ – фактическая концентрация ядовитых компонентов выхлопных газов (оксид углерода, диоксида азота в пересчете на NO_2), % по объему; принимается по результатам плановых отборов проб неразбавленных выхлопных газов;

$c_{\text{пдк}}$ – предельно-допустимая концентрация по соответствующему компоненту, % по объему;

$g_{\text{вых}}$ – количество выхлопных газов после очистки, $\text{м}^3/\text{с}$; принимается по данным технического паспорта машин по формуле для четырехтактного двигателя [92]:

$$g_{\text{вых}} = \frac{V_{\text{о.ц.}} \cdot n}{2}, \quad (5.6)$$

где $V_{\text{о.ц.}}$ – суммарный рабочий объем цилиндров, м^3 ; n – скорость вращения коленчатого вала, об/с (замеренная при отборе проб, или возможные максимальные обороты из технической характеристики двигателя).

Расход воздуха для машин с ДВС по содержанию кислорода

$$Q_{\text{м-о}_2} = \frac{21 \cdot L_0 \cdot N \cdot q}{3600 \cdot \rho \cdot (c_{\text{о}_2} - 20)}, \quad (5.7)$$

где N – номинальная мощность двигателя, кВт;

L_0 – количество воздуха, необходимое для сгорания килограмма топлива, составляет 14,42 кг;

q – удельный расход топлива при номинальной мощности, кг/кВт·ч;

ρ – плотность воздуха (принимается равной 1,23 кг/м³);

$c_{\text{о}_2}$ – содержание кислорода в воздухе, поступающем на проветривание, % по объему; принимается равным содержанию кислорода в атмосферном воздухе $c_{\text{о}_2} = 20,96$ % об.

Для принятого $Q_{\text{м}}$ полученная величина удельного расхода воздуха $q_{\text{лс}}$ должна быть не менее 1,5 м³/мин на 1 л.с., если это условие не выполняется, то расход воздуха по фактору отработанных выхлопных газов вычисляется следующим образом:

$$Q_{\text{двс}} = \frac{1,5 \cdot \sum N}{60}, \quad (5.8)$$

где $\sum N$ – суммарная мощность двигателей работающих в выработке машин, л.с.

При определении необходимого расхода воздуха допускается исключение из расчета потребности в воздухе для разбавления выхлопных газов буровых машин с дизельным приводом, используемых в комплексе с другими самоходными дизельными машинами, а также машин, выполняющих вспомогательные операции при их непрерывной работе в рабочей зоне не более 10 минут в течение 1 часа или 40 минут в смену. Результаты расчета необходимого удельного расхода воздуха с учетом определения концентрации и дебита выхлопных газов от ПДМ (максимальные значения) по фактическим измерениям приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1– Результаты расчёта необходимого удельного количества подаваемого воздуха по измерениям фактической газовой

Наименование ПДМ	N	N	$g_{\text{вых}}$	$C_{\text{вых}}$ CO	$C_{\text{пдк}}$ CO	$C_{\text{вых}}$ NO _x	$C_{\text{пдк}}$ NO _x	Q_M CO	Q_M NO _x	Нормативное значение
	кВт	л.с.	м ³ /с	мг/м ³	мг/м ³	мг/м ³	мг/м ³	м ³ /с	м ³ /с	м ³ /мин на 1 л.с.
Машина погрузочно- доставочная Caterpillar CAT R1300G	123	165	0,077	79,68	20	476	5	0,3	7,3	2,7
Машина погрузочно- доставочная ПДМ SANDVIK LH307	160	215	0,060	925	20	837	5	2,8	10,0	2,8
Машина погрузочно- доставочная ПДМ Sandvik LH410	235	315	0,175	73,81	20	315	5	0,6	11,0	2,1
Машина погрузочно- доставочная ПДМ EPIROC ST1030	186	249	0,059	48,4	20	412	5	0,1	4,9	1,2

Примечание: концентрация NO_x (в пересчете на NO₂) = 1,53 NO + NO₂

5.2. Рекомендуемый порядок определения фактической газовой

Рассматриваем машины с ДВС как подвижные источники вредных выбросов, которые подлежат инвентаризации. Полученные сведения используем для анализа работы техники в части аэрологической безопасности и исправности.

Исследования газовой машин с ДВС должны производиться не реже, чем один раз в год или после капитального ремонта, спуска нового типа техники. При поступлении горной машины с ДВС после ее спуска в шахту через один-два дня производится оценка фактической газовой и расчет необходимого количества воздуха на единицу мощности (1 л.с.) и проверочное измерение максимальной газовой в условиях динамического цикла работы машины.

Алгоритм определения фактической газовой состоит в следующей последовательности действий, включающей 5 этапов.

1. По данным технического паспорта машин определяется количество выхлопных газов после очистки (осуществляемой встроенными

нейтрализаторами или другими устройствами), гарантированное производителем для условий эксплуатации оборудования.

2. Выполняются измерения фактических концентраций и объемов выделения выхлопных газов в подземных условиях для различных режимов работы ДВС.

3. Составляется паспорт газовой (протокол измерений) на каждую машину с ДВС (см. рис. П1.1 Приложения П1).

4. По полученным данным проводится оценка качества технического обслуживания машин с ДВС (состояния, исправности машины).

5. На основании полученной оценки при необходимости внепланового техобслуживания обнаруживаются и устраняются неисправности в части очистки фильтров, катализаторов, регулировок и т.п.

Этап 2 приведенного алгоритма осуществляется следующим образом.

- Машина размещается в горной выработке со сквозным проветриванием на свежей струе воздуха или движется согласно технологической операции по всему циклу.

- На расстоянии не менее 100 метров от нее размещается наблюдательный пункт.

- В начале и в конце замеров производится измерение средней скорости движения воздуха в горной выработке.

- Машина заводится и работает в нескольких режимах работы двигателя, заранее обговоренных с машинистом (например, через каждые 1-5 минут, необходимо увеличивать обороты двигателя на 200 оборотов в минуту).

- Далее измеряется концентрация четырех газов – CO, CO₂, NO, NO₂, температуры ВГ, коэффициента избыточного воздуха λ , дымности, не допуская при этом перекрестной чувствительности датчиков. Концентрации газов и других показателей измеряются с периодичностью 5 секунд и более (до 1 минуты) в выхлопной трубе при помощи пробоотборника максимального

размера и в центре горной выработки на расстоянии диффузионного перемешивания (для газов), значения заносятся в журнал проведения эксперимента.

- Одновременно для каждого режима работы и измерения производится определение средней скорости выхлопных газов ($v_{вг}$) и сечения выхлопной трубы ($S_{вг}$).

После проведения измерений *Этап 3* включает расчетную обработку полученных результатов измерений следующим образом.

Высчитывается средняя концентрация по каждому компоненту выхлопных газов для всех режимов работы машины. Далее производится пересчет всех компонентов выхлопных газов на CO по формуле:

$$C_{co} \text{ (с учетом } NO_x) = C_{co} + 6,5 (1,53 C_{NO} + C_{NO2}) \quad (5.9)$$

После рассчитаем расход поступающих в горную выработку газов по формуле:

$$q_{вг} = v_{вг} S_{вг} \quad (5.10)$$

где $v_{вг}$ - средняя скорость выхлопных газов, м/с

$S_{вг}$ - площадь сечения выхлопной трубы, м².

С учетом приведения концентрации оксидов углерода и азота по формуле (5.9), определим абсолютное газовыделение от машин с ДВС (I_{co}):

$$I_{co} = 60 g_{вых} C_{co} / 100 \quad (5.11)$$

Где $g_{вых}$ - количество выхлопных газов, м³/с

Нормативное значение на единицу мощности машины с ДВС рассчитывается по формуле:

$$g_{норм} = I_{co} 100 / C_{пдк} N \quad (5.12)$$

N – номинальная мощность двигателя, л/с.

Из полученных по формуле (5.12) значений к дальнейшему расчету количества воздуха, необходимого для разбавления выхлопных газов от диагностируемых машин с ДВС, выбираем наибольшее.

5.3. Результаты внедрения разработанной методики

Действующие методики расчета количества воздуха разработаны в основном для машин с ДВС прошлого поколения и дают завышенные результаты при использовании оборудования большой мощности, Федеральные нормы и правила безопасности обозначают только условия по конечным концентрациям вредных веществ в горных выработках на исходящей струе и в кабине машиниста не рассматривают рекомендации по расчету необходимого количества воздуха для обеспечения безопасных условий эксплуатации. Полученные расходы воздуха, произведенные по устаревшим методикам обеспечивают горные выработки воздухом с большим коэффициентом запаса и не всегда эксплуатируемые сечения обеспечивают установку расчетных вентиляционных сооружений, а требования к выхлопным газам после газоочистки и расчетному количеству воздуха для указанного типа техники в зависимости от мощности обозначены только в Сборнике документов «Безопасность горнотранспортного оборудования угольных шахт» и ГОСТе Р 55153-2012. «Оборудование горно-шахтное. Машины погрузочно-доставочные. Требование безопасности и методы испытаний и «Временной инструкции по расчету количества воздуха, необходимого для проветривания рудных шахт». – 1983 г.

Реализация разработанного метода на Яковлевском руднике подтвердила эффективность разработанного подхода, выражающуюся в отсутствии загазований при использовании разработанной методики расчета. При этом снижение расчетного количества воздуха для рудника на 8,3 % по фактору ДВС позволило заменить вентиляторы местного проветривания ВМЭВО-8А (90 кВт) на менее энергоемкие ВМЭ-8/1 (50 кВт), что в совокупности позволило снизить производительность ГВУ ТАФ 39,8\22,4-1.

Затраты на электроэнергию являются основными среди затрат на вентиляцию.

Снижение общерудничного расхода воздуха приводит к существенной экономии расхода электроэнергии на нужды вентиляции, к улучшению

использования резервов производства и повышению уровня рентабельности. В частности, экономический эффект состоит не только в общем снижении производительности (мощности) ГВУ, но и в локальной экономии электроэнергии на очистных и горно-подготовительных участках за счет снижения потребляемой мощности вентиляторов местного проветривания. При этом, анализируя вопросы экономической эффективности рудничной вентиляции, отмечаем, что санитарно-гигиенические условия труда работников по газовому, пылевому и температурному факторам остаются на высоком уровне.

Расчеты по затратам электроэнергии на ГВУ рассчитывались по формуле:

$$Зэ = \frac{Q_v h_v T k_{t1} + k_{t2} N}{1000 \eta_y \eta_d}, \text{ руб} \quad (5.13)$$

где Q_v – производительность вентилятора $\text{м}^3/\text{с}$

h_v – депрессия вентилятора, Па

T – часы работы установки в году, час

k_{t1} – тариф единицы потребляемой энергии руб/кВт час

k_{t2} – тариф установленной мощности двигателя, руб/кВт час

N – мощность установки, кВт

η_y – КПД установки

η_d – КПД двигателя

Экономический эффект, полученный от снижения производительности вентиляторов местного проветривания на $4 \text{ м}^3/\text{с}$ за счет его рационального использования и за счет снижения мощности двигателей на 40 кВт на один забой составит – 1 857120,0 руб/год (для шести забоев - 11 142720,0 руб/год.

5.4 Диагностика ДВС по определяемым параметрам

Полученные при проведении исследований закономерности выделения выхлопных газов в стационарном и динамическом режимах работы дизельного оборудования можно использовать для экспресс-диагностики подземных машин. Правильно организованное техническое обслуживание является основой исправного состояния подземной машины, позволяющее вовремя обнаружить возможные повреждения механизмов и узлов, снизить объем вредных выбросов и их влияние на организм работников [87], а также снизить травматизм, связанный с неисправностью техники (по фактору «движущиеся машины и механизмы»).

Диагностика и регулировка двигателей внутреннего сгорания подземных машин – это одно из наиболее важных мероприятий по снижению токсичности выхлопных газов, повышению экономичности ДВС и сроков их эксплуатации. Эти задачи решаются при помощи специального диагностического оборудования, в том числе, с помощью мобильных рабочих станций, контролирующих состав отработанных газов и другие показатели выхлопа.

В основу диагностики двигателей внутреннего сгорания (далее ДВС) подземных рудников по фактору газовой опасности положены передовые принципы регистрации и качественного определения вредных (загрязняющих) веществ в выхлопных газах и воздухе рабочей зоны при помощи специализированных приборов – рабочих станций [85]. Сравнивая полученные результаты с установленными (рекомендуемыми) показателями двигателей, получаем оценку текущего состояния машины.

Для диагностики используем не только общепринятые параметры работы исправных дизельных моторов, но и вновь установленные научными экспериментами зависимости.

В работе проведен анализ состава основных компонентов и показателей выхлопных газов технологического транспорта и другого самоходного оборудования подземных рудников. Определены основные критерии экспресс-диагностики ДВС, направленные на определение предварительных

причин неисправности по соответствующим показателям, приведены результаты исследований газовой самоходного подземного оборудования, установлена взаимосвязь с основными показателями [87].

Диагностика направлена на своевременное и предупредительное выявление неисправных машин, настройку силовых установок технологического оборудования для оптимальной работы. Методы диагностирования топливной системы подземной машины по параметрам отработавших газов являются универсальными и позволяют регистрировать неисправную работу топливной системы в основном для постановки предварительного диагноза [87].

Цвет выхлопных газов дизельного двигателя может быть полезным индикатором его состояния и помочь в диагностике. Он обусловлен сочетанием различных вредных веществ, включая оксиды азота (NO_x), углекислый газ (CO_2), угарный оксид (CO) и другие компоненты. Определение цвета выхлопных газов может указывать на отдельные нарушения в работе двигателя машины [73].

Черный цвет выхлопных газов обычно указывает на высокий уровень углерода (C) в выхлопных газах. Это может быть вызвано несгоревшим дизельным топливом ввиду нестандартной смеси с воздухом.

Причиной могут быть неисправности в системе впрыска, проблемы с турбонаддувом или воздушно-топливным смесеобразованием. Низкое цетановое число определяет также выбросы черного цвета (твердые частицы и сажа).

Серый цвет выхлопных газов может указывать на нарушение работы системы впрыска.

Белый цвет выхлопных газов — это наличие проблем с системой охлаждения двигателя, таких как утечка охлаждающей жидкости или перегрев. Также причиной может быть сгорание охлаждающей жидкости или присутствие воды в топливе.

Синий цвет выхлопных газов может указывать на проблемы с смазкой. Это может быть связано с износом маслосъемных колец или другими неисправностями в системе смазки двигателя, а также присутствием сажи в смазке.

Цвет выхлопных газов может варьироваться в зависимости от возраста и состояния двигателя, используемого топлива и других факторов.

Чем выше цетановое число топлива, тем короче периоды дымления и выше содержание ароматических углеводородов, снижающих выбросы продуктов неполного сгорания CO , CH_x .

Фракционный состав топлива в большей части с легким составом снижает дымность и содержание CH_x в выхлопных газах.

Наличие в топливе серы не оказывает влияние на основные характеристики работы, но содержание оксидов серы (SO_2 , SO_3) прямо пропорционально содержанию серы в топливе.

Анализ отработавших газов дизельных двигателей показывает, что количество наиболее токсичных компонентов и сажи обратно пропорционально коэффициенту избытка воздуха.

Температура отработавших газов (ОГ) на выходе из цилиндров двигателя является одним из важнейших диагностических параметров дизеля. Ее значение в каждый момент времени обусловлено действием целого ряда разнообразных факторов, связанных как с техническим состоянием основных агрегатов двигателя, так и с режимом его работы [87]. Повышенное содержание CO , CO_2 , HC , NO_x может свидетельствовать о проблемах в системе отвода выхлопных газов или неисправностях в системе сгорания, дефектов в системе впрыска, неполном сгорании топлива, неоптимальную работу двигателя.

Вместе с тем наличие множества факторов, влияющих на величину температуры ОГ, снижает информативность данного параметра, вследствие чего эффективность использования средств контроля температуры ОГ весьма невелика. Мы решили проблему следующим образом [87]. Информативность

температуры ОГ можно существенно повысить, если использовать ее совместно с коэффициентом избытка воздуха, характеризующим как качество смесеобразования в цилиндре дизеля, так и режим его работы. Одним из возможных способов решения подобной задачи является непрерывный контроль характерных зависимостей, связывающих различные параметры рабочего процесса дизеля, инвариантных по отношению к режиму работы дизеля, но реагирующих на его техническое состояние.

Изменение величины температуры отработавших газов при постоянном значении коэффициента избытка воздуха может свидетельствовать об ухудшении состоянии топливной аппаратуры.

Повышенное содержание CO может свидетельствовать о проблемах в системе отвода выхлопных газов или неисправностях в системе сгорания.

Повышенное содержание CO₂ может указывать на вероятность дефектов в системе впрыска или неплотность цилиндра.

Повышенное содержание углеводородов CН_x может свидетельствовать о проблемах в системе впрыска топлива или неполном сгорании топлива, возможная причина и низкое цетановое число.

Повышенное содержание NO_x часто указывает на неоптимальную работу двигателя, что может быть результатом неисправностей в системе впрыска или удержания давления воздуха.

Дымление характерно для ДВС с низким коэффициентом избытка воздуха λ . Образование сажи при работе ДВС негативно сказывается не только на качестве рудничного воздуха, но и на состоянии внутренних поверхностей двигателя, подвергающихся трению [87].

Факторы, влияющие на дымление дизельных двигателей, можно разделить на две группы: связанные с системой питания и не связанные с ней. Из второй группы факторов сразу можно отметить техническое состояние цилиндро-поршневой группы, износ деталей которой ведет к уменьшению степени сжатия и коэффициента наполнения, а также к увеличению

количества масла, проникающего в цилиндры двигателя. В этих условиях нормальное протекание сгорания нарушается, дымление двигателя возрастает.

Первая группа факторов целиком относится к системе питания и характеризует влияние угла опережения впрыска, давления начала впрыска форсункой и величины цикловой подачи на характер дымления. Угол опережения впрыска влияет на начало подачи топлива в цилиндры двигателя и на состав смеси. Изменение угла опережения впрыска в сторону опережения или запаздывания от оптимального положения приводит к увеличению дымления двигателей. Изменение угла на $4\text{—}6^\circ$ вызывает увеличение дымления на 25—30% примерно у 50% двигателей автомобилей, находящихся в эксплуатации. Зависимость изменения дымления двигателя от нагрузки показывает, что даже при нормальном техническом состоянии приборов системы питания дымление двигателя возрастает в 4—5 раз при увеличении нагрузки двигателя от 25 до 100% [87].

Остаточный кислород, не использованный в процессе сгорания ввиду избыточного воздуха, “отходит” в составе выхлопных газов и используется для оценки эффективности сгорания и содержания углекислого газа.

Предварительный диагноз состояния ДВС устанавливается в комплексе и дополнительным оцениванием по запаху, окраске выхлопа, а также по содержанию сажи (дымности).

Кроме коэффициента избытка воздуха на сажеобразование в дизелях оказывает влияние температура в камере сгорания. Процесс образования сажи характерен при поступлении газов из камеры сгорания в картерное пространство при неполном сгорании топлива и возможен при наступлении негерметичности камеры сгорания.

Вышеописанные признаки стали основой для разработки чек-листа подземной экспресс-диагностики (рис. П5.1).

Стационарные установки для диагностики ДВС достаточно громоздкие и не подходят для эксплуатации в сложных подземных условиях. А при

реализации разработанного метода экспресс-диагностики отбор проб на токсичность выхлопных газов (газовость) производится непосредственно в подземных выработках, где работают дизельные машины.

При этом следует учитывать высокую запыленность рудничного воздуха, чтобы получить достоверные данные о работе дизелей, их нейтрализаторов. Для более объективной оценки эффективности работы дизельных двигателей и нейтрализаторов необходимо контролировать их работу на участках, где уровень запыленности в пределах нормы [23].

Выводы:

1. Разработан новый методический подход к расчету необходимого количества воздуха для рудников, использующих оборудование с ДВС большой мощности, основанный на определении фактической газовости в условиях его эксплуатации, без вывода парка на поверхность, в соответствии с разработанным автором алгоритмом (регламентом проведения оценки).
2. Разработанный подход позволяет одновременно производить диагностику состояния двигателей и обеспечивать их своевременный профилактический уход и /или ремонт, что положительно сказывается на общем уровне обеспечения безопасности труда.
3. Внедрение предложенного подхода на Яковлевском руднике позволило снизить расчетный расход воздуха на 8,3 % и заменить вентиляторы местного проветривания ВМЭВО-8А (90 кВт) на менее энергоемкие ВМЭ-8/1 (50 кВт), что в совокупности позволило снизить производительность вентилятора главного проветривания (ГВУ) ТАГ 39,8\22,4-1. При этом загазований и изменения метеорологических параметров рудничного воздуха в исследуемых горных выработок не наблюдалось, а основные экономические показатели работы ГВУ, - оставались в зоне устойчивого и экономичного использования.

4. Снижение расхода электроэнергии составило при этом 40 кВт/ч для одного вентилятора в одном забое при уменьшении производительности устройства на $4 \text{ м}^3/\text{с}$,
5. Снижение производительности ГВУ с $420 \text{ м}^3/\text{с}$ до $380 \text{ м}^3/\text{с}$ выразилось в снижении потребляемой мощности на 210 кВт/ч с получением экономии 14,5 млн. рублей в год (см. п. 5.3., формула 5.13).
6. Общий экономический эффект, полученный от снижения себестоимости 1 м^3 воздуха за счет его рационального использования и энергоэффективности составил, в целом более 25 млн. рублей в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная диссертация является законченной научной квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований поставлена задача разработки методического подхода к расчету необходимого расхода воздуха для действующих рудников, использующих высокопроизводительное оборудование с ДВС, в основе реализации которого лежит оперативная оценка фактической газовойности оборудования. Предложенные решения имеют важное значение для горнорудной отрасли страны в части обеспечения безопасного и энергосберегающего осуществления подземной разработки рудных месторождений с использованием мощной высокопроизводительной дизельной техники.

В результате проведенных исследований лично автором получены следующие научные результаты.

1. Выполненный анализ методов расчета расхода воздуха для горных выработок, в которых используется оборудование с ДВС, показал, что действующая нормативная база не отвечает современным условиям и характеристикам применяемых машин, т. к. норматив подачи свежего воздуха при работе машин с ДВС по мощности двигателя не должен быть фиксированным для всей горнорудной отрасли; он должен определяться с учетом условий эксплуатации и типа машин с ДВС на каждом руднике, но переход к расчетам по фактическому объему выделения вредных газов затруднен отсутствием универсальных методов и способов определения фактической газовойности двигателей.

2. Обосновано, что для достижения поставленной цели исследования необходимо сочетание методов компьютерного динамического моделирования и натурных исследований; данные натурных экспериментов являются основанием для установления начальных и граничных условий математической модели.

3. Анализ теоретических описаний процесса диффузии выхлопных газов в подземных горных выработках для установления основных параметров, определяющих закономерности их переноса, позволил выявить основные факторы, определяющие динамику объемов и концентраций выхлопных газов, и разработать математические модели для исследования закономерностей переноса выхлопных газов в горных выработках при движении автомобилей с ДВС.

4. Установленные на основе компьютерного моделирования закономерности выделения и переноса выхлопных газов (динамика объема и концентраций газов) от большегрузных автомобилей в вентиляционной сети подземного высокопроизводительного рудника подтверждены результатами натурных измерений.

5. Разработан научно обоснованный метод оценки фактической газовости парка автомобилей с ДВС в условиях подземного рудника, которая изменяется в зависимости от внешних условий, технического состояния двигателя и режима его работы. Данный показатель позволяет дифференцированно определять интенсивность каждого источника вредных газов (для всех типов применяемого оборудования), на основе чего возможно более точное определение требуемого расхода воздуха для их разбавления до установленных санитарно-гигиенических норм.

6. На основе полученных результатов обоснован новый методический подход к расчету вентиляции высокопроизводительного рудника, использующего оборудование с ДВС, включающий алгоритм расчета необходимого расхода воздуха с использованием оперативной оценки фактической газовости машин в условиях их эксплуатации, обеспечивающий повышение аэрологической безопасности за счет обеспеченности выработок необходимым расходом воздуха и снижения вредных выбросов от ДВС (путем своевременной регулировки двигателей), повышение безопасности эксплуатации дизельного оборудования за счет повышения качества технического обслуживания и снижение затрат электроэнергии на

проветривание вследствие снижения общего расхода воздуха, подаваемого в рудник; внедрение данного подхода дает синергетический эффект повышения эффективности и безопасности горных работ.

7. Использование разработанной методики расчета, учитывающей основные факторы, определяющие выход вредных примесей, их разбавление и фактор движения дизельного оборудования, позволило повысить точность определения расчетного количества воздуха до 20%, что подтверждается данными систем контроля состояния атмосферы на действующем руднике о соблюдении ПДК вредных газов при снижении общего расхода воздуха, поступающего в выработку, при неизменных параметрах работы дизельной техники.

8. Разработаны рекомендации по организации движения мобильного дизельного оборудования с учетом установленных закономерностей переноса выхлопных газов в вентиляционной сети рудника и показателей режима работы двигателей, выраженных в минимальном расходе топлива, максимальном КПД и мощности снимаемой с единицы объема цилиндров, устойчивости работы, стабильных нагрузок и средних оборотов работы ДВС, а также минимальных выбросов углеводородов, частиц (сажи) и соответственно окислов азота и монооксида углерода при коэффициенте избытка воздуха 1,1-1,3.

9. Внедрение предложенного подхода на Яковлевском руднике позволило снизить расчетный расход воздуха на 8,3 % и заменить вентиляторы местного проветривания ВМЭВО-8А (90 кВт) на менее энергоемкие ВМЭ-8/1 (50 кВт), что в совокупности позволило снизить производительность вентилятора главного проветривания (ГВУ) ТАФ 39,8\22,4-1. При этом загазований и изменений метеорологических параметров рудничного воздуха в исследуемых горных выработках не наблюдалось, а основные экономические показатели работы ГВУ, - оставались в зоне устойчивого и экономичного использования. Снижение расхода электроэнергии составило при этом 40 кВт/ч для одного вентилятора в одном забое при уменьшении

производительности устройства на $4 \text{ м}^3/\text{с}$. Снижение производительности ГВУ с $420 \text{ м}^3/\text{с}$ до $380 \text{ м}^3/\text{с}$ выразилось в снижении потребляемой мощности на 210 кВт/ч с получением экономии $14,5 \text{ млн. руб.}$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Ф.А. Расчет вентиляционных сетей шахт и рудников / Ф.А. Абрамов, Р.Б.Тян, В.Я. Потемкин. М.: Недра, 1978. - 232 с.
2. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика /Учебное руководство в 2 ч: для втузов. - 5-е переработанное и дополненное. - М.: Наука, 1991. – 600 с.
3. Анализ методов расчета требуемого количества воздуха для разжижения отработанных выхлопных газов Кузьминых Е.Г., Кормщиков Д.С.// «Горное эхо» -2020. № 3(80), Пермь: Горный институт УрО РАН. – С.107-115
4. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен /Д. Андерсон, Дж. Таннехил, Р. Плетчер. – М.: Мир, 1990 Т.1 – 392с., Т2. – 336 с.
5. Андрейко С. С., Калугин П. А., Щерба В. Я. Газодинамические явления в калийных рудниках: генезис, прогноз и управление. - Минск: Вышэйшая школа, 2000. — 335 с.
6. Аюров В. Д. Разработка комплексного метода и алгоритма оперативного регулирования газодинамических процессов при автоматизированном управлении вентиляцией шахт / диссертация ... кандидата технических наук, Московский горный институт. – Москва: МГИ, 1978. - 146 с..
7. Бабенко А.Г., Лапин С.Э. Новое поколение шахтных информационно-управляющих систем и средств обеспечения безопасности на угольных шахтах // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2010. № 1. - С. 73-84.
8. Бахвалов Л.А., Баранникова И.В., Агабубаев А.Т. Анализ современных систем автоматического управления проветриванием // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 7. - С. 22-28.
9. Башилов Ю. Б. и др. Нормирование вредных примесей дизелей, эксплуатируемых в подземных горных выработках // «Горный журнал», 1971. - № 3. – С 38-43
10. Битколов Н. В., Мирошниченко Т. О. Расчет проветривания при работе дизельного оборудования в подземных условиях // «Гидротехническое строительство», 1964. - № 12. – С 45-49

11. Вентиляция 2. Версия: 2.7.3 Дата обновления: 21.10.2025. Программный комплекс для решения задач вентиляции, планов ликвидации аварий и конвейерного транспорта горных предприятий. mail@minesoft.ru
12. Воронин В. И., Воронина Л. Д. Проветривание металлических рудников после взрывных работ. Часть 1 и 2. М.: Изд. АН СССР, 1945. – С 234.
13. Воронин В. И., Воронина Л. Д., Вагриновский А. Д. Руководство по проектированию и практическому осуществлению противопылевых вентиляционных режимов в металлических рудниках. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу, 1960. – 54 с.
14. Гендлер С.Г. Управление качеством воздуха при эксплуатации подземных сооружений транспортного назначения// Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2000. - № 7. - С. 99-105. EDN: NCEPFF
15. Гендлер С. Г., Борисовский И. А. Управление аэродинамическими процессами при разработке золоторудных месторождений открытым способом // Горный информационно-аналитический бюллетень, № 2, 2021. С 99 - 107
16. Гендлер С.Г., Серёгин А.С., Белехов П.А. Исследование влияния эксплуатационно-конструкционных характеристик дизельной техники на загазованность подземных горных выработок // Горная промышленность. - 2025. № 4. – С. 170–177. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-170-177>.
17. Гендлер С.Г., Серёгин А.С., Фазылов И.Р., Белехов П.А., Подрезова М.А. Экспериментальное определение количества воздуха, необходимого для проветривания рудника по фактору разбавления выбросов загрязняющих веществ от машин с двигателями внутреннего сгорания // Горная промышленность. - 2025. - № 6. – С. 173–180. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-6-173-180>.
18. Голубихин Ю.А. Методика диагностирования дизельных двигателей транспортных средств по эколого-топливным показателям / Диссертация ... кандидата технических наук. - Санкт-Петербург, 2005. - 141 с.

19. ГОСТ 31967-2012 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения.
20. ГОСТ 10448-2014 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Приемка. Методы испытаний.
21. ГОСТ 33754-2016 Выбросы вредных веществ и дымность отработавших газов автономного тягового и моторвагонного подвижного состава. Нормы и методы определения.
22. ГОСТ Р ИСО 16017-1-2007. Воздух атмосферный, рабочей зоны и замкнутых помещений. Отбор проб летучих органических соединений при помощи сорбционной трубки с последующей термодесорбцией и газохромато-графическим анализом на капиллярных колонках. Часть 1. Отбор проб методом прокачки.
23. Гришин Е.Л., Зайцев А.В., Кузьминых Е.Г. Обеспечение безопасных условий деятельности сотрудников по фактору вентиляции в подземных рудниках при работе техники, оснащенной двигателями внутреннего сгорания // Недропользование. – 2020. – Т.20, №3. – С.280–290. DOI: 10.15593/2712-8008/2020.3.8
24. Гришин Е.Л., Накаряков Е.В., Трушкова Н.А., Санникович А.Н. Опыт внедрения систем динамического управления проветриванием рудников // Горный журнал. 2018. - № 6. - С. 103-108. DOI: 10.17580/gzh.2018.08.15
25. Дейли Дж., Харлеман Д. Механика жидкости / Перевод с англ. Букреева В.И. - Дейли, Дж. У.. Механика жидкости: пер. с англ. / Дж. У. Дейли, Д. Харлеман ; под ред. чл.-кор. АН СССР О. Ф. Васильева. — Москва : Энергия, 1971. — 480 с. : ил. :
26. Дополнения к «Руководству по проектированию вентиляции угольных шахт» /М-во угольной пром-сти СССР. Гос. Макеевский науч.-исслед. ин-т по безопасности работ пром-сти. М., Недра, 1981.- 79 с.
27. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом. – М.: «Недра», 1972.
28. Еремеева А.М. Обоснование способа защиты подземного персонала угольных шахт от воздействия вредных выбросов дизель-

- гидравлических локомотивов / Диссертация ... кандидата техн. наук, Горный университет. - Санкт-Петербург, 2020. - 125 с.
29. Жалин Н. И. Разработка режимов проветривания при применении дизельного оборудования в подземных выработках / Отчет по НИР. – Алма-Ата: ВНИИцветмет, 1974. - 201 с
 30. Жуков М.О., Иванов А.Е., Мацко А.В., Меркулов И.В., Нарымский Б.В. Система наблюдения и оповещения персонала угольных шахт. Состояние и перспективы развития // Вычислительные технологии. - 2013. Т. 18. - С. 107-112.
 31. Земсков А.Н., Кондрашев П.И., Старков Л.И. Развитие механизированной разработки калийных руд / Монография. - Пермь: Изд-во Пермского государственного технического университета, 2007. 519 с.
 32. Измерение массовых концентраций оксида и диоксида азота в воздухе рабочей зоны по реакции с реактивом Грисса-Илосвая методом фотометрии. Методические указания. МУК 4.1.2473—09
 33. Инструкция по безопасному применению самоходного (нерельсового) оборудования в подземных рудниках. - М.: «Недра», 1973. – 33 с.
 34. Инструкция по расчету количества воздуха, необходимого для проветривания действующих угольных шахт. - М.: Недра, 1975. – 80 с.
 35. Исследовать динамику изменения параметров вентиляции в зависимости от горнотехнических факторов и разработать требования к средствам дистанционного и автоматического контроля вентиляции / Отчет по НИР, рук-ль Пучков Л. А. – М.: МГИ, 1976. - 165 с.
 36. Казаков Б.П., Круглов Ю.В., Шалимов А.В., Левин Л.Ю., Исаевич А.Г., Стукалов В.А. Совершенствование ресурсосберегающих систем вентиляции рудников Верхнекамского месторождения калийных солей // Горный журнал. 2008. - № 10. - С. 81-83.
 37. Климова Е. В. Методы дескриптивной статистики в анализе токсичных составляющих отработавших газов судовых дизелей // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. – 2010. – № 2. – С. 88–96.

38. Климова Е. В. Оценка концентрации токсичных составляющих в отработавших газах судовых дизелей и влияния конструкций камер сгорания на их количество // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. – 2009. – № 2. – С. 162–166.
39. Кобылкин А.С. Сравнение результатов шахтных исследований с результатами моделирования процессов пылепереноса и пылеотложения / В сборнике: Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. 2018. – С. 269-273.
40. Сайт ООО "Шахтэксперт-Системы". minesoft.ru
41. Кобылкин С. С., Каледина Н. О., Кобылкин А. С., Сенаторов В. А., Нагорнюк В. В. Динамика выхлопных газов от дизельных машин в рудниках // Горный журнал. – 2023. - №12. – С. 95-102. – DOI: DOI: 10.17580/gzh.2023.12.15.
42. Кобылкин С.С. Методологические основы системного проектирования вентиляции шахт / Диссертация доктора технических наук, Моск. Горный ун-т. - М.: МГГУ 2018. – 322 с.
43. Кобылкин С.С. Обоснование метода расчета параметров вентиляции шахт на основе объемного моделирования аэрогазодинамических процессов. Диссертация ... кандидата технических наук, Моск. Горный ун-т. - М.: МГГУ. - 2011. – 128 с.
44. Кобылкин С.С., Михеев А.Е., Удалов Р.А., Кобылкин А.С. Расчёт количества воздуха для проходческих забоев с учётом динамики работы машин в горных выработках // Горная техника, № 2 (14) СПб.: изд. "Славутич" – 2014 – 52-55 с.
45. Козырев С.А., Осинцева А.В. Обоснование эффективных вариантов регулирования вентиляции подземного рудника и оптимизация параметров регуляторов посредством генетического алгоритма // Вестник Мурманского государственного технического университета, Т. 14, 2011. - № 3. - С. 530-534.
46. Козырев С.А., Осинцева А.В., Амосов П.В. Управление вентиляционными потоками в горных выработках подземных рудников на основе математического моделирования аэродинамических процессов.- Апатиты: КНЦ РАН, 2019.-114 с.

47. Козырев С.А., Осинцева А.В. Оптимизация размещения регуляторов распределения воздуха в вентиляционной системе рудника // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. - № 5. С. 135-143.
48. Кормщиков Д.С. Исследование и разработка систем аэрогазодинамической безопасности подземных рудников: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Пермь: Горный институт Уральского отделения РАН, 2015. 24 с.
49. Крашенинников С. В. Современные подходы к диагностированию дизельных двигателей внутреннего сгорания // Электронный журнал «Вестник Новосибирского государственного педагогического университета» 2013. -№ 2(12), www.vestnik.nspu.ru.
50. Круглов Ю.В. Моделирование систем оптимального управления воздухораспределением в вентиляционных сетях подземных рудников // Автореф. дис. ... канд. техн. наук, Горный институт Уральского отделения РАН. Пермь: ГИ УРО РАН, 2006. - 24 с.
51. Круглов Ю.В. Теоретические и технологические основы построения систем оптимального управления проветриванием подземных рудников: Автореф. дис. ... доктора техн. наук, Горный институт Уральского отделения РАН. - Пермь: ГИ УРО РАН, 2012. - 42 с.
52. Круглов Ю.В., Семин М.А. Совершенствование алгоритма оптимального управления проветриванием вентиляционных сетей сложной топологии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. Т. 12. - 2013. № 9. - С. 106-115.
53. Кузьминых Е.Г., Кормщиков Д.С. Анализ методов расчета требуемого количества воздуха для разжижения отработанных выхлопных газов // «Горное эхо», № 3 (80), Пермь: Горный институт УрО РАН, 2020. – С. 107-114. DOI:10.7242/echo.2020.3.21,
54. Левин Л.Ю., Семин М.А., Попов М.Д., Жихарев С.Я. Валидация модели тепломассопереноса в атмосфере горизонтальной горной выработки при наличии интенсивного источника нагрева // Недропользование – 2024. – Т. 24. – № 3. – С. 169-176. DOI: 10.15593/2712-8008/2024.3.8

55. Левин Л.Ю., Круглов Ю.В. Исследование рециркуляционного способа проветривания калийных рудников и его экономическая эффективность // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. - №. 10. - С. 39-48.
56. Лившиц В. М., Крашенинников С. В., Пятин С. П. Перспективные разработки в области диагностики автотракторных дизелей // Вестник ИрГСХА. – Иркутск : ИрГСХА. – 2010. – Вып. 38. – С. 77–81.
57. Мальцев С.В. Исследование и разработка способов определения аэродинамических параметров сложных вентиляционных систем подземных рудников: Автореф. дис. ... канд. техн. наук, Горный институт Уральского отделения РАН. - Пермь:Гт УРО РАН 2020. - 24 с.
58. Медведев И. И. Проветривание калийных рудников - М.: «Недра», 1970. – 207 с.
59. Местер И.И., Засухин И.Н. Автоматизация контроля и регулирования рудничного проветривания. - М.: Недра, 1974. - 240 с.
60. Методика измерения массовой концентрации сажи в промышленных выбросах и в воздухе рабочей зоны. Федеральный реестр ФР.1.31.2001.00384.
61. Методические основы определения количества воздуха для проветривания подземных выработок при эксплуатации машин и механизмов с двигателями внутреннего сгорания/ Гендлер С.Г., Гридина Е.Б., Егорова Н.А., Козырев С.А., Согрин Б.Б.// Безопасность труда в промышленности. 2020. № 4. С. 45-51.
62. Накаряков Е.В. Натурные исследования рудничной атмосферы при работе техники с двигателями внутреннего сгорания // Горное эхо, 2021.-№4 (85). Пермь: ГИ УрО РАН, – С.113-118.. DOI:10.7242/echo.2021.4.22
63. Паршаков О.С., Зайцев А.В., Нестеров Е.А., Андрейко С.С. Комплексное исследование газовой обстановки рудников // ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень - 2023.-№ 2. – С. 5-29. - DOI: 10.25018/0236_1493_2023_2_5.
64. Пашукевич С.В. Образование и влияние сажи на моторные масла / Вестник СиБАДИ, 2023. – №20 (2) – с. 248-259. EDN: ZPHNOZ, <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-2-248-259>.

65. ПБ 03-428-02 Серия 03. Выпуск 12/колл.авт.- М.: ФГУП «НТЦПБ в промышленности Ростехнадзора России», 2004. - 408 с.
66. Пелипенко М. В., Баловцев С. В., Айнбиндер И. И. К вопросу комплексной оценки рисков аварий на рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 11. – С. 180–192. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-180-192.
67. Петров Н.Н., Зырянов С.А. Система автоматизированного управления проветриванием шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2009. - № S13. - С. 9-15.
68. Положение об аэрогазовом контроле в угольных шахтах. Серия 05. Выпуск 13. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2016. – 72 с.
69. Пучков Л.А., Каледина Н.О., Кобылкин С.С. Методология системного проектирования вентиляции шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2014. - № S1. - С. 128-136
70. Пучков Л.А., Бахвалов Л.А. Методы и алгоритмы автоматического управления проветриванием угольных шахт. - М.: Недра, 1992. - 399 с.
71. Разработать и внедрить эффективные схемы проветривания глубоких рудников с учетом применения оборудования с дизельным приводом // Отчет по НИР, рук-ль Пучков Л. А. – М.: МГИ, 1976. - 225с.
72. Разработать и внедрить эффективные схемы проветривания глубоких рудников с учетом применения оборудования с дизельным приводом/ Отчет о НИР, рук-ль Пучков Л. А. – М.: МГИ, 1975. - 192 с.
73. Рокош У.: Бортовая диагностика /Перевод с нем. ООО «СтарСПб». - М.: ООО «Издательство «За рулем», 2013. - 224 с.
74. Росляков А. С. Оптимизация проветривания тупиковой выработки при работе в ней машин с двигателями внутреннего сгорания / Диссертация ... кандидата технических наук, ФГБУ «Уральский государственный горный университет». – Екатеринбург: УГГУ, 2012. – 178 с.
75. Руководство по проведению депрессионных и газовых съёмов в угольных шахтах. - М.: Недра 1975. – 64 с.

76. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – М.: Недра, 1975. – 238 с.
77. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. - Макеевка-Донбасс: МакНИИ, 1989. – 320 с.
78. Сайт «Горного института Уральского отделения Российской академии наук», обособленное подразделение – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук. mi-perm.ru, aeroset.net.
79. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Пинструкция по локализации и ликвидации » / Приказ № 520 от 21 декабря 2020.
80. Сайт.Строительные машины и оборудование.stroy-technics.ru»stroitelnye-mashiny-3 23.11.2024 г. – 15.12.2024 г.
81. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений (Hygienic requiements to occupational microclimate).
82. Святный В. А. Исследование процессов управления проветриванием выемочных участков угольных шахт методами математического моделирования / Автореферат дис.кандидата технических наук, Донецкий политехн. ин-т / Донецк: ДПИ, 1966. - 20 с.
8. Семин М.А., Гришин Е.Л., Левин Л.Ю., Зайцев А.В. Автоматизированное управление вентиляцией шахт и рудников. Проблемы, современный опыт, направления совершенствования // Записки Горного института. 2020. Т. 246. С. 623-632. DOI: 10.31897/PMI.2020.6
84. Сенаторов В. А. Определение расхода воздуха в горных выработках на основе натурных измерений фактической газовости оборудования с двигателями внутреннего сгорания // Горные науки и технологии. – 2024. - № 1 (9). - С.53-59.
85. Сенаторов В.А. Методика проведения натурных экспериментов по определению компонентов фактического газовыделения от машин с двигателями внутреннего сгорания в стационарном и динамическом

- режиме. Материалы Конференции "Промышленная безопасность и охрана труда", С-Петербург: СПГУ, 2024. – С.122 -124.
86. Сенаторов В.А. Основные параметры атмосферы подземных рудников, оказывающие влияние на состояние условий труда работников // Безопасность жизнедеятельности, 2024. - №5 (281). С.12-20.
 87. Сенаторов В.А., Сенаторова М.Г. Основные направления экспресс-диагностики двигателей внутреннего сгорания на основе состава выхлопных газов самоходных машин подземных рудников /Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: материалы двадцать первой Всероссийской научно-практической конференции (Том 1), 29 ноября 2024 г.– Старый Оскол: СТИ НИТУ МИСИС, 2024– С.289-294.
 88. Сенаторов В.А., Сенаторова М.Г., Калинин И.М. Совершенствование схемы проветривания рудника на основе математического моделирования аэрогазовых процессов при добыче железной руды. Материалы XXI всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. Секция 2. Горное дело. СТИ НИТУ МИСИС Старый Оскол (2024). – С.295-300.
 89. Тимченко А.Н. Обоснование эффективных средств и параметров аспирационного обеспыливания высокопроизводительных проходческих забоев угольных шахт: диссертация ... кандидата технических наук, Горный институт НИТУ МИСИС. – М.:НИТУ МИСИС, 2021. – 150 с.
 90. Уварова В.А. Методологические основы контроля пожароопасных и токсических свойств шахтных полимерных материалов. /Дисс... доктора технических наук, АО «НЦ ВостНИИ». - Кемерово; НЦ ВостНИИ, 2015. – 300 с.
 91. Ушаков К.З. Газовая динамика шахт. - М.: Издательство МГГУ, 2004.- 481 с.
 92. Ушаков К.З., Бурчаков А.С., Пучков Л.А Рудничная вентиляция: Справочник / под редакцией Ушакова К.З., 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1988. - 439 с.

93. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» / Приказ № 505 от 8 декабря 2020.
94. Цой С.В. Автоматическое управление вентиляционными системами шахт. - Алма-Ата: Наука, 1975. - 335 с.
95. Achieving energy efficiency with medium voltage variable speed drives for ventilation-on-demand in South African mines / A.J.H.Nel, D.C.Arndt, J.C.Vosloo, M.J.Mathews // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 232. P. 379-390. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.05.376
96. Acuña E. A Review of Primary Mine Ventilation System Optimization / E.I.Acuña, I.S.Lowndes // Interfaces. 2014. Vol. 44. Iss. 2. P. 163-175. DOI: 10.1287/inte.2014.0736
97. Acuña E. Free and semi controlled splitting network optimisation using GAs to justify the use of regulators / E.Acuña, S.Hall, I.Lowndes // Proceedings of the IV International Conference on Mining Innovation, Gecamin, 23-25 June, 2010, Santiago, Chile, 2010. P. 79-87.
98. Acuña E. Totten mine ventilation control system update: implementation and savings achieved with Level 1 «User control» and future plans / E.Acuña, C.Allen // Proceedings of the 16th North American Mine Ventilation Symposium. 17-22 June 2017, Golden, Colorado, USA, 2017. P. 7-14.
99. ANSYS FLUENT Theory Guide. Release 18.0. ANSYS, Inc. 2017. 1034 p.
100. Barnes R.J. A partial solution to optimal mine ventilation network design // Proceedings of the 4th US Mine Ventilation Symposium, 5-7 June, 1989, Berkeley, USA. P. 395-404.
101. Barnes R.J. A partial solution to optimal mine ventilation network design // Proceedings of the 4th US Mine Ventilation Symposium, 5-7 June, 1989, Berkeley, USA. P. 395-404.
102. Brokering D.R. Practical Implementation of VOD at the Henderson Mine / D.R.Brokering, D.M.Loring, C.J.Rutter // Proceeding of the 16th North American Mine Ventilation Symposium, 17-22 June, 2017, Golden, Colorado, USA. 2017. P. 15-22.
103. Chatterjee A. Optimisation of mine ventilation fan speeds on demand / A.Chatterjee, X.Xia, L.Zhang // 2014 International Conference on the

- Eleventh Industrial and Commercial Use of Energy, 19-20 August, 2014, Cape Town, South Africa. 2014. P. 1-7. DOI: 10.1109/icue.2014.6904187
104. Chatterjee A. Optimization of mine ventilation fan speeds according to ventilation on demand and time of use tariff / A.Chatterjee, L.Zhang, X.Xia // Applied Energy. 2015. Vol. 146. P. 65-73. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.01.134
 105. Calizaya F. Algorithm for selecting the optimum combination of main and booster fans in underground mines / F.Calizaya, M.J.McPherson, P.Mousset-Jones // Proceedings of the 3rd Mine Ventilation Symposium, Berkeley, USA.1987. P. 408-417.
 106. De Vilhena Costa L. Cost-saving electrical energy consumption in underground ventilation by the use of ventilation on demand / L.De Vilhena Costa, J.Margarida da Silva // Mining Technology. 2020. Vol. 129. № 1. P. 1-8. DOI: 10.1080/25726668.2019.1651581
 107. Hardcastle S.G. Green and economic mine ventilation with an integrated air management system / S.G.Hardcastle, M.K.Gangal, E.Leung // Proceedings of the 7th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, 1998, Balkema, Rotterdam. P. 785-793.
 108. [.https://enginerishka.ru/ventilyaciya/raschet-nagreva-vozduxa-v-ventilyatore.html](https://enginerishka.ru/ventilyaciya/raschet-nagreva-vozduxa-v-ventilyatore.html)
 109. Huang C. Mine ventilation network optimization using the generalized reduced gradient method / C.Huang, Y.J.Wang // Proceedings of the 6th American Mine Ventilation Symposium, 21-23 June, 1993, Salt Lake City, Utah, USA, 1993. P. 153-161.
 110. Jacques E.J. Solution to the optimal setting of air flow-control devices in a ventilation network // Proceedings of the 5th US Mine Ventilation Symposium, 3 May, 1991, Morgantown, USA.
 111. Kashnikov A.V. Applying machine learning techniques to mine ventilation control systems / A.V.Kashnikov, L.Levin // Proceedings of 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, 24-26 May, 2017, St. Petersburg, Russia. 2017. P. 391-393.
 112. Kumar G.V. Minimizing power consumption in multiple fan networks by optimum fan selection / G.V.Kumar, V.R.Sastry, G.V.Krishna Rao //

- Proceedings 7th American Mine Ventilation Symposium, 5-7 June, 1995, Lexington, Kentucky, USA, 1995. P. 491-497.
113. Levin L.Yu. Conception of automated ventilation control system and its implementation in Belarussian potash mines / L.Yu.Levin, M.Semin // Proceedings of the 16th North American Mine Ventilation Symposium, June 2017, Golden, Colorado, USA, 2017. P. 1-8.
 114. Li B.-R. Mine Ventilation Network Optimization Based on Airflow Asymptotic Calculation Method / B.-R.Li, M.Inoue, S.-B.Shen // Journal of Mining Science. 2018. Vol. 54. Iss.1. P. 99-110. DOI: 10.1134/S1062739118013413
 115. Li G. Sensitivity analysis on parameter changes in underground mine ventilation systems / G.Li, C.Kocsis, S.Hardcastle // Journal of Coal Science and Engineering (China). 2011. Vol. 17. № 3. P. 251-255. DOI: 10.1007/s12404-011-0305-z
 116. Lowndes I.S. The application of genetic algorithms to optimize the performance of a mine ventilation network: The influence of coding method and population size / I.S.Lowndes, T.Fogarty, Z.Y.Yang // Soft Computing. 2005. Vol. 9. № 7. P. 493-506. DOI: 10.1007/s00500-004-0364-9
 117. McPherson M.J. Subsurface ventilation engineering. Fresno, California: Mine Ventilation Services Inc., 2009. 905 p. DOI: 10.1007/978-94-011-1550-6
 118. Tran-Valade T. Ventilation-On-Demand key consideration for the business case / T.Tran-Valade, C.Allen // Proceedings of the Toronto 2013 CIM Conference, Toronto, Canada Вентиляция по требованию Ключевое соображение для экономического обоснования.
 119. Ventilation-on-demand: Quality or quantity – A pilot trial at Barrick Gold's Bousquet mine / S.G.Hardcastle, M.K.Gangal, M.Schreer, P.Gauthier // Proceedings 8th American Mine Ventilation Symposium, 11-17 June, 1999, Rolla, Missouri, USA, 1999. P. 31-38.
 120. Wallace K. The practice of mine ventilation engineering / K.Wallace, B.Prosser, J.D.Stinnette // International Journal of Mining Science and Technology. 2015. Vol. 25. Iss. 2. P. 165-169. DOI: 10.1016/j.ijmst.2015.02.001

121. Wang Y.J. A procedure for solving a more generalized system of mine ventilation network equations // Proceedings of the 4th US Mine Ventilation Symposium, 5-7 June, 1989, Berkeley, California, USA, 1989. P. 419-424.
122. Wimshurst A. Fluid Mechanics 101 Calculators & Tools. 2019. – 7 p. <https://www.fluidmechanics101.com/pages/tools.html> (дата обращения 03.09.2020)
123. Womack J.P. Lean Thinking. Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation / J.P.Womack, D.T.Jones. New York: Free Press, 2003. 397 p
124. Wu X. Comparison of methods for determination of booster fan locations in underground mines / X.Wu, E.Topuz // Proceedings of the 4th American Mine Ventilation Symposium, 5-7 June, 1989, Berkeley, USA, 1989. P. 355-362.

Приложение П1.**Методика проведения натурных экспериментов по определению фактического газовыделения от машин с ДВС.**

Утверждена Проректором по науке и инновациям НИТУ «МИСиС» д-р техн. наук, проф. М.Р. Филоновым в составе «О Т Ч Ё ТА О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ «МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВОЗДУХА И ОРГАНИЗАЦИИ ПРОВЕТРИВАНИЯ РУДНИКА ПОДЗЕМНОГО»

1. Средства измерения

Измерения абсолютного и дифференциального давления осуществляются:

1.1 Прибором для измерения абсолютного и дифференциального давления МБГО-2

Прибор МБГО-2 удовлетворяет требованиям, предъявляемым к взрывозащищённому электрооборудованию группы I (рудничное) по ГОСТ Р 51330.0 с видом взрывозащиты - искробезопасная электрическая цепь ia по ГОСТ Р 51330.10 с маркировкой взрывозащиты PO ExiaI $0^{\circ}\text{C} \leq t_a \leq 40^{\circ}\text{C}$. (технические характеристики: нижняя граница диапазона измерений абсолютного давления от 40 кПа, верхняя до 150 кПа номинальная цена единиц наименьшего разряда 10 Па, максимально допустимое абсолютное давление 400 кПа, предел допускаемой основной погрешности измерений абсолютного давления не более $\pm(50+0,001 \cdot P)$, диапазон измерений дифференциального давления нижняя граница от 0 Па, верхняя 7500, предел допускаемой основной погрешности измерений дифференциального давления не более $\pm(5+0,015 \cdot P)$, максимально допустимое дифференциальное давление – 10 кПа);

1.2 Трубкой Пито

Трубка пневмометрическая «Пито» предназначена для применения в качестве рабочего средства измерений скорости, динамических и статических

давлений газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения в газоходах и вентиляционных системах.

Данное измерение производится при использовании средств измерений и оборудования согласно ГОСТ12.3.018 Системы вентиляционные.

Измерение температуры и влажности осуществляются:

1.3 Термометром ТГО-2МП

Термометр-психрометр предназначен для измерения температуры и влажности воздуха;

Измерения скорости движения воздуха осуществляются:

1.4 Анемометром переносным рудничным АПР-2

Анемометр внесен в реестр средств измерений (№16790-02). Крыльчатый анемометр АПР-2 предназначен для определения скорости воздуха до 40 м/с, с минимальной скоростью 0,01 м/с, при измерениях в шахтах и рудниках всех категорий.

1.5. Анемометр переносной акустический АПА

Прибор АПА-1/2 предназначен для измерения скорости воздушного потока в горнорудной и других отраслях промышленности, а также в производственных и жилых зданиях при санитарном обследовании и может быть включен в информационную сеть для передачи информации. Принцип работы портативного акустического анемометра АПА-1/2: основан на измерении разности фаз акустического сигнала, распространяющегося в анемометрическом канале прибора по потоку и против. Конструктивно прибор выполнен во взрывозащищенном корпусе, состоящий из двух соединенных между собой основных частей (анемометрического канала и корпуса с электронной схемой), изготовленных из алюминиевых сплавов и имеющих снаружи полимерное покрытие. Прибор не имеет встроенного источника питания, поэтому у прибора имеется разъем для подачи питающего напряжения и передачи информации об измерениях в информационную сеть. Прибор не имеет подвижных деталей, что способствует способности измерять

сверхмалые скорости воздушного потока и стабильности во время эксплуатации.

АПА-1/2 сертифицирован по ГОСТ Р федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (сертификат соответствия N РОСС RU.ME92/B02583) о взрывозащищенности и рудничном исполнении.

Измерения состава выхлопных газов от машин с ДВС осуществляются:

1.6 MRU Delta 2000 CD

Delta 2000 CD - компактный профессиональный газоанализатор, предназначенный для настройки топливосжигающего оборудования и определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу промышленных предприятий. Прибор применяется для контроля и наладки котлов различной мощности, горелок, а также стационарных двигателей.

1.7. Testo 350.

Testo 350-XL Система анализа дымовых газов портативная для проведения анализа дымовых газов в промышленности, энергетике, на турбинах, двигателях и отопительных установках.

Измерения состава рудничной атмосферы осуществляются:

1.8. Микросенс МЗ

Портативный газоанализатор Микросенс МЗ. Предназначен для измерения до взрывоопасных концентраций горючих газов, объемных долей кислорода, водорода, диоксида углерода, вредных газов и паров летучих органических соединений в воздухе рабочей зоны.

Область применения: Взрывоопасные зоны классов 0, 1 и 2. Подземные выработки шахт и рудников, в том числе опасные по газу и пыли. Категории взрывоопасных смесей ПА, ПВ и ПС.

2. Нормативно-техническая документация, в соответствии с которой производятся измерения

Измерения произведены в соответствии с указаниями норматива «Руководство по производству депрессионных и газовых съемок в угольных шахтах». М. «Недра», 1975. Т «Сборника нормативных правовых актов ВГСЧ

«Методические рекомендации по проведению ВДС на объектах ведения горных работ» Москва 2014.

3. Оформление результатов измерений

Результаты измерений заносятся в разработанные формы протоколов (рисунок 1.1), а также записываются во внутреннюю память приборов с последующей обработкой в специализированном программном обеспечении.

Таблица П1- Характеристики применяемых приборов

Расчетный (измеряемый) параметр	Диапазон измерений	Разрешение	Преимущества
TESTO -350 XL (350)			
O ₂	0 – 25%	0,01%	Управляющий модуль, память 250000 измерений, различные зонды и модуль пробоподготовки, интеграция с другими модулями, возможность редактирования и управления файлами в ПО, различные функциональные настройке по отбору проб, длительный период работы, встроенный термопринтер
CO	0 – 10000 и более ppm	0,1 – 1 ppm	
NO	0 – 3000 ppm	0,1 – 1 ppm	
NO ₂ NO) _x	0 – 2500 ppm	0,1 ppm	
SO ₂	0 – 25000 ppm	1 ppm	
CO ₂	0 – 25 %	0,01 ppm	
H ₂ S	0 – 1500 ppm	0,1 ppm	
Водород	0 – 0,5 об. %	0,1 ppm	
Углеводороды	0 – 40000 ppm	0,1 ppm	
Температура воздуха (газа)	0 – 45 °C 0 – 1000 °C	0,1 °C	
Тяга	- 200 гПа - + 50 гПа	0,01 гПа	
КПД	0 – 120%	0,1%	
Скорость газового потока	До 40 м/с	0,1 м/с	
Избыток воздуха	+		
MRU DELTA 2000 CD			
O ₂	0-21%	0,1%	Зонд длиной 300 мм., Ø 8 мм. с внутренней трубкой и конусом, 2,7 м шланги для
CO	0 – 10000 ppm	1 ppm	
NO	0 – 2000 ppm	1 ppm	

CO ₂	+		газозабора и измерения тяги, емкость для конденсата с микрофильтром, зарядное устройство аккумулятора, встроенный термопринтер
NO ₂ NO) _x	+	1 ppm	
Температура воздуха (газа)	0 – 650 °C	0,1 ⁰ C	
Тяга	- 20 + 20 г Па	+1%	
Избыток воздуха	+		
АГМ - 510			
O ₂	0 – 21%	+0,2%	Пробоотборный зонд (ручка зонда, газовый шланг и термокомпенсационный кабель конденсатосборник с фильтром грубой очистки, разъем с термодатчиком), Встроенный модуль измерения избыточного давления / разрежении, Устройство подготовки пробы «УПП-510», встроенный термопринтер
CO	0 – 40000 ppm	+10%	
NO	0 – 2000 ppm	+25%	
NO ₂ NO) _x	0 – 2000 ppm	+10	
CO ₂	0 – 20%	+0,3%	
Температура воздуха (газа)	- 20 +800 °C	+1%	
Тяга	+		
Избыток воздуха	+		

4. Обработка материалов измерений

Определение количества воздуха Q , осуществляется по следующей формуле:

$$Q = SV, \quad (1.1)$$

где S – площадь поперечного сечения, м²;

V – скорость воздушного потока, м/с.

Скорость воздушного потока в вентиляционном трубопроводе может быть рассчитана по формуле

$$V = 0,85 \sqrt{\frac{2h_{\text{ск}}}{\rho}}, \quad (1.2)$$

где $h_{\text{ск}}$ – скоростная депрессия, Па; значения переводятся в Па (1 даПа=10 Па);

ρ – плотность воздуха, Н·с²/м⁴ (кг/м³).

Плотность воздуха ρ определяется по зависимости

$$\rho = \frac{0,461 \cdot B}{T}, \quad (1.3)$$

где B – атмосферное давление, мм.рт.ст. (определяется на момент проведения исследований по барометру-анероиду);

T – температура воздушного потока, °К (°К=°С+273).

При производственных процессах, связанных со сжиганием различных видов топлива (в котлоагрегатах, в печах, в плавильных, факельных и дизельных установках, в горнах, в двигателях автотранспортной техники и т.д.), содержание NO в дымовых газах составляет 95 – 98 % и более, NO₂ – 2 – 5 % и менее. По действующей в России методологии при инструментальных измерениях в дымовых газах топливо использующих устройств измеряется массовая концентрация (в мг/м³) суммы оксидов азота NO_x (в пересчете на NO₂), а при использовании расчетных методик определяется величина выброса суммы оксидов азота NO_x (в пересчете на NO₂), как в "Методике определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час". - М, 1999.

При раздельном определении содержания NO и NO₂ в дымовых газах в обязательном порядке производится их пересчет в NO₂ (или NO_x (в пересчете на NO₂)) по формуле

$$\text{NO}_x \text{ (в пересчете на NO}_2\text{)} = 1,53 \text{ NO} + \text{NO}_2 \quad (1.4)$$

Также в соответствии с утратившими силу Правилами безопасности при строительстве [15] (стр. 150, §12.1.7) «при проверке степени разжижения вредных продуктов взрыва следует принимать: 1 л окислов азота эквивалентными 6,5 л окиси углерода, 1 л сернистого газа – 4,5 л окиси

углерода, 1 л сероводорода – 2,4 л окиси углерода». Объемная концентрация газа пересчитывается в процентное содержание по объему по следующей формуле

$$C_{\text{в.}} = \left(\frac{C_{\text{об.}}}{100} \right) \cdot \left(\frac{M \cdot 1000}{22,4} \right) \quad (1.5)$$

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСИС»

ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ № _____

Дата и время измерения	
Место проведения измерений	
Марка и тип горной техники	
Масса автомобиля (порожного / груженого)	

Параметры РА:

Измеряемый параметр	Величина	Ед. измерения
$P_{\text{абс.}}$		
$V_{\text{возд.}}$		
S		
t		
W		

Характеристики двигателя:

Двигатель	
Мощность	
Год выпуска	
Тормоза	
Скорость (ук.15%)	

Состав выхлопных газов:

Параметр	O2	CO2	CO	NO	NO2	SO2	H2	ν	t
Единицы измерения									
Обороты двигателя	XX / P / T / РД								

XX – холостой ход; P – разгон; T – торможение; РД – равномерное движение

Эскиз места проведения:

O2 ____; CO2 ____; CO ____; CH4 ____

Эскиз места выхлопной трубы:

Площадь сечения и форма выхлопной трубы:

Месторасположения ~~вых.~~ трубы и замерной станции

Лица, проводившие измерения

(подпись)

ФИО, должность

При измерениях присутствовал

(подпись)

ФИО, должность

(подпись)

ФИО, должность

Рисунок П1.1 – Протокол измерений

5. Проведение измерений состава выхлопных газов от машин с ДВС

В основе разработанной методики оценки фактического состава выхлопных газов от машин с ДВС лежит применение рабочих станций Testo 350XL и MRU 2000, АГМ-510 (возможно использование современных аналогов более поздних моделей указанных производителей). Данные измерительные станции предназначены для комплексного измерения состава выхлопных газов с учетом их температуры. Максимально допустимая температура измерения равна 500 °С.

Анализатор Testo 350 M/XL измеряет все параметры, необходимые для контроля процессов горения (например, концентрации O_2 , CO , CO_2 , $NO_{ПДМ}$, SO_2 , H_2S , H_2). Регистратор в зависимости от подключенных зондов (до 4-х зондов одновременно) может измерять и записывать в память такие параметры как: температура, относительная влажность, скорость потока воздуха/выхлопных газов, дифференциальное давление и другие параметры.

Управление Анализатором осуществляется с Управляющего модуля или с ПК, оснащенного платой PCMCIA, с помощью программы Testo ComSoft 3.

Анализатор может самостоятельно осуществлять измерения после программирования с Управляющего модуля или ПК. В каждый из Анализаторов можно загрузить только одну измерительную программу.

После ручного или автоматического запуска измерений дымовой газ всасывается встроенным в Анализатор насосом через газоотборный зонд и шланги и подается в блок пробоподготовки. Блок пробоподготовки охлаждает газ до температуры +4...+8 °С. При охлаждении выделяется конденсат, который отсасывается встроенным в Анализатор перельстатическим насосом, и подается в сборник конденсата. Таким образом обеспечивается осушка дымового газа, что гарантирует точные измерения концентраций NO_2 и SO_2 .

Осушенный газ поступает на фильтр (белый), который задерживает частицы пыли и сажи. Данный фильтр оснащен блокировкой воды (при поступлении воды на фильтр его поры забиваются и блокируют поступление газа на насос и сенсоры измерения концентрации газа).

Затем газ поступает на сенсоры. Очень небольшое количество газа поглощается сенсорами, которые при этом вырабатывают сигнал, соответствующий измеряемой концентрации газа. Остальная часть газа, пройдя по газовому тракту прибора, выбрасывается в атмосферу. Модуль измерения концентрации СО оснащен функцией продувки свежим воздухом отдельно от других модулей. Продувка свежим воздухом может осуществляться в ручном или автоматическом режиме при достижении заранее заданной концентрации СО.

Анализатор имеет 2 разъема для подключения зондов температуры: один для температуры дымового газа, измеряемой газоотборным зондом, и второй - дополнительный (например, для температуры окружающего воздуха или воздуха, поступающего на горение).

К разъемам Анализатора можно подключить зонды с термопарой Тип К (NiCrNi) и зонды с терморезистором NTC.

Порядок проведения измерений:

1. Прибор размещается в защитном кейсе (рисунок 1.2);
2. Запускается программа измерений, фиксируется время запуска прибора;
3. Измерительный зонд размещается в выхлопной трубе и крепится специальными фиксирующими устройствами.
4. На зонд крепится теплосъемник и защитный чехол для недопущения оплавления ручки зонда.
5. Приборная станция крепится на машине (рисунок 1.3);
6. Машина заводится и отправляется на полный цикл своей работы, включающий погрузку, разгрузку, движение вверх и вниз по горным выработкам и по горизонтальным участкам. При этом каждая технологическая операция фиксируется по времени;
7. По завершению полного цикла работ, машина останавливается, двигатель глушится (фиксируется время);
8. Запись показаний останавливается и фиксируется время.



Рисунок П1.2 – Общий вид прибора



Рисунок П1.3 – Закрепление прибора на машине с ДВС

Далее в программном обеспечении ComSoft testo 350/454 предназначенном для управления, настройки и программирования различных компонентов измерительной системы testo 454/350 M/XL, а также для

считывания, просмотра, архивирования и обработки измеренных данных производится обработка полученных данных.

6. Меры безопасности

Все приборы при спуске и перемещении должны находиться в футлярах, а силиконовый шланг во избежание попадания в него влаги с обоих концов должен быть заглушен пробками, смотан в бобину или бухту.

При сгорании топливо-воздушной смеси в цилиндрах дизельного двигателя образуются различные вредные вещества такие как оксид углерода, диоксид углерода, различные окислы азота, альдегиды, сажа, смолы. Концентрация этих веществ сильно зависит от состояния обследуемой машины и этот фактор стоит учитывать при работе пробонаборщика путем экспресс-анализа веществ в воздухе рабочей зоны места отбора проб. Следует учитывать и сильную запыленность поступающего в двигатель воздуха и температуру выхлопных газов при использовании пробоотборника. При проведении работ необходимо использовать штатные средства индивидуальной защиты от опасных факторов.

При отборе проб работник должен находиться на свежей струе и вне зоны действия струи выхлопных газов. При проведении работ назначается старший, который руководит процессом и контролирует окружающую обстановку. При проведении динамических испытаний аппаратура должна быть надежно закреплена на корпусе машины и обеспечена непрерывная связь оператора и пробонаборщика (старшего). При проведении работ в тупиковой части выработок должны работать все штатные средства вентиляции предусмотренные технологическим процессом.

Работы по обследованию ДВС разрешается проводить только в атмосфере с содержащей концентрации вредных веществ ниже ПДК. В случае возникновения аварийных ситуаций необходимо следовать мероприятиям ПЛА согласно установленной позиции и режима аварийного проветривания с использованием штатных средств индивидуальной защиты.

Приложение П2.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ФАКТИЧЕСКОГО ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ОТ МАШИН С ДВС

В результате проведенных измерений по разработанной методике были получены фактические значения состава выхлопных газов, их количеству и температуре по имеющемуся парку самоходной дизельной технике (таблица П1). Также в приведенных таблицах представлен расчёт количества выхлопных газов в пересчете их в м³/с, мг/м³, в пересчете NO_x на СО.

Таблица П2.1 – Перечень типов машин с ДВС на ЯГОКе

1	Машина погрузочно-доставочная ПДМ EPIROC ST1030
2	Буровая установка EPIROK, BOOMER S1D
3	Paus Kref 40 (Горно-шахтная машина PAUS UNIVERSA 50-2 S)
4	Установка буровая Sandvik DD 311
5	Установка буровая Sandvik DD 321
6	Самоходная горно-шахтная машина Normet MULTIMEC SF 060
7	Машина погрузочно-доставочная Caterpillar CAT R1300G
8	Машина погрузочно-доставочная ПДМ SANDVIK LH-307
9	Самоходная смесительно-зарядная машина PX Charmat
10	Машина погрузочно-доставочная ПДМ Sandvik LH410
11	Самоходная горно-шахтная машина Utilift SF 330
12	Машина подземная горно-шахтная Utilift 6330X
13	Установка буровая EPIROK, BOOMER S2
14	Установка буровая подземная DD 310-40
15	Подъемник ножничный HAULOTTE COMPACT 12DX
16	Шахтный самоходный ножничный подъемник PUTZMEISTER MINELIFT

Результаты обработки протоколов измерений по видам оборудования приведены в таблицах П2.1 – П2.12.

Таблица П2.2 – Фактическое газовыделение ST 1030 (407)

	Измерения:				
1	марка			ST 1030 (407)	
2	год выпуска			2019	
3	обороты			700	1500
4	концентрация газа	%	O2	18,3	18,5
5	концентрация газа	%	CO2	2,5	2,3
6	концентрация газа	ppm	CO	77	35
7	концентрация газа	ppm	NO	86	68
8	концентрация газа	ppm	NO2	2	3
9	концентрация газа	ppm	SO2	0	0
10	концентрация газа	%	H2	-	-
11	температура выхлопных газов	°C	<i>t</i>	136	371
12	скорость выхлопных газов	м/с	<i>v</i>	1	1,5
13	дата проведения измерения			21.10.2021	
14	температура воздуха	°C	<i>t</i>	29	
15	влажность воздуха	%	<i>W</i>	86	
16	диаметр воздуховода	мм	<i>d</i>		
17	место проведения измерения				
	Расчёты:				
18	пересчет в NO ₂ (или NO _x)	ppm	NO _x	133,58	107,04
19	площадь сечения воздуховода	м ²	<i>S</i>	0,0039	
20	расход выхлопных газов	м ³ /с	<i>Q_{в.г.}</i>	0,004	0,006
21	концентрация газа CO	мг/м ³	CO	93,170	42,350
22	расход CO в выхлопных газов	мг/с	<i>q_{CO}</i>	0,366	0,249
23	концентрация газа CO2	мг/м ³	CO ₂	47,373	43,583
24	расход CO2 в выхлопных газов	мг/с	<i>q_{CO2}</i>	0,186	0,257
25	концентрация газа NO	мг/м ³	NO	107,500	85,000
26	расход NO в выхлопных газов	мг/с	<i>q_{NO}</i>	0,422	0,500
27	концентрация газа NO2	мг/м ³	NO ₂	3,960	5,940
28	расход NO2 в выхлопных газов	мг/с	<i>q_{NO2}</i>	0,016	0,035
29	расход	мг/м ³	NO _x	166,975	133,800
30	Пересчет NO_x на CO	мг/м ³	CO _x	1178,508	912,050
31	количество воздуха для разбавления NO _x	м ³ /с	<i>Q_{NOx}</i>		
32	количество воздуха для разбавления CO	м ³ /с	<i>Q_{CO}</i>		
33	концентрация газа CO	%	CO	0,0077	0,0035
34	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q_{CO}</i>	0,01778	0,01212
35	Пересчет NO_x на CO	%	CO _x	0,10607	0,08208
	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q_{COx}</i>	0,24489	0,28428

Таблица П2.3 – Фактическое газовыделение ST 1030 (401) ПДМ AtlasCopco

	Измерения:						
1	марка			ST 1030 (401) ПДМ AtlasCopco			
2	год выпуска			2019			
3	обороты			800	1500	2000	2230
4	концентрация газа	%	O ₂	17,8	14,9	14	13,9
5	концентрация газа	%	CO ₂	3,5	5,6	6,4	6,5
6	концентрация газа	ppm	CO	0	10	34	40
7	концентрация газа	ppm	NO	135	198	141	141
8	концентрация газа	ppm	NO ₂	0	0	0	0
9	концентрация газа	ppm	SO ₂	0	0	0	0
10	концентрация газа	%	H ₂	-	-	-	-
11	температура выхлопных газов	°C	<i>t</i>	236	273	305	320
12	скорость выхлопных газов	м/с	<i>v</i>	5	7	9	15
13	дата проведения измерения			16.10.2021			
14	температура воздуха	°C	<i>t</i>	-	-	-	-
15	влажность воздуха	%	<i>W</i>	-	-	-	-
16	диаметр воздуховода	мм	<i>d</i>	овал 100 на 50			
17	место проведения измерения						
	Расчёты:						
18	пересчет в NO ₂ (или NO _x)	ppm	NO _x	206,55	302,94	215,73	215,73
19	площадь сечения воздуховода	м ²	<i>S</i>	0,0039			
20	расход выхлопных газов	м ³ /с	<i>Q</i> _{в.г.}	0,020	0,027	0,035	0,059
21	концентрация газа CO	мг/м ³	CO	0,000	12,100	41,140	48,400
22	расход CO в выхлопных газов	мг/с	<i>q</i> _{CO}	0,000	0,332	1,453	2,850
23	концентрация газа CO ₂	мг/м ³	CO ₂	66,322	106,115	121,275	123,170
24	расход CO₂ в выхлопных газов	мг/с	<i>q</i> _{CO₂}	1,302	2,916	4,284	7,252
25	концентрация газа NO	мг/м ³	NO	168,750	247,500	176,250	176,250
26	расход NO в выхлопных газов	мг/с	<i>q</i> _{NO}	3,312	6,800	6,226	10,377
27	концентрация газа NO ₂	мг/м ³	NO ₂				
28	расход NO₂ в выхлопных газов	мг/с	<i>q</i> _{NO₂}				
29	расход	мг/м ³	NO _x	258,188	378,675	269,663	269,663
30	Пересчет NO_x на CO	мг/м ³	CO _x	1678,219	2473,488	1793,946	1801,206
31	количество воздуха для разбавления NO _x	м ³ /с	<i>Q</i> _{NO_x}				
32	количество воздуха для разбавления CO	м ³ /с	<i>Q</i> _{CO}				
33	концентрация газа CO	%	CO	0	0,001	0,0034	0,004
34	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q</i> _{CO}	0	0,016162	0,07065	0,138529
35	Пересчет NO_x на CO	%	CO _x	0,15104	0,222614	0,161455	0,162109
	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q</i> _{CO_x}	1,74362	3,597833	3,354943	5,614201

Таблица П2.4 – Фактическое газовыделение Boomer S1D EPIROC (513)

	Измерения:			
1	марка			Boomer S1D Epicor (513)
2	год выпуска			2019
3	обороты			Холостой ход
4	концентрация газа	%	O2	15,8
5	концентрация газа	%	CO2	4,7
6	концентрация газа	ppm	CO	0
7	концентрация газа	ppm	NO	194
8	концентрация газа	ppm	NO2	10
9	концентрация газа	ppm	SO2	0
10	концентрация газа	%	H2	-
11	температура выхлопных газов	°C	<i>t</i>	215
12	скорость выхлопных газов	м/с	<i>v</i>	4
13	дата проведения измерения			21.10.2021
14	температура воздуха	°C	<i>t</i>	31
15	влажность воздуха	%	<i>W</i>	84
16	диаметр воздуховода	мм	<i>d</i>	80
17	место проведения измерения			
	Расчёты:			
18	пересчет в NO ₂ (или NO _x)	ppm	NO _x	306,82
19	площадь сечения воздуховода	м ²	<i>S</i>	0,0201
20	расход выхлопных газов	м ³ /с	<i>Q</i> _{в.г.}	0,080
21	концентрация газа CO	мг/м ³	CO	0,000
22	расход CO в выхлопных газы	мг/с	<i>q</i> _{CO}	0,000
23	концентрация газа CO2	мг/м ³	CO ₂	89,061
24	расход CO2 в выхлопных газы	мг/с	<i>q</i> _{CO2}	7,159
25	концентрация газа NO	мг/м ³	NO	242,500
26	расход NO в выхлопных газы	мг/с	<i>q</i> _{NO}	19,493
27	концентрация газа NO2	мг/м ³	NO ₂	19,800
28	расход NO2 в выхлопных газы	мг/с	<i>q</i> _{NO2}	1,592
29	расход	мг/м ³	NO _x	383,525
30	Пересчет NO _x на CO	мг/м ³	CO _x	2492,913
31	количество воздуха для разбавления NO _x	м ³ /с	<i>Q</i> _{NOx}	
32	количество воздуха для разбавления CO	м ³ /с	<i>Q</i> _{CO}	
33	концентрация газа CO	%	CO	0
34	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q</i> _{CO}	0
35	Пересчет NO _x на CO	%	CO _x	0,224362125
	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q</i> _{COx}	10,60889709

Таблица П2.5 – Фактическое газовыделение Paus Kref 40

	Измерения:				
1	марка			Paus Kref 40	
2	год выпуска			2019	
3	обороты			min	max
4	концентрация газа	%	O ₂	18,3	17,9
5	концентрация газа	%	CO ₂	2,4	2,8
6	концентрация газа	ppm	CO	489	211
7	концентрация газа	ppm	NO	54	72
8	концентрация газа	ppm	NO ₂	1	4
9	концентрация газа	ppm	SO ₂	14	0
10	концентрация газа	%	H ₂	-	-
11	температура выхлопных газов	°C	<i>t</i>	42,7	46,6
12	скорость выхлопных газов	м/с	<i>v</i>	23	23
13	дата проведения измерения			21.10.2021	
14	температура воздуха	°C	<i>t</i>	14	
15	влажность воздуха	%	<i>W</i>	79	
16	диаметр воздуховода	мм	<i>d</i>	120	
17	место проведения измерения			ОШЛБ-2 район р/с №9	
	Расчёты:				
18	пересчет в NO ₂ (или NO _x)	ppm	NO _x	83,62	114,16
19	площадь сечения воздуховода	м ²	<i>S</i>	0,0452	
20	расход выхлопных газов	м ³ /с	<i>Q_{в.г.}</i>	1,040	1,040
21	концентрация газа CO	мг/м ³	CO	591,690	255,310
22	расход CO в выхлопных газов	мг/с	<i>q_{CO}</i>	615,339	265,514
23	концентрация газа CO ₂	мг/м ³	CO ₂	45,478	53,058
24	расход CO₂ в выхлопных газов	мг/с	<i>q_{CO2}</i>	47,296	55,178
25	концентрация газа NO	мг/м ³	NO	67,500	90,000
26	расход NO в выхлопных газов	мг/с	<i>q_{NO}</i>	70,198	93,597
27	концентрация газа NO ₂	мг/м ³	NO ₂	1,980	7,920
28	расход NO₂ в выхлопных газов	мг/с	<i>q_{NO2}</i>	2,059	8,237
29	расход	мг/м ³	NO _x	104,525	142,700
30	Пересчет NO_x на CO	мг/м ³	CO _x	1271,103	1182,860
31	количество воздуха для разбавления NO _x	м ³ /с	<i>Q_{NOx}</i>		
32	количество воздуха для разбавления CO	м ³ /с	<i>Q_{CO}</i>		
33	концентрация газа CO	%	CO	0,0489	0,0211
34	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q_{CO}</i>	29,91437	12,90784
35	Пересчет NO_x на CO	%	CO _x	0,114399	0,106457
	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q_{COx}</i>	69,98325	65,12488

Таблица П2.6 – Фактическое газовыделение Sandvik DD 321 (505)

	Измерения:			
1	марка			Sandvik DD 321 (505)
2	год выпуска			2019
3	обороты			800
4	концентрация газа	%	O ₂	14,2
5	концентрация газа	%	CO ₂	6,2
6	концентрация газа	ppm	CO	140
7	концентрация газа	ppm	NO	225
8	концентрация газа	ppm	NO ₂	0
9	концентрация газа	ppm	SO ₂	0
10	концентрация газа	%	H ₂	-
11	температура выхлопных газов	°C	<i>t</i>	142,4
12	скорость выхлопных газов	м/с	<i>v</i>	4
13	дата проведения измерения			21.10.2021
14	температура воздуха	°C	<i>t</i>	31
15	влажность воздуха	%	<i>W</i>	84
16	диаметр воздуховода	мм	<i>d</i>	75
17	место проведения измерения			
	Расчёты:			
18	пересчет в NO ₂ (или NO _x)	ppm	NO _x	344,25
19	площадь сечения воздуховода	м ²	<i>S</i>	0,0177
20	расход выхлопных газов	м ³ /с	<i>Q</i> _{в.г.}	0,071
21	концентрация газа CO	мг/м ³	CO	169,400
22	расход CO в выхлопных газов	мг/с	<i>q</i> _{CO}	11,968
23	концентрация газа CO ₂	мг/м ³	CO ₂	117,485
24	расход CO₂ в выхлопных газов	мг/с	<i>q</i> _{CO₂}	8,300
25	концентрация газа NO	мг/м ³	NO	281,250
26	расход NO в выхлопных газов	мг/с	<i>q</i> _{NO}	19,870
27	концентрация газа NO ₂	мг/м ³	NO ₂	
28	расход NO₂ в выхлопных газов	мг/с	<i>q</i> _{NO₂}	
29	расход	мг/м ³	NO _x	430,313
30	Пересчет NO_x на CO	мг/м ³	CO _x	2966,431
31	количество воздуха для разбавления NO _x	м ³ /с	<i>Q</i> _{NO_x}	
32	количество воздуха для разбавления CO	м ³ /с	<i>Q</i> _{CO}	
33	концентрация газа CO	%	CO	0,014
34	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q</i> _{CO}	0,581823529
35	Пересчет NO_x на CO	%	CO _x	0,266978813
	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q</i> _{CO_x}	11,09532535

Таблица П2.7 – Фактическое газовыделение Sandvik DD 311 (508)

	Измерения:						
1	марка			Sandvik DD 311 (508)			
2	год выпуска			2020			
3	обороты			800	1500	2000	2450
4	концентрация газа	%	O ₂	17,8	16,1	15,1	14
5	концентрация газа	%	CO ₂	3,2	4,5	5,4	6,5
6	концентрация газа	ppm	CO	35	83	49	15
7	концентрация газа	ppm	NO	233	256	245	217
8	концентрация газа	ppm	NO ₂	0	0	0	0
9	концентрация газа	ppm	SO ₂	0	0	0	0
10	концентрация газа	%	H ₂	-	-	-	-
11	температура выхлопных газов	°C	<i>t</i>	131,9	161,2	203,3	258
12	скорость выхлопных газов	м/с	<i>v</i>	2,92	21	25	36
13	дата проведения измерения			16.10.2021			
14	температура воздуха	°C	<i>t</i>	-	-	-	-
15	влажность воздуха	%	<i>W</i>	-	-	-	-
16	диаметр воздуховода	мм	<i>d</i>	80			
17	место проведения измерения			6 блок			
	Расчёты:						
18	пересчет в NO ₂ (или NO _x)	ppm	NO _x	356,49	391,68	374,85	332,01
19	площадь сечения воздуховода	м ²	<i>S</i>	0,0201			
20	расход выхлопных газов	м ³ /с	<i>Q_{в.г.}</i>	0,059	0,422	0,502	0,723
21	концентрация газа CO	мг/м ³	CO	42,350	100,430	59,290	18,150
22	расход CO в выхлопных газах	мг/с	<i>q_{CO}</i>	2,485	42,383	29,787	13,131
23	концентрация газа CO ₂	мг/м ³	CO ₂	60,637	85,271	102,326	123,170
24	расход CO₂ в выхлопных газах	мг/с	<i>q_{CO2}</i>	3,558	35,986	51,408	89,108
25	концентрация газа NO	мг/м ³	NO	291,250	320,000	306,250	271,250
26	расход NO в выхлопных газах	мг/с	<i>q_{NO}</i>	17,091	135,045	153,860	196,237
27	концентрация газа NO ₂	мг/м ³	NO ₂				
28	расход NO₂ в выхлопных газах	мг/с	<i>q_{NO2}</i>				
29	расход	мг/м ³	NO _x	445,613	489,600	468,563	415,013
30	Пересчет NO_x на CO	мг/м ³	CO _x	2938,831	3282,830	3104,946	2715,731
31	количество воздуха для разбавления NO _x	м ³ /с	<i>Q_{NOx}</i>				
32	количество воздуха для разбавления CO	м ³ /с	<i>Q_{CO}</i>				
33	концентрация газа CO	%	CO	0,0035	0,0083	0,0049	0,0015
34	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q_{CO}</i>	0,120812	2,060431	1,448094	0,6383435
35	Пересчет NO_x на CO	%	CO _x	0,264495	0,295455	0,279445	0,2444158
	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q_{COx}</i>	9,129788	73,34507	82,58426	104,01417

Таблица П2.8 – Фактическое газовыделение Normet Mulnimec SF 060 (213)

	Измерения:						
1	марка			Normet Mulnimec SF 060 (213)			
2	год выпуска						
3	обороты			840	1500	2000	2290
4	концентрация газа	%	O ₂	17,6	16	15,1	14,8
5	концентрация газа	%	CO ₂	3,1	4,5	5,4	5,6
6	концентрация газа	ppm	CO	13	43	40	24
7	концентрация газа	ppm	NO	254	154	107	113
8	концентрация газа	ppm	NO ₂	0	0	0	0
9	концентрация газа	ppm	SO ₂	0	0	0	0
10	концентрация газа	%	H ₂	-	-	-	-
11	температура выхлопных газов	°C	<i>t</i>	129	163,9	203	228
12	скорость выхлопных газов	м/с	<i>v</i>	12	28	25	35
13	дата проведения измерения			16.10.2021			
14	температура воздуха	°C	<i>t</i>	-	-	-	-
15	влажность воздуха	%	<i>W</i>	-	-	-	-
16	диаметр воздуховода	мм	<i>d</i>	60			
17	место проведения измерения						
	Расчёты:						
18	пересчет в NO ₂ (или NO _x)	ppm	NO _x	388,62	235,62	163,71	172,89
19	площадь сечения воздуховода	м ²	<i>S</i>	0,0113			
20	расход выхлопных газов	м ³ /с	<i>Q_{в.г.}</i>	0,136	0,317	0,283	0,396
21	концентрация газа CO	мг/м ³	CO	15,730	52,030	48,400	29,040
22	расход CO в выхлопных газов	мг/с	<i>q_{CO}</i>	2,134	16,468	13,678	11,489
23	концентрация газа CO ₂	мг/м ³	CO ₂	58,742	85,271	102,326	106,115
24	расход CO₂ в выхлопных газов	мг/с	<i>q_{CO2}</i>	7,968	26,989	28,917	41,984
25	концентрация газа NO	мг/м ³	NO	317,500	192,500	133,750	141,250
26	расход NO в выхлопных газов	мг/с	<i>q_{NO}</i>	43,068	60,929	37,798	55,884
27	концентрация газа NO ₂	мг/м ³	NO ₂				
28	расход NO₂ в выхлопных газов	мг/с	<i>q_{NO2}</i>				
29	расход	мг/м ³	NO _x	485,775	294,525	204,638	216,113
30	Пересчет NO_x на CO	мг/м ³	CO _x	3173,268	1966,443	1378,544	1433,771
31	количество воздуха для разбавления NO _x	м ³ /с	<i>Q_{NOx}</i>				
32	количество воздуха для разбавления CO	м ³ /с	<i>Q_{CO}</i>				
33	концентрация газа CO	%	CO	0,0013	0,0043	0,004	0,0024
34	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q_{CO}</i>	0,1037308	0,800589	0,664941	0,558551
35	Пересчет NO_x на CO	%	CO _x	0,2855941	0,17698	0,124069	0,129039
	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q_{COx}</i>	22,788391	32,95073	20,62464	30,03127

Таблица П2.9 – Фактическое газовыделение Normet Mulnimec SF 060 (28)

	Измерения:						
1	марка			Normet Mulnimec SF 060 (28)			
2	год выпуска			2018			
3	обороты			840	1500	2000	2230
4	концентрация газа	%	O ₂	17,3	15,8	14,8	14,7
5	концентрация газа	%	CO ₂	1,5	4,7	5,7	5,9
6	концентрация газа	ppm	CO	20	57	84	84
7	концентрация газа	ppm	NO	284	106	82	90
8	концентрация газа	ppm	NO ₂	0	0	0	0
9	концентрация газа	ppm	SO ₂	0	0	0	0
10	концентрация газа	%	H ₂	-	-	-	-
11	температура выхлопных газов	°C	<i>t</i>	74,9	190,4	235,3	260
12	скорость выхлопных газов	м/с	<i>v</i>	35	30	37	39
13	дата проведения измерения			16.10.2021			
14	температура воздуха	°C	<i>t</i>	-	-	-	-
15	влажность воздуха	%	<i>W</i>	-	-	-	-
16	диаметр воздуховода	мм	<i>d</i>	60			
17	место проведения измерения			6 блок			
	Расчёты:						
18	пересчет в NO ₂ (или NO _x)	ppm	NO _x	434,52	162,18	125,46	137,70
19	площадь сечения воздуховода	м ²	<i>S</i>	0,0113			
20	расход выхлопных газов	м ³ /с	<i>Q_{в.г.}</i>	0,396	0,339	0,418	0,441
21	концентрация газа CO	мг/м ³	CO	24,200	68,970	101,640	101,640
22	расход CO в выхлопных газах	мг/с	<i>q_{CO}</i>	9,574	23,389	42,511	44,809
23	концентрация газа CO ₂	мг/м ³	CO ₂	28,424	89,061	108,010	111,800
24	расход CO₂ в выхлопных газах	мг/с	<i>q_{CO2}</i>	11,246	30,202	45,175	49,288
25	концентрация газа NO	мг/м ³	NO	355,000	132,500	102,500	112,500
26	расход NO в выхлопных газах	мг/с	<i>q_{NO}</i>	140,452	44,933	42,870	49,596
27	концентрация газа NO ₂	мг/м ³	NO ₂				
28	расход NO₂ в выхлопных газах	мг/с	<i>q_{NO2}</i>				
29	расход	мг/м ³	NO _x	543,150	202,725	156,825	172,125
30	Пересчет NO_x на CO	мг/м ³	CO _x	3554,675	1386,683	1121,003	1220,453
31	количество воздуха для разбавления NO _x	м ³ /с	<i>Q_{NOx}</i>				
32	количество воздуха для разбавления CO	м ³ /с	<i>Q_{CO}</i>				
33	концентрация газа CO	%	CO	0,002	0,0057	0,0084	0,0084
34	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q_{CO}</i>	0,465459	1,137049	2,066637	2,178347
35	Пересчет NO_x на CO	%	CO _x	0,319921	0,124801	0,10089	0,109841
	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q_{COx}</i>	74,45497	24,89568	24,82184	28,48467

Таблица П2.10 – Фактическое газовыделение САТ (301) ПДМ

	Измерения:					
1	марка			САТ (301) ПДМ		
2	год выпуска					
3	обороты			1100	1500	2000
4	концентрация газа	%	O ₂	17,1	16,8	15,6
5	концентрация газа	%	CO ₂	2,1	2,4	3,1
6	концентрация газа	ppm	CO	67	81	66
7	концентрация газа	ppm	NO	125	122	163
8	концентрация газа	ppm	NO ₂	0	0	0
9	концентрация газа	ppm	SO ₂	0	0	0
10	концентрация газа	%	H ₂	-	-	-
11	температура выхлопных газов	°C	<i>t</i>	215	222	268
12	скорость выхлопных газов	м/с	<i>v</i>	5,6	4,4	19,7
13	дата проведения измерения			06.10.2021		
14	температура воздуха	°C	<i>t</i>	22		
15	влажность воздуха	%	<i>W</i>	69,7		
16	диаметр воздуховода	мм	<i>d</i>	овал с перекрытием 200 на 100		
17	место проведения измерения					
	Расчёты:					
18	пересчет в NO ₂ (или NO _x)	ppm	NO _x	191,25	186,66	249,39
19	площадь сечения воздуховода	м ²	<i>S</i>	0,0039		
20	расход выхлопных газов	м ³ /с	<i>Q</i> _{в.г.}	0,022	0,017	0,077
21	концентрация газа CO	мг/м ³	CO	81,070	98,010	79,860
22	расход CO в выхлопных газав	мг/с	<i>q</i> _{CO}	1,782	1,693	6,175
23	концентрация газа CO ₂	мг/м ³	CO ₂	39,793	45,478	58,742
24	расход CO ₂ в выхлопных газав	мг/с	<i>q</i> _{CO₂}	0,875	0,785	4,542
25	концентрация газа NO	мг/м ³	NO	156,250	152,500	203,750
26	расход NO в выхлопных газав	мг/с	<i>q</i> _{NO}	3,434	2,634	15,754
27	концентрация газа NO ₂	мг/м ³	NO ₂			
28	расход NO ₂ в выхлопных газав	мг/с	<i>q</i> _{NO₂}			
29	расход	мг/м ³	NO _x	239,063	233,325	311,738
30	Пересчет NO _x на CO	мг/м ³	CO _x	1634,976	1614,623	2106,154
31	количество воздуха для разбавления NO _x	м ³ /с	<i>Q</i> _{NO_x}			
32	количество воздуха для разбавления CO	м ³ /с	<i>Q</i> _{CO}			
33	концентрация газа CO	%	CO	0,0067	0,0081	0,0066
34	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q</i> _{CO}	0,086627	0,082286	0,30019324
35	Пересчет NO _x на CO	%	CO _x	0,147148	0,145316	0,18955384
	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q</i> _{CO_x}	1,902535	1,47624	8,62163329

Таблица П2.11 – Фактическое газовыделение ПСМ (210) УП-2

	Измерения:						
1	марка			ПСМ (210) УП-2			
2	год выпуска						
3	обороты			830	1260	1710	2200
4	концентрация газа	%	O ₂	17,5	16,6	15,9	14,9
5	концентрация газа	%	CO ₂	2	2,5	2,8	3,3
6	концентрация газа	ppm	CO	16	36	47	36
7	концентрация газа	ppm	NO	269	182	125	102
8	концентрация газа	ppm	NO ₂	0	0	0	0
9	концентрация газа	ppm	SO ₂	0	0	0	0
10	концентрация газа	%	H ₂	-	-	-	-
11	температура выхлопных газов	°C	<i>t</i>	155	158	179	223
12	скорость выхлопных газов	м/с	<i>v</i>	11,8	15	27	30
13	дата проведения измерения			06.10.2021			
14	температура воздуха	°C	<i>t</i>	-	-	-	-
15	влажность воздуха	%	<i>W</i>	-	-	-	-
16	диаметр воздуховода	мм	<i>d</i>	100			
17	место проведения измерения			6-6-1			
	Расчёты:						
18	пересчет в NO ₂ (или NO _x)	ppm	NO _x	411,57	278,46	191,25	156,06
19	площадь сечения воздуховода	м ²	<i>S</i>	0,0314			
20	расход выхлопных газов	м ³ /с	<i>Q</i> _{в.г.}	0,371	0,471	0,848	0,942
21	концентрация газа CO	мг/м ³	CO	19,360	43,560	56,870	43,560
22	расход CO в выхлопных газов	мг/с	<i>q</i> _{CO}	7,173	20,517	48,214	41,034
23	концентрация газа CO ₂	мг/м ³	CO ₂	37,898	47,373	53,058	62,532
24	расход CO ₂ в выхлопных газов	мг/с	<i>q</i> _{CO₂}	14,042	22,313	44,982	58,905
25	концентрация газа NO	мг/м ³	NO	336,250	227,500	156,250	127,500
26	расход NO в выхлопных газов	мг/с	<i>q</i> _{NO}	124,587	107,153	132,469	120,105
27	концентрация газа NO ₂	мг/м ³	NO ₂				
28	расход NO ₂ в выхлопных газов	мг/с	<i>q</i> _{NO₂}				
29	расход	мг/м ³	NO _x	514,463	348,075	239,063	195,075
30	Пересчет NO _x на CO	мг/м ³	CO _x	3363,366	2306,048	1610,776	1311,548
31	количество воздуха для разбавления NO _x	м ³ /с	<i>Q</i> _{NO_x}				
32	количество воздуха для разбавления CO	м ³ /с	<i>Q</i> _{CO}				
33	концентрация газа CO	%	CO	0,0016	0,0036	0,0047	0,0036
34	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q</i> _{CO}	0,348725	0,997412	2,343918	1,994824
35	Пересчет NO _x на CO	%	CO _x	0,302703	0,207544	0,14497	0,118039
	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q</i> _{CO_x}	65,975	57,50197	72,29732	65,40765

Таблица П2.12 – Фактическое газовыделение Charmat (207)

	Измерения:						
1	марка			Charmat машна (207)			
2	год выпуска						
3	обороты			830	1210	1700	2780
4	концентрация газа	%	O ₂	15,4	15,1	14,8	14,3
5	концентрация газа	%	CO ₂	3,1	3,3	3,4	3,6
6	концентрация газа	ppm	CO	35	58	62	86
7	концентрация газа	ppm	NO	433	207	131	101
8	концентрация газа	ppm	NO ₂	0	0	0	0
9	концентрация газа	ppm	SO ₂	0	0	0	0
10	концентрация газа	%	H ₂	-	-	-	-
11	температура выхлопных газов	°C	<i>t</i>	102	140	179	230
12	скорость выхлопных газов	м/с	<i>v</i>	4,8	5,5	15,5	31,2
13	дата проведения измерения			06.10.2021			
14	температура воздуха	°C	<i>t</i>	-	-	-	-
15	влажность воздуха	%	<i>W</i>	-	-	-	-
16	диаметр воздуховода	мм	<i>d</i>	прямоугольник 0,17 на 0,05			
17	место проведения измерения			панельный уклон			
	Расчёты:						
18	пересчет в NO ₂ (или NO _x)	ppm	NO _x	662,49	316,71	200,43	154,53
19	площадь сечения воздуховода	м ²	<i>S</i>	0,0085			
20	расход выхлопных газов	м ³ /с	<i>Q_{в.г.}</i>	0,041	0,047	0,132	0,265
21	концентрация газа CO	мг/м ³	CO	42,350	70,180	75,020	104,060
22	расход CO в выхлопных газов	мг/с	<i>q_{CO}</i>	1,728	3,281	9,884	27,597
23	концентрация газа CO ₂	мг/м ³	CO ₂	58,742	62,532	64,427	68,217
24	расход CO₂ в выхлопных газов	мг/с	<i>q_{CO2}</i>	2,397	2,923	8,488	18,091
25	концентрация газа NO	мг/м ³	NO	541,250	258,750	163,750	126,250
26	расход NO в выхлопных газов	мг/с	<i>q_{NO}</i>	22,083	12,097	21,574	33,482
27	концентрация газа NO ₂	мг/м ³	NO ₂				
28	расход NO₂ в выхлопных газов	мг/с	<i>q_{NO2}</i>				
29	расход	мг/м ³	NO _x	828,113	395,888	250,538	193,163
30	Пересчет NO_x на CO	мг/м ³	CO _x	5425,081	2643,449	1703,514	1359,616
31	количество воздуха для разбавления NO _x	м ³ /с	<i>Q_{NOx}</i>				
32	количество воздуха для разбавления CO	м ³ /с	<i>Q_{CO}</i>				
33	концентрация газа CO	%	CO	0,0035	0,0058	0,0062	0,0086
34	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q_{CO}</i>	0,084	0,1595	0,4805	1,3416
35	Пересчет NO_x на CO	%	CO _x	0,488257	0,23791	0,153316	0,122365
	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q_{COx}</i>	11,71818	6,542536	11,88201	19,08901

Таблица П2.13 – Фактическое газовыделение ЛН-310

1	марка			ЛН-310				
2	год выпуска							
3	обороты			холодой ход	700	1320	1800	2150
4	концентрация газа	%	O2	18,37	18,3	17,7	16,98	16,3
5	концентрация газа	%	CO2	1,89	1,87	2,38	2,91	4,49
6	концентрация газа	ppm	CO	20	16	51	55	61
7	концентрация газа	ppm	NO	100	96	185	188	104
8	концентрация газа	ppm	NO2	2,9	2,4	15,3	17,3	5,9
9	концентрация газа	ppm	SO2	0	0	0	0	0
10	концентрация газа	%	H2	-	6	11	12	13
11	температура выхлопных газов	°C	<i>t</i>	193	200	171	187	225
12	скорость выхлопных газов	м/с	<i>v</i>	2,6	2,7	3,8	6	6,6
13	дата			04.10.2021				
14	температура воздуха	°C	<i>t</i>	25,2				
15	влажность воздуха	%	<i>W</i>	92,8				
16	диаметр воздуховода	мм	<i>d</i>	овал с перекрытием 220 на 165				
17	место проведения измерения			6 слой заходка				
18	пересчет в NO ₂ (или NO _x)	ppm	NO _x	155,90	149,28	298,35	304,94	165,02
19	площадь сечения воздуховода	м ²	<i>S</i>	0,0265				
20	расход выхлопных газов	м ³ /с	<i>Q_{в.г.}</i>	0,069	0,072	0,101	0,159	0,175
21	концентрация газа CO	мг/м ³	CO	24,200	19,360	61,710	66,550	73,810
22	расход CO в выхлопных газов	мг/с	<i>q_{CO}</i>	1,667	1,385	6,214	10,581	12,909
23	концентрация газа CO2	мг/м ³	CO2	35,814	35,435	45,099	55,142	85,082
24	расход CO2 в выхлопных газов	мг/с	<i>q_{CO2}</i>	2,468	2,535	4,541	8,768	14,881
25	концентрация газа NO	мг/м ³	NO	125,000	120,000	231,250	235,000	130,000
26	расход NO в выхлопных газов	мг/с	<i>q_{NO}</i>	8,613	8,586	23,287	37,365	22,737
27	концентрация газа NO2	мг/м ³	NO2					
28	расход NO2 в выхлопных газов	мг/с	<i>q_{NO2}</i>					
29	расход	мг/м ³	NO _x	194,875	186,600	372,938	381,175	206,275
30	Пересчет NO _x на CO	мг/м ³	CO _x	1290,888	1232,260	2485,804	2544,188	1414,598
31	количество воздуха для разбавления NO _x	м ³ /с	<i>Q_{NOx}</i>					
32	концентрация газа CO	%	CO	0,002	0,0016	0,0051	0,0055	0,0061
33	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q_{CO}</i>	0,081058824	0,067341	0,3021	0,514412	0,627582
34	Пересчет NO _x на CO	%	CO _x	0,116179875	0,110903	0,223722	0,228977	0,127314
	необходимый расход воздуха	м ³ /с	<i>Q_{COx}</i>	4,708701993	4,667728	13,25226	21,41607	13,09834

Таблица П2.14 – Фактическое газовыделение машин с ДВС в стационарном режиме

№ п/п	Тип (марка) и гаражный номер самоходного оборудования			Январь		Февраль		Март	
				CO, %	NO _x , %	CO, %	NO _x , %	CO, %	NO _x , %
1	ПДМ	CAT-1300 G	№ 30	0	0,002	0,025	0,054	0	0,013
2	ПДМ	CAT-1300 G	№ 31	0,013	0,013	0,031	0,069	0,03	0,013
3	ПДМ	CAT-1300 G	№ 32	0,008	0,003	0,036	0,070	0	0,008
4	ПДМ	CAT-1300 G	№ 33	0,006	0,026	0,021	0,053	0	0,046
5	ПДМ	CAT-1300 G	№ 34	0,017	0,014	0,02	0,052	0	0,012
6	ПДМ	CAT-1300 G	№ 36	0,006	0,034	0,019	0,031	0,035	0,014
7	ПДМ	CAT-1300 G	№37	0,007	0,030	0,033	0,079	0	0,045
8	ПДМ	CAT-1300 G	№38	0,006	0,035	0,042	0,053	0	0,049
9	ПДМ	CAT-1300 G	№39	0	0,047	Ремонт	Ремонт	0,012	0,015
10	ПДМ	SANDVIK LH-307	№302	0,018	0,016	0,047	0,058	0	0,049
11	ПДМ	SANDVIK LH-307	№303	0,013	0,013	0,034	0,056	0	0,045
12	ПДМ	CAT-1300 G	№305	0,004	0,024	0,021	0,015	0,005	0,019
13	ПДМ	CAT-1300 G	№306	0	0,027	0,061	0,015	0,003	0,019
14	ПДМ	CAT-1300 G	№307	0,007	0,034	0,029	0,058	0,006	0,035
15	ПДМ	CAT-1300 G	№308	0	0,045	0,005	0,026	0	0,050
16	ПДМ	SANDVIK LH-307	№311	0,006	0,043	Ремонт	Ремонт	Ремонт	Ремонт
17	ПДМ	SANDVIK LH-307	№312	0,006	0,035	0	0,017	0	0,018
18	ПДМ	SANDVIK LH-307	№315	Ремонт	Ремонт	Ремонт	Ремонт	Ремонт	Ремонт
19	ПДМ	BM-L71H B-miner	№319	0	0,037	0,002	0,026	0	0,018
20	ПДМ	BM-L71H B-miner	№320	0	0,052	0,004	0,026	0	0,047
21	ПДМ	BM-L71H B-miner	№321	0	0,041	0,001	0,024	0	0,032
22	ПДМ	FL07 FAMBITION	№322	0	0,041	0,015	0,055	0	0,045
23	ПДМ	FL07 FAMBITION	№323	0,003	0,047	0,031	0,068	0	0,019
24	ПДМ	FL07 FAMBITION	№324	0	0,014	0,016	0,014	0	0,019
25	ПДМ	FL07 FAMBITION	№325	0	0,008	0,031	0,034	0	0,045
26	ПДМ	FL07 FAMBITION	№326	0	0,047	0,034	0,018	0,059	0,045
27	ПДМ	FL07 FAMBITION	№327	0	0,043	0,003	0,025	0	0,035
28	ПДМ	FL07 FAMBITION	№328	0	0,041	0,003	0,031	0	0,038
29	ПДМ	BM-L307H B-miner	№329	0	0,048	0	0,051	0	0,035
30	ПДМ	FL10 FAMBITION	№65	0	0,021	0,005	0,025	Ремонт	Ремонт
31	ПДМ	CHTC DRWJ-5	№66	0,017	0,014	0,017	0,049	0,008	0,046
32	ПДМ	CHTC DRWJ-5	№67	0	0,009	0,003	0,025	0	0,045
33	ПДМ	CHTC DRWJ-5	№69	0,005	0,036	0,02	0,021	0	0,018
34	ПДМ	CHTC DRWJ-5	№70	0,003	0,018	0,018	0,050	0	0,048
35	ПДМ	CHTC DRWJ-5	№71	0,005	0,031	0,004	0,026	0	0,034
36	ПДМ	CHTC DRWJ-5	№72	Ремонт	Ремонт	Ремонт	Ремонт	Ремонт	Ремонт
37	ПДМ	CHTC DRWJ-5	№73	0	0,043	0	0,023	0	0,010
38	ПДМ	LiuGong	№1	0,005	0,020	0,018	0,014	0	0,045
39	ПДМ	NORMET UTIMEC SF 060	№25	0	0,015	0,028	0,045	0	0,046
40	ПДМ	NORMET MULTIMEC SF 060	№27	0,005	0,036	0,016	0,015	0,007	0,032
41	ПДМ	NORMET MULTIMEC SF 060	№28	0,004	0,036	0,014	0,012	0	0,046
42	ПДМ	NORMET MULTIMEC SF 060	№29	0	0,041	0,018	0,051	0,006	0,038

Продолжение Таблицы П2.14

43	ПДМ	NORMET MULTIMEC SF 060	№201	0	0,021	0,012	0,012	0	0,024
44	ПДМ	NORMET MULTIMEC SF 060	№203	0	0,033	0,018	0,050	0	0,046
45	ПДМ	NORMET MULTIMEC SF 060	№204	Ремонт	Ремонт	0	0,051	0	0,045
46	ПДМ	NORMET MULTIMEC SF 060	№205	0,017	0,017	0,017	0,018	0	0,046
47	ПДМ	NORMET CARMEK	№206	0	0,045	0,018	0,018	0,009	0,024
48	ПДМ	NORMET MULTIMEC SF 060	№208	0	0,016	0	0,042	0,011	0,021
49	ПДМ	NORMET CARMEK	№209	0	0,040	0	0,051	0,003	0,017
50	ПДМ	NORMET MULTIMEC SF 060	№210	0,004	0,035	0,011	0,056	0	0,065
51	ПДМ	NORMET MULTIMEC SF 060	№213	0,003	0,018	0	0,052	0,009	0,039
52	ПДМ	NORMET MULTIMEC SF 060	№214	0	0,026	0,006	0,056	0,009	0,039
53	ПДМ	PAUS UNI50-3SB	№215	0	0,047	0,005	0,041	0,009	0,017
54	ПДМ	UTIMEC MF500 Transmixer	№216	0,005	0,001	0,004	0,053	0	0,056
55	ПДМ	UTIMEC MF500 Transmixer	№217	0	0,023	0,002	0,053	0,009	0,021
56	ПДМ	UTIMEC MF500 Transmixer	№218	0,003	0,017	0,004	0,033	0,008	0,024
57	ПДМ	NORMET CARMEK	№219	0	0,042	0,042	0,014	0	0,058
58	ПДМ	NORMET CARMEK	№220	0	0,023	0,032	0,011	0,005	0,006
59	ПДМ	PAUS (манипулятор)	№221	0	0,046	0,018	0,018	0,008	0,022
60	ПДМ	Scames 2000L (мех.оборки кровли)	№222	0,009	0,026	0,014	0,012	0,008	0,022
61	ПДМ	Scames 2000L (мех.оборки кровли)	№223	0,003	0,013	0,01	0,010	0,022	0,029
62	ПДМ	NORMET CARMEK	№224	0	0,016	0,014	0,017	0,007	0,008
63	ПДМ	PAUS Pscale 8-T (мех.оборки кровли)	№225	0,004	0,018	0,018	0,018	0,009	0,025
64	ПДМ	PAUS Pscale 8-T (мех.оборки кровли)	№226	0,005	0,021	Ремонт	Ремонт	0,004	0,029
65	ПДМ	PAUS	№227	0,003	0,037	0,018	0,016	0,002	0,039
66	ПДМ	B-miner	№228	0,004	0,037	0,035	0,012	0,008	0,039
67	ПДМ	B-miner	№229	0,005	0,002	0,019	0,004	0	0,053
68	ПДМ	B-miner	№230	0	0,015	0,001	0,004	0,008	0,038
69	ПДМ	B-miner	№233	0	0,022	0	0,001	0,002	0,041
70	ПДМ	B-miner	№235	0,004	0,024	0	0,002	0	0,037
71	ПДМ	BM-300CH B-miner	№236	0,008	0,035	0	0,003	0,004	0,013
72	ПДМ	SANDVIK DD-310	№52	0,003	0,025	0,03	0,013	0,008	0,038
73	ПДМ	SANDVIK DD-311	№503	0,002	0,011	0,039	0,014	0,005	0,013

Продолжение Таблицы П2.14

74	ПДМ	SANDVIK DD-311	№508	0,003	0,031	0	0,004	0,006	0,012
75	ПДМ	SANDVIK DD-311	№509	0	0,002	0,04	0,014	Ремонт	Ремонт
76	ПДМ	Boomer S 1D	№511	0,016	0,016	0	0,004	0,01	0,040
77	ПДМ	Boomer S 1D	№512	0	0,047	0,041	0,014	Ремонт	Ремонт
78	ПДМ	Boomer S 1D	№513	0,005	0,020	Ремонт	Ремонт	Ремонт	Ремонт
79	ПДМ	Тех.маш DF-14	№514	0	0,043	0	0,004	0,009	0,039
80	ПДМ	Тех.маш DF-14	№515	0,004	0,021	0	0,004	0,008	0,018
81	ПДМ	Тех.маш DF-14	№516	0,015	0,038	0,001	0,020	0,006	0,012
82	ПДМ	Siton DW1-31	№517	0	0,046	0,001	0,029	0,009	0,039
83	ПДМ	Siton DW1-31	№518	0,006	0,022	0,003	0,026	0,009	0,038
84	ПДМ	Siton DW1-31	№519	0	0,001	0,003	0,024	0,008	0,038
85	ПДМ	Маш.холдинг DS-B1	№520	0	0,076	0,004	0,029	0,002	0,010
86	ПДМ	Маш.холдинг DS-B1	№521	0	0,075	0,003	0,028	0	0,010
87	ПДМ	DB-120	-	0	0,001	0,001	0,025	0	0,031
88	ПДМ	Vertex houlette	№101	0,001	0,002	0,003	0,021	0,004	0,013
89	ПДМ	PAUS KRF-40	№1	0,003	0,008	0,002	0,024	0	0,029
90	ПДМ	PAUS KRF-40	№2	0,004	0,011	0,004	0,030	0	0,016
91	ПДМ	Ferrit DLP 140 F13t	№1	0,005	0,015	0,002	0,027	0	0,017
92	ПДМ	БП-100С	№1	0,005	0,015	0,002	0,030	0	0,017
93	ПДМ	БП-100С	№2	0,005	0,014	0,003	0,025	0	0,018

Таблица П2.15 – Перечень дополнительных типов машин с ДВС на ООО «КНАУФ ГИПС НОВОМОСКОВСК»

№пп	Тип и марка
1	Самосвал Bell В 40 D
2	Самосвал VOLVO A40 G
3	Самосвал CAT 745
4	ПДМ «LIEBHERR 566 T»
5	Экскаватор с гидромолотом «LIEBHERR» А 904 С »
6	Экскаватор с гидромолотом «LIEBHERR» А 918 »
7	Экскаватор с гидромолотом «LIEBHERR А 934 С HD»
8	Экскаватор с гидромолотом «LIEBHERR LH-50M»
9	Автогрейдер ДЗ-122А
10	Поливооросительная машина МА3-5340В2 ЭД-244
11	Грузовой автомобиль ГАЗ-231073 грузовой «Соболь»
12	Грузовой автомобиль ГАЗ-28724Т «Макар»
13	Легковой автомобиль УАЗ-315148
14	Легковой автомобиль Рено «Дастер»
15	Автобус пассажирский ЗИЛ-325000
16	Автобус пассажирский ПАЗ-320402-04
17	ССЗУ «Ульба-400МИ»
18	Автопогрузчик АП 40810
19	Телескопический подъемник MERLO ROTO 45.21 MCSS

Продолжение Таблицы П2.15

20	Телескопический подъемник DIECI Pegasus 50.21P
21	Анкерная машина SMAG FA-520-11KED
22	Бурильная установка SMAG GB-280S
23	Бурильная установка Atlas Copco Boomer XE2
24	Кран манипулятор (КМУ) ГАЗ 33081 (МГС)

Таблица П2.16 – Фактическое газовыделение дополнительных машин

№№ п/п	Наименование техники	NO+NO ₂ , %	CO, %
1	Самосвал Bell В 40 D № 12	<0,02	0,0003
2	Самосвал Bell В 40 D № 13	<0,02	0,0003
3	Самосвал Bell В 40 D № 15	<0,02	0,0007
4	Самосвал Bell В 45 E № 16	ремонт	
5	Самосвал Bell В 45 E № 17	ремонт	
6	Самосвал VOLVO A40 G № 1	<0,02	0,0004
7	Самосвал VOLVO A40 G № 2	<0,02	0,0005
8	Самосвал VOLVO A40 G № 3	<0,02	0,0003
9	Самосвал VOLVO A40 G № 4	<0,02	0,0002
10	Самосвал VOLVO A40 G № 5	<0,02	0,0008
11	Самосвал VOLVO A40 G № 6	<0,02	0,0003
12	Самосвал VOLVO A40 G № 7	<0,02	0,0003
13	Самосвал CAT 745 № 1	ремонт	
14	ПДМ «LIEBHERR 566 T» № 7	ремонт	
15	ПДМ «LIEBHERR 566 T» № 9	<0,02	0,0003
16	ПДМ «LIEBHERR 566 T» №12	<0,02	0,0004
17	ПДМ «LIEBHERR 566 T» №14	ремонт	
18	ПДМ «LIEBHERR 566 T» №15	<0,02	0,0003
19	ПДМ «LIEBHERR 566 T» №17	<0,02	0,0004
20	ПДМ «LIEBHERR 566 T» №18	<0,02	0,0003
21	Экскаватор с гидромолотом «LIEBHERR» А 904 С » № 2	<0,02	0,0003
22	Экскаватор с гидромолотом «LIEBHERR» А 918 » № 1	<0,02	0,0014
23	Экскаватор с гидромолотом «LIEBHERR А 934 С HD» № 1	<0,02	0,0003
24	Экскаватор с гидромолотом «LIEBHERR LH-50М» № 1	<0,02	0,0005
25	Автогрейдер ДЗ-122А № 1	ремонт	
26	Поливооросительная машина МА3-5340В2 ЭД-244 № 3	ремонт	
27	Поливооросительная машина МА3-5340В2 ЭД-244 № 4	<0,02	0,0006
28	Поливооросительная машина МА3-5340С2 КО –806-20 № 5	<0,02	0,0016
29	Поливооросительная маш. МА3-5340С2 КО –806-20 № 6	<0,02	0,0019
30	Грузовой автомобиль ГАЗ-231073 грузовой «Соболь» №1	<0,02	0,0003
31	Грузовой автомобиль ГАЗ-231073 грузовой «Соболь» №2	<0,02	0,0003
32	Грузовой автомобиль Соболь NN № 3	<0,02	0,0004
33	Грузовой автомобиль ГАЗ-28724Т «Макар» № 1	<0,02	0,0110
34	Грузовой автомобиль ГАЗ-28724Т «Макар» № 2	<0,02	0,0100
35	Грузовой автомобиль ГАЗ-28724Т «Макар» № 3	<0,02	0,0120
36	Грузовой автомобиль ГАЗ-28724Т «Макар» № 4	ремонт	
37	Легковой автомобиль УАЗ-315148 № 1	0,02340	0,0030
38	Легковой автомобиль УАЗ-315148 № 14	<0,02	0,0020
39	Легковой автомобиль Рено «Дастер» № 1	<0,02	0,00

Продолжение Таблицы П2.16

40	Легковой автомобиль Рено «Дастер» № 2	<0,02	0,0005
41	Легковой автомобиль Рено «Дастер» № 3	<0,02	0,0006
42	Легковой автомобиль Рено «Дастер» № 4	<0,02	0,0012
43	Легковой автомобиль Рено «Дастер» № 5	<0,02	0,0005
44	Легковой автомобиль Рено «Дастер» № 6	0,02582	0,0010
45	Легковой автомобиль Рено «Дастер» № 7	0,02609	0,0003
46	Легковой автомобиль Фольксваген Амарок № 1	<0,02	0,0002
47	Автобус пассажирский ЗИЛ-325000 № 1	<0,02	0,0800
48	Автобус пассажирский ПАЗ-320402-04 № 2	<0,02	0,0008
49	ССЗУ «Ульба-400МИ» № 7	<0,02	0,0017
50	ССЗУ «Ульба-400МИ» № 8	<0,02	0,0005
51	ССЗУ «Ульба-400МИ» № 9	<0,02	0,0005
52	ССЗУ «Ульба-400МИ» № 10	<0,02	0,0004
53	ССЗУ «Ульба-400МИ» № 11	<0,02	0,0003
54	Автопогрузчик АП 40810 № 4	<0,02	0,0250
55	Автопогрузчик АП 40810 № 6 после нейтрализации	<0,02	0,0220
56	Телескопический подъемник MERLO ROTO 45.21 MCSS №1 после саж. ф.	<0,02	0,0048
57	Телескопический подъемник MERLO ROTO 45.21 MCSS №2 после саж. ф.	<0,02	0,0014
58	Телескопический подъемник MERLO P38.13EE № 3 после сажевого фильтра	<0,02	0,0010
59	Телескопический подъемник DIECI Pegasus 50.21P № 1 п. саж. ф.	<0,02	0,0180
60	Телескопический подъемник DIECI Pegasus 50.21P № 2 п. саж. ф.	<0,02	0,0020
61	Телескопический погрузчик DIECI Samson 75.10 № 3 п. саж. ф.	<0,02	0,0010
62	Анкерная машина SMAG FA-520-11KED п. саж. ф.	ремонт	
63	Бурильная установка SMAG GB-280S № 1 п. саж. ф.	ремонт	
64	Бурильная установка SMAG GB-280S № 2 п. саж. ф.	<0,02	0,0006
65	Бурильная установка SMAG BW-52 H № 1 п. саж. ф.	<0,02	0,0004
66	Бурильная установка Atlas Copco Boomer XE2 № 1п. саж. ф.	<0,02	0,0013
67	Бурильная установка Atlas Copco Boomer XE2 № 2 п. саж. ф.	<0,02	0,0011
68	Кран манипулятор (КМУ) ГАЗ 33081 (МГС) № 1 п. нейтр.	<0,02	0,0003
69	Кран-манипулятор (КМУ) ГАЗ 3309 (уч. ДиТ) № 2 п.нейт.	<0,02	0,0002
70	Кран манипулятор (КМУ) ГАЗ С41R13 (МГС) № 3 п. нейтр.	<0,02	0,0003
71	Кран манипулятор (КМУ) ГАЗ С42R33 (ЭМС) № 4 п. нейтр.	<0,02	0,0002
72	Автотопливо заправщик ГАЗ 3909 № 1 п.нейт.	<0,02	0,0003
73	Автотопливо заправщик ГАЗ 3909 №2 п. нейт.	<0,02	0,0003
74	Авторемонтная мастерская ГАЗ-3309 № 1 п. нейт.	<0,02	0,0003

Таблица П2.17 – Перечень дополнительных типов машин с ДВС на АО «Комбинат КМАруда»

№пп	Тип и марка
8	Бурильная установка KAISHAN KJ 311
9	YANTAI XYL-7

Таблица П2.18 – Фактическое газовыделение дополнительно обследованных машин ПДМ YANTAI XYL-7

№ п/п	Марка транспортного средства с ДВС	Неразбавленные отработавшие газы ДВС		Дата отбора
		CO, %	NO+NO ₂ , %	
1	YANTAI XYL-7 № 13 – после газоочистки	0,004	0,02	21.01.2025
2	YANTAI XYL-7 № 14 – после газоочистки	0,005	<0,02	21.01.2025
3	YANTAI XYL-7 № 78 – после газоочистки	0,005	0,02	21.01.2025
4	YANTAI XYL-7 № 79 – после газоочистки	0,0007	<0,02	22.01.2025
5	YANTAI XYL-7 № 70 – после газоочистки	0,001	0,02	28.01.2025
6	YANTAI XYL-7 № 71 – после газоочистки	0,002	<0,02	28.01.2025
7	YANTAI XYL-7 № 13 – после газоочистки	0,003	<0,02	11.02.2025
8	YANTAI XYL-7 № 14 – после газоочистки	0,002	<0,02	11.02.2025
9	YANTAI XYL-7 № 70 – после газоочистки	0,008	0,030	18.02.2025
10	YANTAI XYL-7 № 78 – после газоочистки	0,008	0,030	18.02.2025
11	YANTAI XYL-7 № 79 – после газоочистки	0	0,043	19.02.2025
12	YANTAI XYL-7 № 71 – после газоочистки	0	0,046	20.02.2025
13	YANTAI XYL-7 № 13 – после газоочистки	0,02	<0,02	10.03.2025
14	YANTAI XYL-7 № 14 – после газоочистки	<0,0001	<0,02	24.03.2025
15	YANTAI XYL-7 № 78 – после газоочистки	0,0057	<0,02	26.03.2025
16	YANTAI XYL-7 № 79 – после газоочистки	0,0063	<0,02	26.03.2025
17	YANTAI XYL-7 № 70 – после газоочистки	0,0009	<0,02	27.03.2025
18	YANTAI XYL-7 № 71 – после газоочистки	0,0005	<0,02	27.03.2025
19	YANTAI XYL- 7 № 84 – после газоочистки	0,0086	<0,02	31.03.2025
20	YANTAI XYL-7 № 13 – после газоочистки	0,0024	<0,02	03.04.2025
21	YANTAI XYL-7 № 14 – после газоочистки	0,0010	<0,02	03.04.2025
22	YANTAI XYL-7 № 70 – после газоочистки	0,0071	<0,02	10.04.2025
23	YANTAI XYL-7 № 71 – после газоочистки	0,0074	<0,02	10.04.2025
24	YANTAI XYL-7 № 84 – после газоочистки	0,0077	<0,02	10.04.2025
25	YANTAI XYL-7 № 85 – после газоочистки	0,0162	<0,02	16.04.2025
26	YANTAI XYL-7 № 78 – после газоочистки	0,0003	<0,02	21.04.2025
27	YANTAI XYL-7 № 79 – после газоочистки	0,0002	<0,02	21.04.2025
28	YANTAI XYL-7 № 13 – после газоочистки	0,0001	0,02	13.05.2025
29	YANTAI XYL-7 № 14 – после газоочистки	0,0001	0,03	13.05.2025

Таблица П2.19 - Результаты измерений фактического состава выхлопных газов от машин с ДВС в динамическом режиме

ПДМ LH-310												
Дата, время	сек	% O₂	ppm CO	ppm NO	ppm NO₂	ppm NO_x	% Q₂	λ	% CO₂	°C ТВ	°C ТГ	ppm Н₂
07.12.2021 11:03:41	0	20,87	0	0	0,0	0	-	-	-	20,2	68,3	0
07.12.2021 11:03:46	5	20,81	0	6	0,0	6	-	-	-	20,3	104,7	0
07.12.2021 11:03:51	10	20,40	2	29	0,0	29	-	-	-	20,3	110,3	0
07.12.2021 11:03:56	15	20,34	5	32	0,0	32	-	-	-	20,3	114,6	0
07.12.2021 11:04:01	20	20,34	6	33	0,0	33	-	-	-	20,5	117,7	0
07.12.2021 11:04:06	25	20,32	7	32	0,0	32	-	-	-	20,7	120,9	0
07.12.2021 11:04:11	30	20,32	7	32	0,0	32	-	-	-	20,7	123,2	1
07.12.2021 11:04:16	35	20,33	6	31	0,0	31	-	-	-	20,7	125,2	2
07.12.2021 11:04:21	40	20,33	7	31	0,0	31	-	-	-	20,8	127,0	1
07.12.2021 11:04:26	45	20,34	6	31	0,0	31	-	-	-	20,8	128,7	1
07.12.2021 11:04:31	50	20,34	6	31	0,0	31	-	-	-	20,8	130,0	2
07.12.2021 11:04:36	55	20,34	6	30	0,0	30	-	-	-	20,6	131,3	2
07.12.2021 11:04:41	60	20,35	6	30	0,0	30	-	-	-	20,5	132,4	1
07.12.2021 11:04:46	65	20,35	6	30	0,0	30	-	-	-	20,5	133,3	2
07.12.2021 11:04:51	70	20,35	6	29	0,0	29	-	-	-	20,7	134,1	2
07.12.2021 11:04:56	75	20,36	5	29	0,0	29	-	-	-	20,5	134,8	2
07.12.2021 11:05:01	80	20,38	5	28	0,0	28	-	-	-	20,5	135,4	2
07.12.2021 11:05:06	85	20,39	5	28	0,0	28	-	-	-	20,4	135,9	2
07.12.2021 11:05:11	90	20,40	5	27	0,0	27	-	-	-	20,6	136,4	1
07.12.2021 11:05:16	95	20,39	5	27	0,0	27	-	-	-	20,7	136,8	1
07.12.2021 11:05:21	100	20,39	5	27	0,0	27	-	-	-	20,6	137,1	1
07.12.2021 11:05:26	105	20,41	5	26	0,0	26	-	-	-	20,6	137,4	2
07.12.2021 11:05:31	110	20,42	4	25	0,0	25	-	-	-	20,5	137,7	1
07.12.2021 11:05:36	115	20,44	4	25	0,0	25	-	-	-	20,3	137,9	1
07.12.2021 11:05:41	120	20,44	4	25	0,0	25	-	-	-	20,3	138,1	1
07.12.2021 11:05:46	125	20,44	4	24	0,0	24	-	-	-	20,3	138,2	2

Продолжение Таблицы П2.19

Дата, время	сек	% O ₂	ppm CO	ppm NO	ppm NO ₂	ppm NO _x	% O ₂	λ	% CO ₂	°C ТВ	°C ТГ	ppm H ₂
07.12.2021 11:05:51	130	20,45	4	24	0,0	24	-	-	-	20,3	138,3	1
07.12.2021 11:05:56	135	20,46	4	23	0,0	23	-	-	-	20,2	138,3	2
07.12.2021 11:06:01	140	20,47	3	23	0,0	23	-	-	-	20,2	138,3	1
07.12.2021 11:06:06	145	20,47	3	22	0,0	22	-	-	-	20,3	138,3	1
07.12.2021 11:06:11	150	20,48	3	21	0,0	21	-	-	-	20,4	138,2	2
07.12.2021 11:06:16	155	20,49	3	21	0,0	21	-	-	-	20,3	138,2	2
07.12.2021 11:06:21	160	20,49	3	20	0,0	20	-	-	-	20,3	138,1	1
07.12.2021 11:06:26	165	20,50	3	20	0,0	20	-	-	-	20,3	138,0	1
07.12.2021 11:06:31	170	20,50	3	19	0,0	19	-	-	-	20,3	137,9	2
07.12.2021 11:06:36	175	20,53	3	18	0,0	18	-	-	-	20,2	137,7	1
07.12.2021 11:06:41	180	20,52	3	17	0,0	17	-	-	-	20,2	137,6	2
07.12.2021 11:06:46	185	20,53	2	18	0,0	18	-	-	-	20,2	137,4	2
07.12.2021 11:06:51	190	20,55	2	17	0,0	17	-	-	-	20,2	137,2	1
07.12.2021 11:06:56	195	20,54	2	17	0,0	17	-	-	-	20,2	137,0	2
07.12.2021 11:07:01	200	20,57	2	16	0,0	16	-	-	-	20,2	136,8	1
07.12.2021 11:07:06	205	20,60	2	15	0,0	15	-	-	-	20,2	136,6	1
07.12.2021 11:07:11	210	20,59	2	15	0,0	15	-	-	-	20,2	136,3	1
07.12.2021 11:07:16	215	20,61	2	14	0,0	14	-	-	-	20,2	136,0	2
07.12.2021 11:07:21	220	20,60	2	13	0,0	13	-	-	-	20,2	135,7	1
07.12.2021 11:07:26	225	20,61	2	13	0,0	13	-	-	-	20,3	135,5	1
07.12.2021 11:07:31	230	20,63	1	12	0,0	12	-	-	-	20,3	135,2	2
07.12.2021 11:07:36	235	20,64	1	12	0,0	12	-	-	-	20,4	134,8	1
07.12.2021 11:07:41	240	20,64	2	11	0,0	11	-	-	-	20,3	134,6	1
07.12.2021 11:07:46	245	20,64	2	11	0,0	11	-	-	-	20,3	134,4	1
07.12.2021 11:07:51	250	20,63	1	11	0,0	11	-	-	-	20,3	134,0	1
07.12.2021 11:07:56	255	20,63	1	11	0,0	11	-	-	-	20,3	133,7	1
07.12.2021 11:08:01	260	20,64	1	10	0,0	10	-	-	-	20,4	133,3	1
07.12.2021 11:08:06	265	20,65	1	9	0,0	9	-	-	-	20,4	132,9	1

Продолжение Таблицы П2.19

Дата, время	сек	% O ₂	ppm CO	ppm NO	ppm NO ₂	ppm NO _x	% O ₂	λ	% CO ₂	°C ТВ	°C ТГ	ppm H ₂
07.12.2021 11:08:11	270	20,67	1	9	0,0	9	-	-	-	20,4	158,5	1
07.12.2021 11:08:16	275	19,61	18	76	0,1	76	-	-	-	20,5	194,1	0
07.12.2021 11:08:21	280	18,12	74	162	0,9	163	45,9	7,53	2,07	20,6	203,0	0
07.12.2021 11:08:26	285	17,91	69	164	1,2	165	42,4	6,92	2,23	20,7	203,8	4
07.12.2021 11:08:31	290	17,01	55	207	2,5	209	34,2	5,50	2,89	20,8	205,1	13
07.12.2021 11:08:36	295	16,25	89	321	5,3	326	28,1	4,50	3,45	20,8	204,4	0
07.12.2021 11:08:41	300	16,19	96	329	6,9	336	27,9	4,43	3,49	20,9	205,9	6
07.12.2021 11:08:46	305	15,90	85	359	8,7	368	26,3	4,16	3,70	21,1	206,3	17
07.12.2021 11:08:51	310	16,11	77	348	9,3	357	27,3	4,33	3,56	21,1	205,9	19
07.12.2021 11:08:56	315	16,63	68	328	9,2	337	30,0	4,88	3,17	21,1	202,6	19
07.12.2021 11:09:01	320	18,90	56	168	6,6	174	67,6	11,65	1,50	21,1	197,2	22
07.12.2021 11:09:06	325	19,87	39	81	3,9	85	-	-	-	21,1	190,1	24
07.12.2021 11:09:11	330	20,40	28	43	1,6	45	-	-	-	21,2	184,7	21
07.12.2021 11:09:16	335	19,91	25	79	1,7	81	-	-	-	21,3	181,2	14
07.12.2021 11:09:21	340	19,68	31	100	2,1	102	86,4	16,71	0,93	21,3	178,4	7
07.12.2021 11:09:26	345	19,61	39	107	2,5	109	80,6	15,84	0,98	21,3	176,0	4
07.12.2021 11:09:31	350	19,27	45	125	3,4	129	67,1	13,18	1,23	21,4	175,6	3
07.12.2021 11:09:36	355	18,50	53	197	6,1	203	44,2	8,59	1,80	21,6	176,0	3
07.12.2021 11:09:41	360	18,26	60	211	7,6	218	40,6	7,83	1,97	21,6	177,3	4
07.12.2021 11:09:46	365	17,62	66	244	9,3	253	34,0	6,36	2,44	21,7	181,0	4
07.12.2021 11:09:51	370	16,45	72	280	11,0	291	26,4	4,68	3,30	21,7	188,1	5
07.12.2021 11:09:56	375	15,56	78	297	11,5	308	22,7	3,89	3,96	21,7	191,8	5
07.12.2021 11:10:01	380	16,45	80	284	10,8	295	27,1	4,79	3,30	21,8	188,8	8
07.12.2021 11:10:06	385	17,95	70	217	9,0	226	38,5	7,07	2,20	21,9	184,6	14
07.12.2021 11:10:11	390	17,64	62	239	9,5	248	34,4	6,37	2,43	22,1	182,9	16
07.12.2021 11:10:16	395	17,90	61	221	8,5	229	37,0	6,95	2,24	22,0	181,0	13
07.12.2021 11:10:21	400	18,14	53	156	6,2	162	39,4	7,48	2,06	21,9	179,6	16
07.12.2021 11:10:26	405	18,10	44	145	5,0	150	38,6	7,37	2,09	21,9	178,3	17

Продолжение Таблицы П2.19

Дата, время	сек	% O ₂	ppm CO	ppm NO	ppm NO ₂	ppm NO _x	% O ₂	λ	% CO ₂	°C ТВ	°C ТГ	ppm H ₂
07.12.2021 11:10:31	410	18,08	39	145	4,3	149	38,0	7,31	2,11	21,9	177,4	13
07.12.2021 11:10:36	415	18,11	37	140	4,0	144	38,2	7,39	2,08	22,0	176,7	13
07.12.2021 11:10:41	420	18,15	36	137	3,8	141	38,5	7,49	2,06	21,9	175,7	11
07.12.2021 11:10:46	425	18,16	35	135	3,6	139	38,5	7,54	2,04	21,9	174,8	10
07.12.2021 11:10:51	430	18,15	35	135	3,6	138	38,1	7,50	2,05	21,9	174,0	9
07.12.2021 11:10:56	435	18,16	35	135	3,5	139	38,0	7,52	2,05	21,8	173,2	7
07.12.2021 11:11:01	440	18,17	35	134	3,7	137	38,1	7,57	2,04	21,8	172,6	8
07.12.2021 11:11:06	445	18,16	35	132	3,7	136	37,7	7,54	2,04	21,9	171,7	8
07.12.2021 11:11:11	450	17,86	36	146	4,3	150	34,7	6,83	2,27	21,8	173,5	6
07.12.2021 11:11:16	455	16,49	49	262	7,9	270	25,9	4,83	3,28	21,8	180,3	2
07.12.2021 11:11:21	460	15,85	67	292	11,0	303	23,1	4,12	3,74	21,9	186,2	0
07.12.2021 11:11:26	465	16,22	77	258	12,0	270	24,9	4,44	3,47	21,9	186,4	1
07.12.2021 11:11:31	470	16,65	75	253	12,5	266	27,7	4,89	3,15	21,9	188,9	8
07.12.2021 11:11:36	475	15,63	75	280	13,4	293	24,5	3,99	3,90	22,0	201,4	11
07.12.2021 11:11:41	480	14,43	78	299	12,7	311	20,8	3,22	4,79	21,9	208,6	11
07.12.2021 11:11:46	485	14,65	77	298	11,2	309	22,9	3,33	4,63	22,0	220,4	12
07.12.2021 11:11:51	490	12,57	98	337	10,3	347	20,6	2,52	6,16	22,0	254,8	5
07.12.2021 11:11:56	495	11,83	169	284	7,7	292	20,0	2,30	6,70	22,1	266,4	0
07.12.2021 11:12:01	500	12,32	155	282	5,7	288	20,8	2,43	6,34	22,0	264,6	13
07.12.2021 11:12:06	505	13,37	233	342	4,6	347	23,3	2,77	5,57	22,1	262,4	0
07.12.2021 11:12:11	510	12,86	432	440	4,7	445	21,7	2,60	5,95	22,1	259,6	0
07.12.2021 11:12:16	515	14,40	808	395	4,5	400	25,6	3,27	4,81	22,1	248,8	0
07.12.2021 11:12:21	520	16,99	749	245	2,6	247	39,8	5,40	2,91	22,2	240,8	110
07.12.2021 11:12:26	525	17,90	411	166	1,5	167	49,2	6,88	2,24	22,3	235,7	285
07.12.2021 11:12:31	530	17,93	211	161	1,0	162	48,7	6,97	2,21	22,3	230,9	270
07.12.2021 11:12:36	535	18,00	117	156	0,9	157	48,8	7,13	2,16	22,3	226,9	212
07.12.2021 11:12:41	540	18,04	68	152	0,8	153	48,6	7,22	2,13	22,3	223,6	148
07.12.2021 11:12:46	545	18,03	46	152	0,7	152	47,8	7,20	2,14	22,3	220,8	103

Продолжение Таблицы П2.19

Дата, время	сек	% O ₂	ppm CO	ppm NO	ppm NO ₂	ppm NO _x	% O ₂	λ	% CO ₂	°C ТВ	°C ТГ	ppm H ₂
07.12.2021 11:12:51	550	18,08	38	148	0,7	149	47,9	7,32	2,10	22,4	218,2	71
07.12.2021 11:12:56	555	18,07	34	146	0,6	147	47,3	7,31	2,11	22,4	216,2	51
07.12.2021 11:13:01	560	18,06	33	147	0,6	148	46,5	7,26	2,12	22,5	214,1	39
07.12.2021 11:13:06	565	18,09	32	145	0,6	145	46,5	7,35	2,10	22,6	211,8	32
07.12.2021 11:13:11	570	18,08	32	144	0,6	144	45,9	7,32	2,10	22,6	210,1	27
07.12.2021 11:13:16	575	18,07	32	144	0,7	145	45,2	7,29	2,11	22,7	208,0	24
07.12.2021 11:13:21	580	18,09	32	143	0,7	144	45,0	7,35	2,10	22,8	206,1	20
07.12.2021 11:13:26	585	18,06	32	144	0,7	144	44,2	7,27	2,12	22,7	204,6	18
07.12.2021 11:13:31	590	18,04	33	145	0,4	145	43,5	7,22	2,13	22,7	202,9	16
07.12.2021 11:13:36	595	18,06	33	142	0,7	143	43,4	7,27	2,12	22,8	201,2	16
07.12.2021 11:13:41	600	17,67	34	158	1,1	159	38,6	6,49	2,41	22,8	200,3	13
07.12.2021 11:13:46	605	17,03	44	209	2,0	211	32,0	5,37	2,87	22,8	199,4	8
07.12.2021 11:13:51	610	17,31	52	198	2,3	201	34,1	5,77	2,67	22,8	198,4	8
07.12.2021 11:13:56	615	17,47	51	181	2,4	183	35,4	6,03	2,55	22,8	197,5	12
07.12.2021 11:14:01	620	17,53	48	178	2,4	180	35,8	6,14	2,51	22,8	196,3	14
07.12.2021 11:14:06	625	17,90	44	153	2,2	155	39,7	6,89	2,23	22,9	194,8	15
07.12.2021 11:14:11	630	17,49	41	170	2,5	173	35,1	6,11	2,54	23,0	193,9	14
07.12.2021 11:14:16	635	16,98	48	207	3,4	211	30,4	5,28	2,92	22,9	193,1	9
07.12.2021 11:14:21	640	17,69	53	174	3,1	177	36,7	6,47	2,39	23,0	192,1	9
07.12.2021 11:14:26	645	17,41	47	163	3,3	167	35,4	6,13	2,60	23,0	195,2	14
07.12.2021 11:14:31	650	15,18	82	299	7,0	306	22,5	3,69	4,24	23,1	200,7	5
07.12.2021 11:14:36	655	15,29	353	352	7,6	360	23,0	3,73	4,16	23,2	202,7	0
07.12.2021 11:14:41	660	15,92	503	299	8,2	307	25,7	4,17	3,69	23,3	203,7	24
07.12.2021 11:14:46	665	16,27	345	259	7,9	267	27,2	4,52	3,43	23,4	200,2	123
07.12.2021 11:14:51	670	17,40	195	188	5,9	194	35,5	5,92	2,60	23,4	201,7	164
07.12.2021 11:14:56	675	17,21	129	199	5,6	205	36,1	5,61	2,75	23,3	213,9	149
07.12.2021 11:15:01	680	16,00	146	233	6,1	239	29,8	4,45	3,63	23,4	221,0	120
07.12.2021 11:15:06	685	14,12	168	306	7,9	313	22,7	3,08	5,02	24,5	236,4	76

Продолжение Таблицы П2.19

Дата, время	сек	% O ₂	ppm CO	ppm NO	ppm NO ₂	ppm NO _x	% O ₂	λ	% CO ₂	°C ТВ	°C ТГ	ppm H ₂
07.12.2021 11:15:11	690	13,60	122	291	7,6	298	21,4	2,85	5,40	24,2	238,6	81
07.12.2021 11:15:16	695	14,20	92	249	6,4	255	23,1	3,11	4,95	24,1	237,9	71
07.12.2021 11:15:21	700	14,50	78	244	6,0	250	24,2	3,25	4,74	23,9	238,9	58
07.12.2021 11:15:26	705	14,43	71	258	5,8	264	25,0	3,22	4,79	23,6	248,5	45
07.12.2021 11:15:31	710	13,30	69	313	5,8	319	22,4	2,74	5,62	23,6	257,2	35
07.12.2021 11:15:36	715	13,56	66	299	4,9	304	22,4	2,85	5,42	24,0	249,1	31
07.12.2021 11:15:41	720	15,13	62	255	4,0	259	27,5	3,62	4,27	24,1	245,1	27
07.12.2021 11:15:46	725	15,16	62	226	3,6	230	28,2	3,63	4,25	24,0	249,9	23
07.12.2021 11:15:51	730	14,31	64	246	3,5	250	25,7	3,16	4,87	23,8	257,9	21
07.12.2021 11:15:56	735	13,97	64	266	3,4	270	25,0	3,01	5,12	23,6	262,3	19
07.12.2021 11:16:01	740	13,72	62	280	3,1	283	25,2	2,90	5,31	23,4	272,0	19
07.12.2021 11:16:06	745	13,01	62	293	3,2	296	23,6	2,64	5,83	23,4	277,6	17
07.12.2021 11:16:11	750	13,17	61	299	2,8	302	24,4	2,69	5,72	23,2	281,2	17
07.12.2021 11:16:16	755	13,03	61	314	2,6	317	24,3	2,65	5,82	23,3	284,9	17
07.12.2021 11:16:21	760	13,03	61	312	2,4	315	25,2	2,65	5,82	23,2	294,0	15
07.12.2021 11:16:26	765	12,64	62	297	2,1	299	24,2	2,52	6,11	23,2	295,8	15
07.12.2021 11:16:31	770	13,00	63	315	2,1	317	25,3	2,64	5,84	23,2	296,1	14
07.12.2021 11:16:36	775	13,18	63	330	2,3	332	25,0	2,70	5,71	23,3	287,5	14
07.12.2021 11:16:41	780	14,32	62	322	2,4	324	28,3	3,17	4,87	23,0	280,3	14
07.12.2021 11:16:46	785	15,64	62	287	2,0	289	34,5	4,05	3,90	23,1	272,9	14
07.12.2021 11:16:51	790	17,41	55	213	1,4	214	48,8	5,94	2,59	23,2	267,5	17
07.12.2021 11:16:56	795	17,50	43	186	1,0	187	49,4	6,10	2,53	23,2	264,4	20
07.12.2021 11:17:01	800	17,59	36	182	0,8	183	49,8	6,25	2,47	23,1	260,1	18
07.12.2021 11:17:06	805	18,57	31	126	0,2	126	70,7	9,25	1,74	23,1	253,3	17
07.12.2021 11:17:11	810	19,63	22	59	0,0	59	105,9	16,27	0,96	23,1	223,2	17
07.12.2021 11:17:16	815	20,07	15	30	0,0	30	-	-	-	23,0	161,6	15
07.12.2021 11:17:21	820	20,34	10	12	0,0	12	-	-	-	23,1	124,6	14

Продолжение Таблицы П2.19

ПДМ САТ 1300												
Дата, время	сек	% O ₂	ppm CO	ppm NO	ppm NO ₂	ppm NO _x	% O ₂	λ	% CO ₂	°C ТВ	°C ТГ	ppm H ₂
07.12.2021 11:31:08	0	20,86	0	0	0,0	0	-	-	-	18,2	-	0
07.12.2021 11:31:13	5	20,77	0	1	0,2	1	-	-	-	18,1	15,4	0
07.12.2021 11:31:18	10	20,82	1	0	0,3	0	-	-	-	18,1	15,4	0
07.12.2021 11:31:23	15	20,84	1	0	0,1	0	-	-	-	18,0	17,6	0
07.12.2021 11:31:28	20	20,83	1	0	0,1	0	-	-	-	18,2	25,6	0
07.12.2021 11:31:33	25	20,84	0	0	0,0	0	-	-	-	19,0	56,2	0
07.12.2021 11:31:38	30	20,83	1	0	0,0	0	-	-	-	19,5	88,4	0
07.12.2021 11:31:43	35	20,84	0	3	0,0	3	-	-	-	19,9	108,5	0
07.12.2021 11:31:48	40	20,83	1	2	0,0	2	-	-	-	20,3	109,4	0
07.12.2021 11:31:53	45	20,86	1	1	0,0	1	-	-	-	20,7	112,5	0
07.12.2021 11:31:58	50	20,88	1	1	0,0	1	-	-	-	21,1	114,7	1
07.12.2021 11:32:03	55	20,88	0	1	0,0	1	-	-	-	21,3	118,2	1
07.12.2021 11:32:08	60	20,90	0	1	0,0	1	-	-	-	21,5	120,8	1
07.12.2021 11:32:13	65	20,89	1	1	0,0	1	-	-	-	21,7	124,6	0
07.12.2021 11:32:18	70	20,90	1	0	0,0	0	-	-	-	22,0	126,5	0
07.12.2021 11:32:23	75	20,89	1	1	0,0	1	-	-	-	22,2	127,4	1
07.12.2021 11:32:28	80	20,91	1	1	0,0	1	-	-	-	22,2	129,6	0
07.12.2021 11:32:33	85	20,89	0	1	0,0	1	-	-	-	22,0	130,6	1
07.12.2021 11:32:38	90	20,89	1	0	0,0	0	-	-	-	21,7	129,8	0
07.12.2021 11:32:43	95	20,88	1	0	0,0	0	-	-	-	21,1	128,3	1
07.12.2021 11:32:48	100	20,90	1	0	0,0	0	-	-	-	20,9	128,0	0
07.12.2021 11:32:53	105	20,90	1	0	0,0	0	-	-	-	20,8	128,3	0
07.12.2021 11:32:58	110	20,90	1	0	0,0	0	-	-	-	20,8	127,8	0
07.12.2021 11:33:03	115	20,92	1	0	0,0	0	-	-	-	22,2	128,3	0
07.12.2021 11:33:08	120	20,92	0	0	0,0	0	-	-	-	24,9	128,9	1
07.12.2021 11:33:13	125	20,93	0	0	0,0	0	-	-	-	27,1	131,9	1
07.12.2021 11:33:18	130	20,92	0	0	0,0	0	-	-	-	29,1	133,5	0

Продолжение Таблицы П2.19

Дата, время	сек	% O ₂	ppm CO	ppm NO	ppm NO ₂	ppm NO _x	% O ₂	λ	% CO ₂	°C ТВ	°C ТГ	ppm H ₂
07.12.2021 11:33:23	135	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	28,9	133,1	0
07.12.2021 11:33:28	140	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	28,0	133,2	0
07.12.2021 11:33:33	145	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	27,2	132,7	1
07.12.2021 11:33:38	150	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	26,7	133,6	1
07.12.2021 11:33:43	155	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	26,1	134,9	1
07.12.2021 11:33:48	160	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	24,9	135,0	0
07.12.2021 11:33:53	165	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	24,0	134,8	1
07.12.2021 11:33:58	170	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	23,7	137,2	0
07.12.2021 11:34:03	175	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	23,1	139,5	0
07.12.2021 11:34:08	180	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	22,7	139,0	2
07.12.2021 11:34:13	185	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	22,4	139,0	1
07.12.2021 11:34:18	190	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	22,3	141,6	0
07.12.2021 11:34:23	195	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	22,2	143,4	1
07.12.2021 11:34:28	200	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	22,3	144,8	1
07.12.2021 11:34:33	205	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	22,1	144,9	0
07.12.2021 11:34:38	210	20,94	1	0	0,0	0	-	-	-	22,1	143,7	1
07.12.2021 11:34:43	215	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	21,9	142,2	0
07.12.2021 11:34:48	220	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	21,9	141,5	1
07.12.2021 11:34:53	225	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	22,3	141,1	1
07.12.2021 11:34:58	230	20,94	1	0	0,0	0	-	-	-	22,7	141,1	0
07.12.2021 11:35:03	235	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	22,9	141,5	1
07.12.2021 11:35:08	240	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	23,0	141,1	0
07.12.2021 11:35:13	245	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	23,5	142,1	0
07.12.2021 11:35:18	250	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	24,0	141,7	1
07.12.2021 11:35:23	255	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	24,4	141,6	1
07.12.2021 11:35:28	260	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	25,1	142,3	1
07.12.2021 11:35:33	265	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	24,9	142,3	1
07.12.2021 11:35:38	270	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	25,0	144,0	0

Продолжение Таблицы П2.19

Дата, время	сек	% O ₂	ppm CO	ppm NO	ppm NO ₂	ppm NO _x	% O ₂	λ	% CO ₂	°C ТВ	°C ТГ	ppm H ₂
07.12.2021 11:35:43	275	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	25,2	146,1	1
07.12.2021 11:35:48	280	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	25,7	147,5	0
07.12.2021 11:35:53	285	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	26,0	146,1	0
07.12.2021 11:35:58	290	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	26,0	144,0	2
07.12.2021 11:36:03	295	20,94	0	0	0,0	0	-	-	-	26,3	147,5	2
07.12.2021 11:36:08	300	20,94	0	5	0,0	5	-	-	-	26,3	183,3	1
07.12.2021 11:36:13	305	18,94	5	125	2,4	127	74,1	12,07	1,47	25,4	213,2	0
07.12.2021 11:36:18	310	17,36	14	264	8,8	273	40,4	5,96	2,63	24,7	226,6	0
07.12.2021 11:36:23	315	17,08	17	285	10,3	295	37,8	5,45	2,84	24,4	230,2	0
07.12.2021 11:36:28	320	17,43	31	212	9,5	221	46,0	6,31	2,58	23,7	240,5	1
07.12.2021 11:36:33	325	14,45	34	297	10,7	307	26,1	3,27	4,78	23,4	253,8	1
07.12.2021 11:36:38	330	14,76	40	246	9,2	255	28,0	3,39	4,54	23,2	262,5	1
07.12.2021 11:36:43	335	15,01	41	237	7,5	244	29,6	3,54	4,36	23,1	265,9	3
07.12.2021 11:36:48	340	15,43	36	248	6,3	254	31,8	3,81	4,05	23,3	266,3	7
07.12.2021 11:36:53	345	15,75	30	266	6,0	272	33,6	4,06	3,82	23,4	265,1	8
07.12.2021 11:36:58	350	16,81	24	219	4,9	224	42,1	5,19	3,04	23,4	263,4	9
07.12.2021 11:37:03	355	16,24	21	214	4,7	218	38,3	4,66	3,46	23,2	265,6	6
07.12.2021 11:37:08	360	15,19	30	233	4,7	237	31,2	3,65	4,23	23,1	271,9	1
07.12.2021 11:37:13	365	14,51	37	263	4,7	268	29,2	3,26	4,73	23,0	281,1	0
07.12.2021 11:37:18	370	14,17	39	296	4,6	300	28,3	3,09	4,98	23,0	286,0	1
07.12.2021 11:37:23	375	14,63	38	271	4,0	275	30,4	3,33	4,64	23,2	287,1	3
07.12.2021 11:37:28	380	15,21	38	222	2,8	225	33,0	3,65	4,22	23,8	286,8	3
07.12.2021 11:37:33	385	15,46	41	205	2,2	208	34,2	3,83	4,03	24,5	284,9	3
07.12.2021 11:37:38	390	16,13	42	172	1,5	174	38,4	4,38	3,54	24,9	281,8	4
07.12.2021 11:37:43	395	18,11	39	144	1,1	145	62,7	7,46	2,08	25,2	276,9	7
07.12.2021 11:37:48	400	16,68	35	214	1,7	216	41,7	4,96	3,13	25,6	273,5	8
07.12.2021 11:37:53	405	18,12	28	154	1,0	155	63,5	7,76	2,07	25,3	270,8	10
07.12.2021 11:37:58	410	18,40	21	175	1,3	176	70,0	8,65	1,87	24,6	267,7	10

Продолжение Таблицы П2.19

Дата, время	сек	% O ₂	ppm CO	ppm NO	ppm NO ₂	ppm NO _x	% O ₂	λ	% CO ₂	°C ТВ	°C ТГ	ppm H ₂
07.12.2021 11:38:03	415	14,18	26	315	2,8	318	29,0	3,34	4,97	24,0	276,0	3
07.12.2021 11:38:08	420	13,40	36	355	3,4	358	25,4	2,78	5,54	23,6	284,3	0
07.12.2021 11:38:13	425	14,31	35	309	3,0	312	29,1	3,17	4,87	23,4	288,8	3
07.12.2021 11:38:18	430	15,48	31	247	2,5	249	35,6	3,84	4,02	23,4	293,6	6
07.12.2021 11:38:23	435	13,26	32	355	3,4	358	26,9	2,73	5,65	23,6	304,4	5
07.12.2021 11:38:28	440	12,58	33	407	4,1	411	25,7	2,50	6,15	23,6	314,0	4
07.12.2021 11:38:33	445	12,99	33	389	4,0	393	27,1	2,64	5,84	23,8	316,3	3
07.12.2021 11:38:38	450	13,50	31	351	3,7	354	28,7	2,82	5,47	24,1	316,1	5
07.12.2021 11:38:43	455	14,69	32	312	3,2	315	34,5	3,38	4,60	24,5	320,5	3
07.12.2021 11:38:48	460	12,42	49	383	3,6	386	26,0	2,48	6,27	25,5	322,2	0
07.12.2021 11:38:53	465	14,27	48	272	2,7	275	31,7	3,15	4,91	27,2	317,6	3
07.12.2021 11:38:58	470	15,49	43	223	1,8	225	37,5	3,87	4,01	28,5	311,7	7
07.12.2021 11:39:03	475	14,40	40	299	2,4	301	32,5	3,32	4,81	28,4	311,9	8
07.12.2021 11:39:08	480	11,49	46	399	3,3	402	23,2	2,23	6,95	27,9	320,0	3
07.12.2021 11:39:13	485	12,06	45	371	2,9	374	25,1	2,40	6,53	28,0	324,3	6
07.12.2021 11:39:18	490	14,96	37	255	2,0	257	35,9	3,54	4,40	28,8	323,1	9
07.12.2021 11:39:23	495	15,59	32	217	1,6	218	41,9	4,25	3,93	29,2	318,7	9
07.12.2021 11:39:28	500	17,88	27	175	1,2	176	65,5	6,84	2,25	28,7	314,8	10
07.12.2021 11:39:33	505	17,61	21	217	1,3	218	59,4	6,30	2,45	28,2	309,0	8
07.12.2021 11:39:38	510	16,19	22	238	1,7	240	42,6	4,57	3,49	28,1	301,5	4
07.12.2021 11:39:43	515	18,13	27	153	1,0	154	73,0	8,16	2,07	28,6	297,2	2
07.12.2021 11:39:48	520	19,04	22	113	0,7	113	96,2	11,03	1,40	28,8	292,2	6
07.12.2021 11:39:53	525	18,22	18	150	1,0	151	73,0	8,53	2,00	27,8	284,9	5
07.12.2021 11:39:58	530	15,16	26	230	1,6	232	33,1	3,67	4,25	27,0	289,3	1
07.12.2021 11:40:03	535	14,55	36	272	1,8	273	30,4	3,28	4,70	26,9	294,8	0
07.12.2021 11:40:08	540	14,22	37	319	2,2	321	29,6	3,12	4,94	26,7	299,7	1
07.12.2021 11:40:13	545	14,17	35	341	2,5	344	30,2	3,10	4,98	26,6	307,6	3
07.12.2021 11:40:18	550	13,33	36	401	3,1	404	27,5	2,77	5,60	26,3	310,1	4

Продолжение Таблицы П2.19

Дата, время	сек	% O ₂	ppm CO	ppm NO	ppm NO ₂	ppm NO _x	% O ₂	λ	% CO ₂	°C ТВ	°C ТГ	ppm H ₂
07.12.2021 11:40:23	555	15,85	31	284	2,3	286	42,9	4,49	3,74	25,9	306,7	6
07.12.2021 11:40:28	560	17,96	24	226	1,5	227	65,5	7,02	2,19	25,6	304,2	8
07.12.2021 11:40:33	565	17,93	18	239	1,9	241	64,1	6,95	2,22	25,7	301,5	7
07.12.2021 11:40:38	570	17,88	16	251	2,2	253	62,2	6,85	2,25	25,7	297,0	5
07.12.2021 11:40:43	575	17,08	16	290	2,7	293	49,0	5,45	2,84	25,2	291,2	3
07.12.2021 11:40:48	580	18,18	17	181	1,8	183	68,3	7,83	2,03	24,4	285,9	2
07.12.2021 11:40:53	585	18,26	16	201	1,5	202	66,9	7,88	1,97	24,4	278,8	3
07.12.2021 11:40:58	590	17,83	17	221	1,9	223	56,6	6,77	2,29	24,9	274,2	2
07.12.2021 11:41:03	595	18,66	17	168	1,2	169	75,4	9,28	1,67	25,3	270,2	2
07.12.2021 11:41:08	600	19,24	14	129	0,8	130	97,3	12,32	1,25	25,6	264,7	4
07.12.2021 11:41:13	605	18,10	13	174	1,1	175	61,4	7,89	2,09	26,1	259,3	2
07.12.2021 11:41:18	610	18,10	20	180	1,0	181	58,4	7,61	2,09	26,5	256,6	0
07.12.2021 11:41:23	615	18,59	18	167	1,0	168	66,9	8,90	1,73	26,8	252,7	2
07.12.2021 11:41:28	620	17,96	17	186	1,2	187	53,5	7,17	2,19	26,9	249,6	2
07.12.2021 11:41:33	625	17,81	24	205	1,6	207	49,5	6,72	2,30	27,4	247,1	0
07.12.2021 11:41:38	630	16,46	28	286	3,0	289	35,4	4,79	3,30	28,0	246,1	0
07.12.2021 11:41:43	635	14,33	42	325	4,0	329	24,5	3,18	4,86	28,0	250,5	0
07.12.2021 11:41:48	640	14,62	51	303	3,5	306	26,6	3,33	4,65	28,0	259,6	0
07.12.2021 11:41:53	645	13,38	53	346	4,2	350	24,1	2,80	5,56	28,0	274,7	2
07.12.2021 11:41:58	650	12,54	50	381	4,7	386	22,7	2,49	6,17	27,7	285,1	7
07.12.2021 11:42:03	655	13,43	43	336	3,9	340	25,7	2,81	5,52	27,3	289,2	9
07.12.2021 11:42:08	660	15,04	41	290	3,8	294	32,4	3,55	4,34	27,8	292,6	7
07.12.2021 11:42:13	665	13,94	39	348	4,8	353	27,4	3,00	5,15	28,6	290,4	8
07.12.2021 11:42:18	670	15,72	32	326	7,9	334	36,8	4,13	3,84	29,0	289,9	9
07.12.2021 11:42:23	675	14,02	38	367	6,8	374	27,4	3,03	5,09	29,1	289,5	3
07.12.2021 11:42:28	680	13,58	47	343	5,2	348	26,9	2,87	5,41	29,1	298,2	0
07.12.2021 11:42:33	685	11,94	51	412	5,3	417	23,1	2,33	6,62	28,2	306,7	2
07.12.2021 11:42:38	690	13,44	46	385	5,0	390	27,7	2,82	5,52	27,7	308,8	7

Продолжение Таблицы П2.19

Дата, время	сек	% O ₂	ppm CO	ppm NO	ppm NO ₂	ppm NO _x	% O ₂	λ	% CO ₂	°C ТВ	°C ТГ	ppm H ₂
07.12.2021 11:42:43	695	14,29	41	330	4,5	335	31,2	3,17	4,89	28,6	312,5	6
07.12.2021 11:42:48	700	13,08	43	376	4,2	380	26,7	2,67	5,78	29,0	314,9	5
07.12.2021 11:42:53	705	13,31	39	356	4,0	360	27,3	2,74	5,61	29,7	313,6	6
07.12.2021 11:42:58	710	13,88	37	302	3,2	306	29,3	2,97	5,19	30,5	313,4	5
07.12.2021 11:43:03	715	14,10	38	295	2,6	298	30,5	3,07	5,03	30,0	315,3	4
07.12.2021 11:43:08	720	12,86	38	380	3,3	383	26,4	2,59	5,94	28,9	318,8	5
07.12.2021 11:43:13	725	13,06	37	421	3,8	425	27,6	2,66	5,80	28,4	323,5	5
07.12.2021 11:43:18	730	13,12	34	377	3,6	380	28,1	2,68	5,75	28,0	326,8	5
07.12.2021 11:43:23	735	12,63	35	422	4,1	426	27,0	2,52	6,11	27,5	331,1	3
07.12.2021 11:43:28	740	12,43	36	437	4,3	441	26,7	2,46	6,26	26,6	334,4	1
07.12.2021 11:43:33	745	12,52	37	433	4,2	437	27,1	2,49	6,19	25,9	334,3	1
07.12.2021 11:43:38	750	13,67	36	382	4,0	386	31,9	3,00	5,35	25,9	332,3	3
07.12.2021 11:43:43	755	15,91	32	255	2,8	258	43,2	4,23	3,70	25,9	325,1	4
07.12.2021 11:43:48	760	14,90	34	261	2,7	264	36,1	3,51	4,44	25,4	323,6	2
07.12.2021 11:43:53	765	13,31	39	356	3,5	360	29,3	2,75	5,61	25,2	329,7	0
07.12.2021 11:43:58	770	12,55	41	415	3,9	419	27,2	2,50	6,17	25,4	334,8	1
07.12.2021 11:44:03	775	12,65	40	412	4,3	416	27,8	2,53	6,09	25,7	337,4	3
07.12.2021 11:44:08	780	13,38	38	366	4,1	370	30,3	2,78	5,56	25,9	336,9	4
07.12.2021 11:44:13	785	13,70	40	341	3,7	344	32,2	2,95	5,33	26,4	339,6	2
07.12.2021 11:44:18	790	13,05	50	363	3,4	366	29,8	2,74	5,80	27,0	337,4	0
07.12.2021 11:44:23	795	15,14	48	269	2,5	272	38,0	3,62	4,26	28,4	333,7	3
07.12.2021 11:44:28	800	13,79	49	322	3,1	325	31,2	2,95	5,26	29,5	332,9	3
07.12.2021 11:44:33	805	11,05	55	384	3,6	388	23,7	2,14	7,28	30,2	340,6	2
07.12.2021 11:44:38	810	10,87	54	407	3,4	410	23,7	2,08	7,40	30,1	347,3	5
07.12.2021 11:44:43	815	13,12	48	313	2,6	316	30,3	2,75	5,75	31,1	346,2	7
07.12.2021 11:44:48	820	13,41	50	277	2,4	280	30,6	2,80	5,54	31,7	344,1	5
07.12.2021 11:44:53	825	14,09	53	240	2,0	242	32,5	3,08	5,04	31,2	335,4	5
07.12.2021 11:44:58	830	16,44	48	162	1,0	163	49,4	4,88	3,31	30,5	329,1	9

Продолжение Таблицы П2.19

Дата, время	сек	% O ₂	ppm CO	ppm NO	ppm NO ₂	ppm NO _x	% Q ₂	λ	% CO ₂	°C ТВ	°C ТГ	ppm H ₂
07.12.2021 11:45:03	835	18,27	38	109	0,5	110	76,7	7,88	1,97	30,3	322,4	11
07.12.2021 11:45:08	840	18,20	29	130	0,7	131	75,9	8,07	2,01	29,1	310,9	13
07.12.2021 11:45:13	845	16,04	30	187	1,1	188	40,7	4,27	3,60	27,6	306,7	7
07.12.2021 11:45:18	850	14,74	34	277	1,9	279	32,7	3,38	4,56	27,5	307,1	3
07.12.2021 11:45:23	855	16,34	32	227	1,3	228	44,8	4,72	3,38	27,8	307,0	5
07.12.2021 11:45:28	860	15,28	30	319	2,6	321	38,0	3,92	4,16	27,8	311,2	5
07.12.2021 11:45:33	865	13,08	33	385	3,3	389	27,5	2,67	5,78	27,3	320,5	2
07.12.2021 11:45:38	870	12,87	35	402	3,6	406	27,3	2,60	5,93	26,9	325,5	2
07.12.2021 11:45:43	875	13,62	35	380	3,7	384	30,0	2,86	5,38	26,9	326,7	2
07.12.2021 11:45:48	880	14,37	34	330	3,2	333	33,0	3,19	4,83	27,3	325,8	3
07.12.2021 11:45:53	885	14,65	33	299	2,7	302	34,1	3,34	4,63	27,2	322,9	3
07.12.2021 11:45:58	890	15,23	31	279	2,5	281	37,3	3,68	4,20	26,7	321,1	4
07.12.2021 11:46:03	895	13,76	34	362	3,2	365	30,2	2,93	5,28	26,6	322,7	1
07.12.2021 11:46:08	900	13,80	36	387	3,4	391	30,5	2,93	5,25	26,3	324,2	1
07.12.2021 11:46:13	905	14,44	35	350	3,3	353	33,1	3,22	4,78	25,9	322,0	2
07.12.2021 11:46:18	910	15,42	35	286	2,7	288	38,3	3,83	4,06	26,0	317,8	2
07.12.2021 11:46:23	915	15,76	33	268	2,4	270	40,1	4,07	3,81	26,1	314,3	5
07.12.2021 11:46:28	920	14,18	33	333	3,0	336	31,3	3,10	4,97	25,8	315,8	3
07.12.2021 11:46:33	925	14,18	35	383	3,4	386	31,3	3,12	4,97	25,9	315,2	2
07.12.2021 11:46:38	930	16,88	31	280	2,7	282	50,4	5,20	2,99	26,6	312,8	5
07.12.2021 11:46:43	935	17,55	25	270	2,4	273	55,7	6,18	2,49	26,7	294,9	6
07.12.2021 11:46:48	940	18,93	18	166	1,9	167	-	-	-	25,9	225,7	7
07.12.2021 11:46:53	945	20,25	11	39	0,9	40	-	-	-	25,1	136,6	7
07.12.2021 11:46:58	950	20,51	7	16	0,4	16	-	-	-	24,7	88,2	6
07.12.2021 11:47:03	955	20,57	4	12	0,0	12	-	-	-	24,5	67,4	5
07.12.2021 11:47:08	960	20,57	4	10	0,1	10	-	-	-	24,0	65,3	3
07.12.2021 11:47:13	965	20,57	3	10	0,0	10	-	-	-	23,2	58,8	2

На рисунках П2.1 – П2.6 приведены графики динамики изменений концентрации газов O_2 , CO , NO , NO_2 , CO_2 , H_2 и температуры при работе ЛН-310.

Для машин ЛН-307 САТ-1300, и ST 1030 EPIROC, работающих на проходческих участках, данные измерений приведены на рисунках П2.7 – П2.9

Сводный график по составу выхлопных газов и их температуры от машины ЛН-310 с отметками по технологическим процессам приведен на рисунке П2.10.

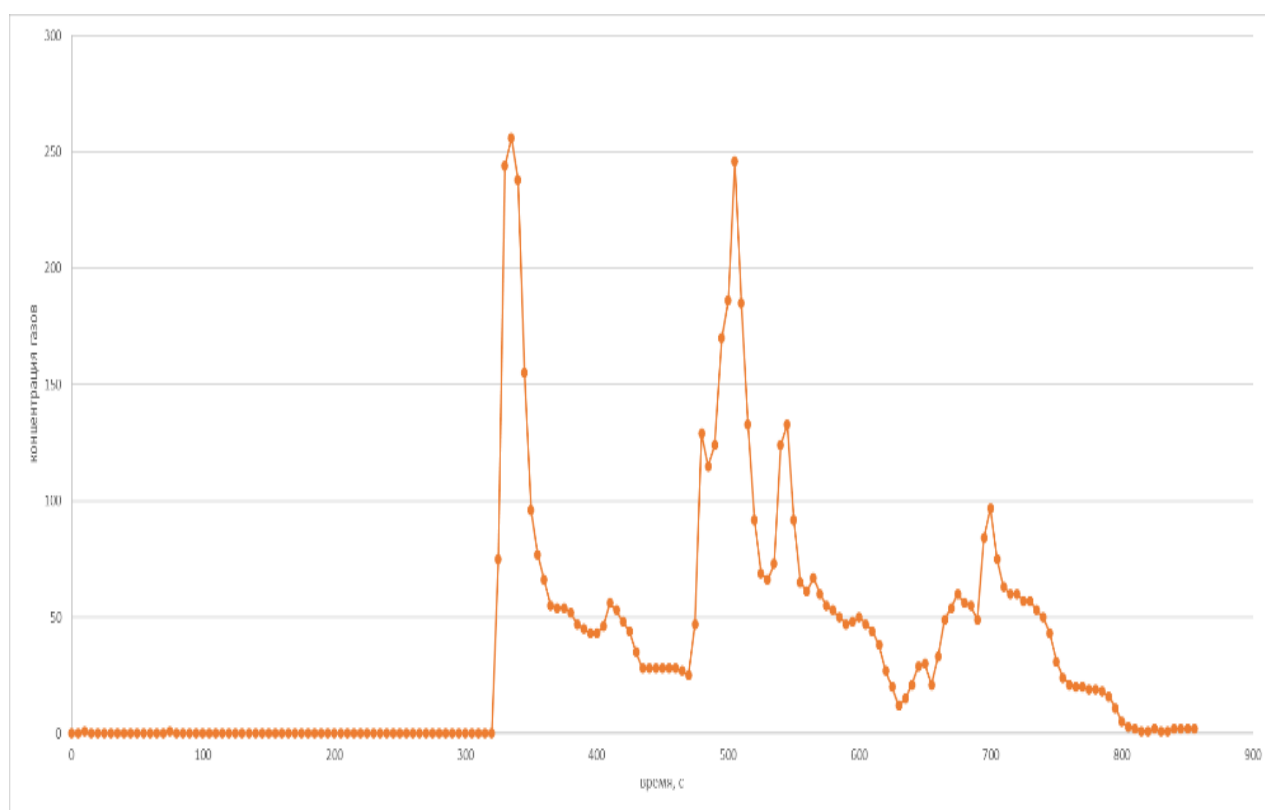


Рисунок П2.1 – График динамики изменения концентрации CO при работе ЛН-310

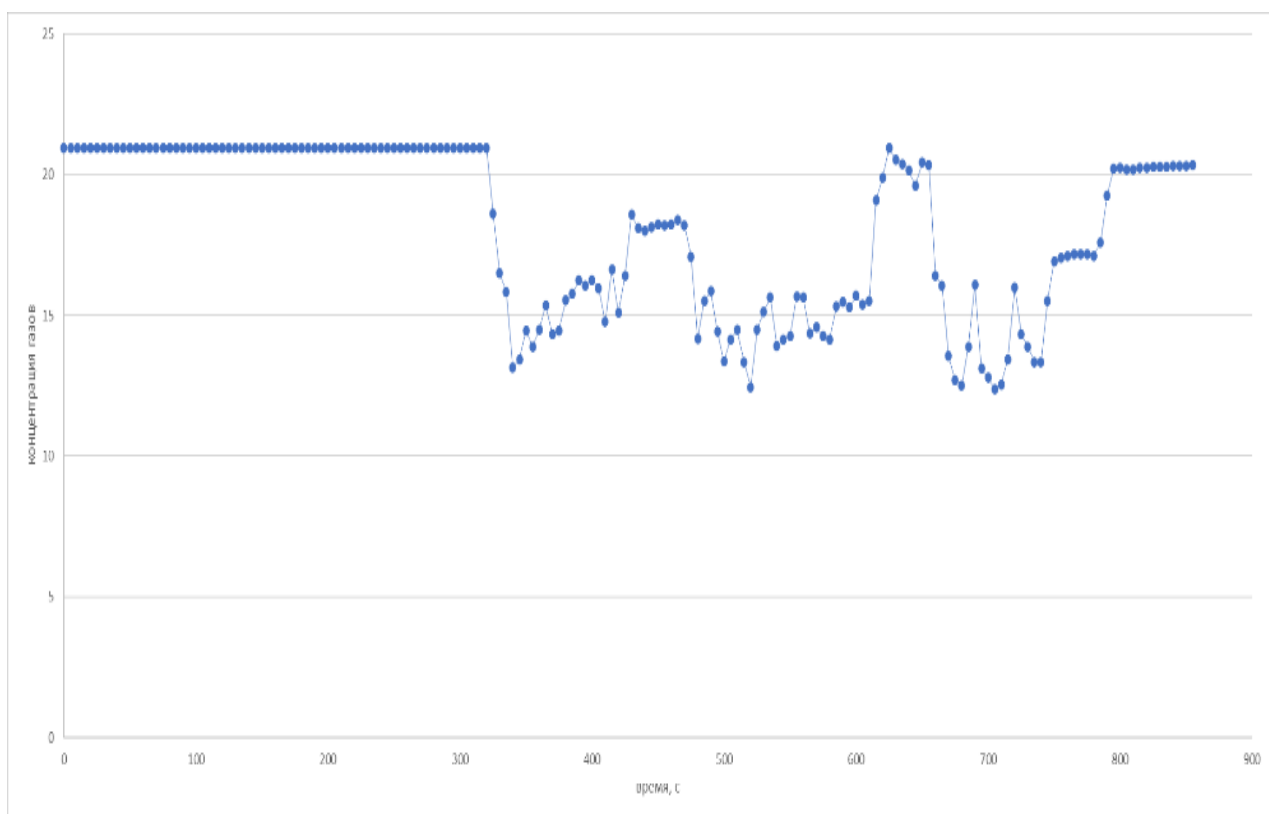


Рисунок П2.2 – График динамики изменения концентрации O_2 при работе LH-310

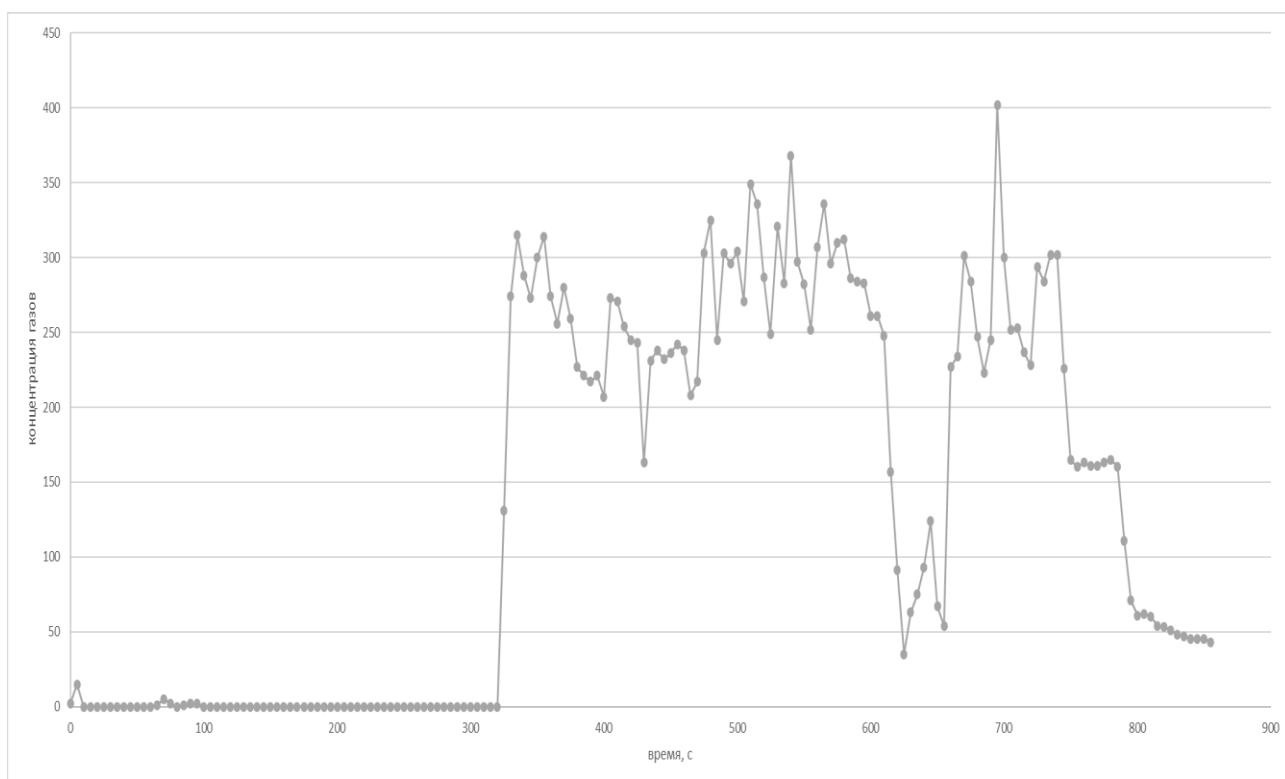


Рисунок П2.3 – График динамики изменения концентрации NO при работе LH-310

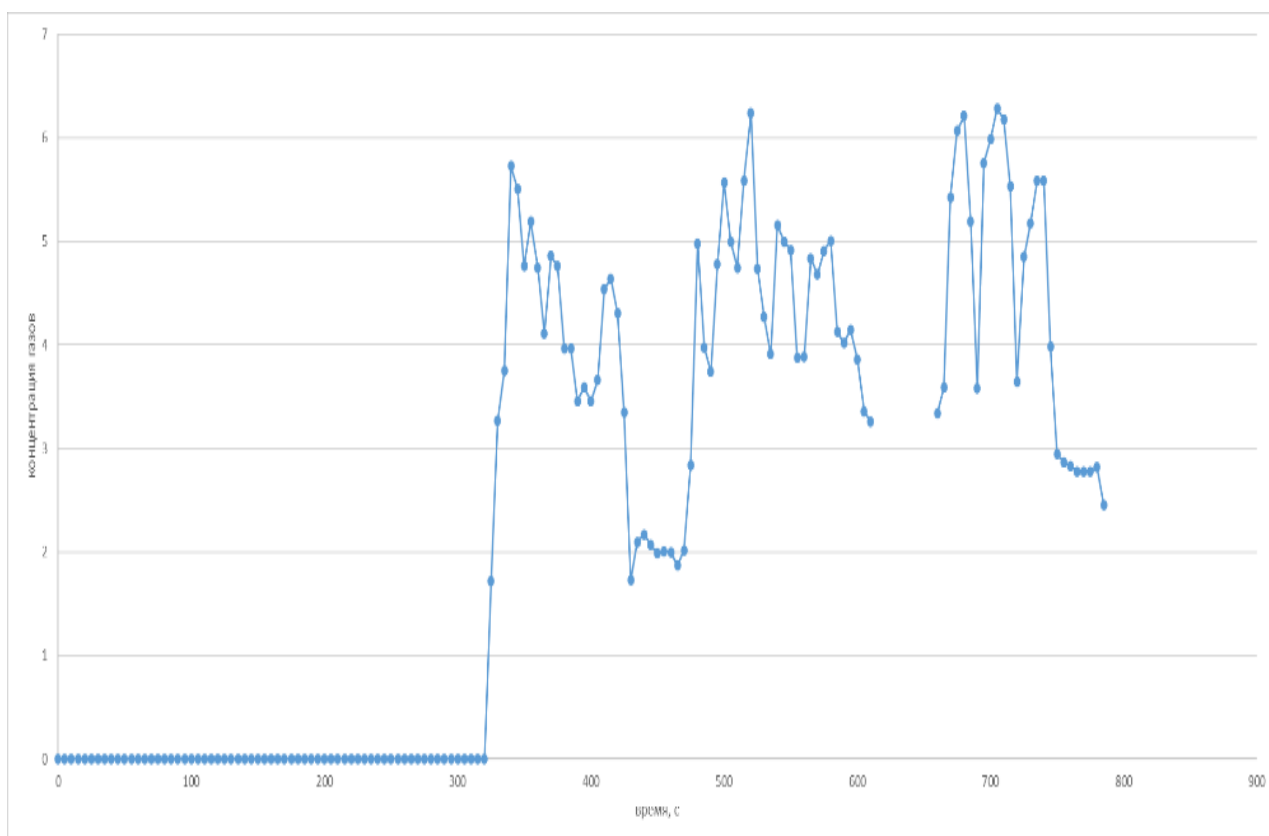


Рисунок П2.4 – График динамики изменения концентрации CO_2 при работе LH-310

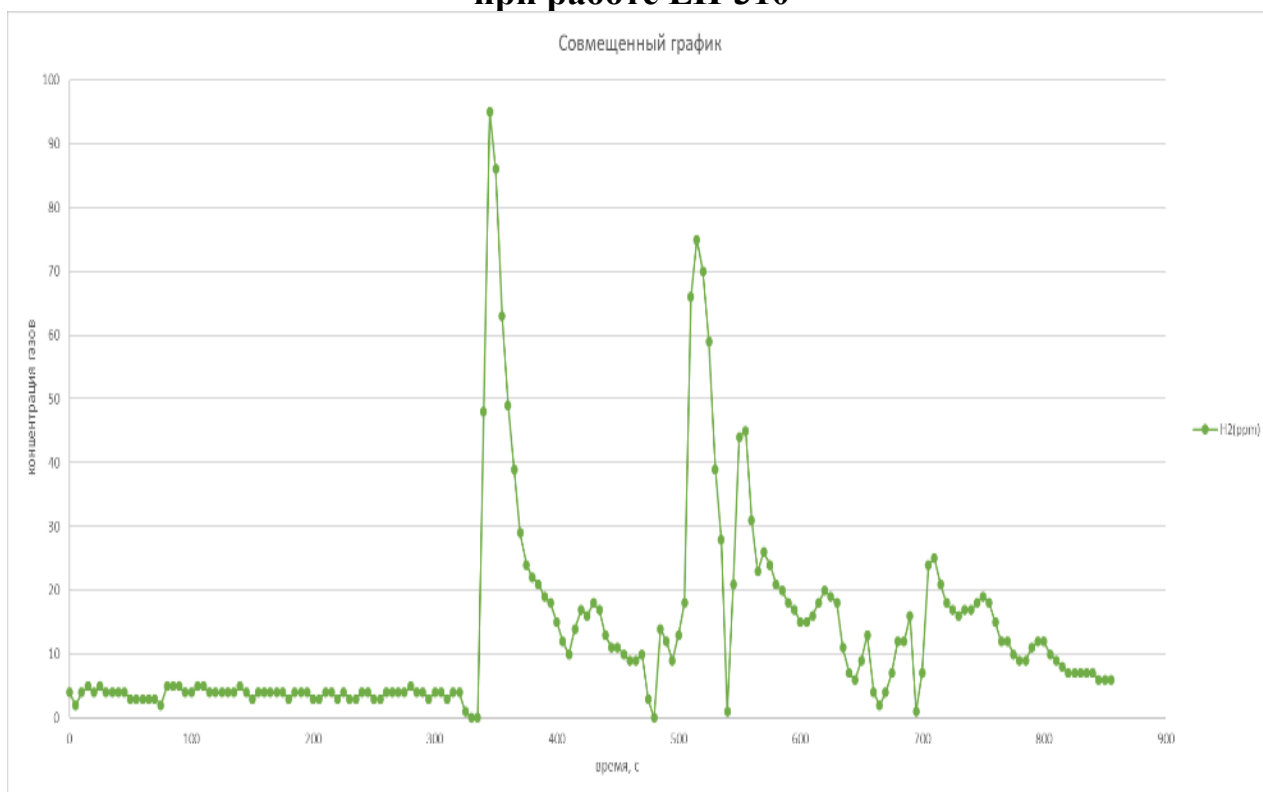


Рисунок П2.5 – График динамики изменения концентрации H_2 при работе LH-310

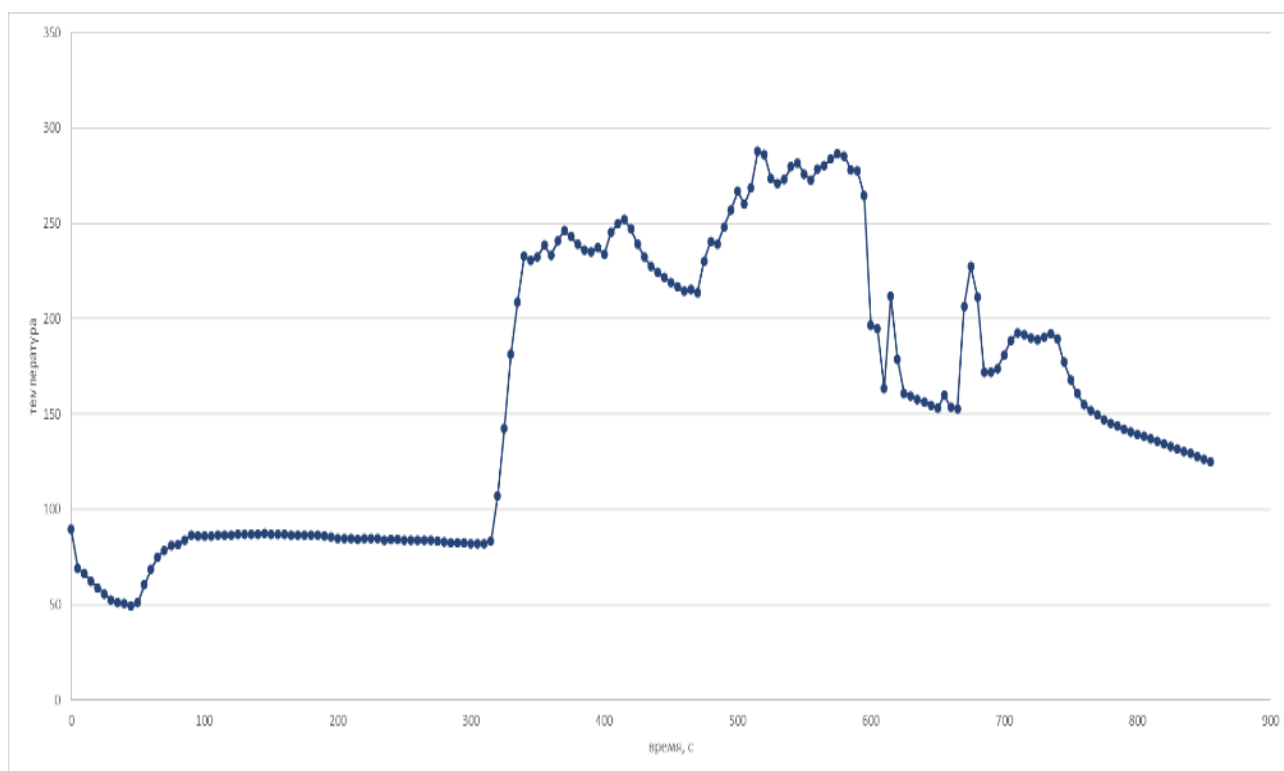


Рисунок П2.6 – График динамики изменения температуры при работе LH-310



Рисунок П2.7 – Совмещённый график по составу выхлопных газов и их температуры от машины LH-307

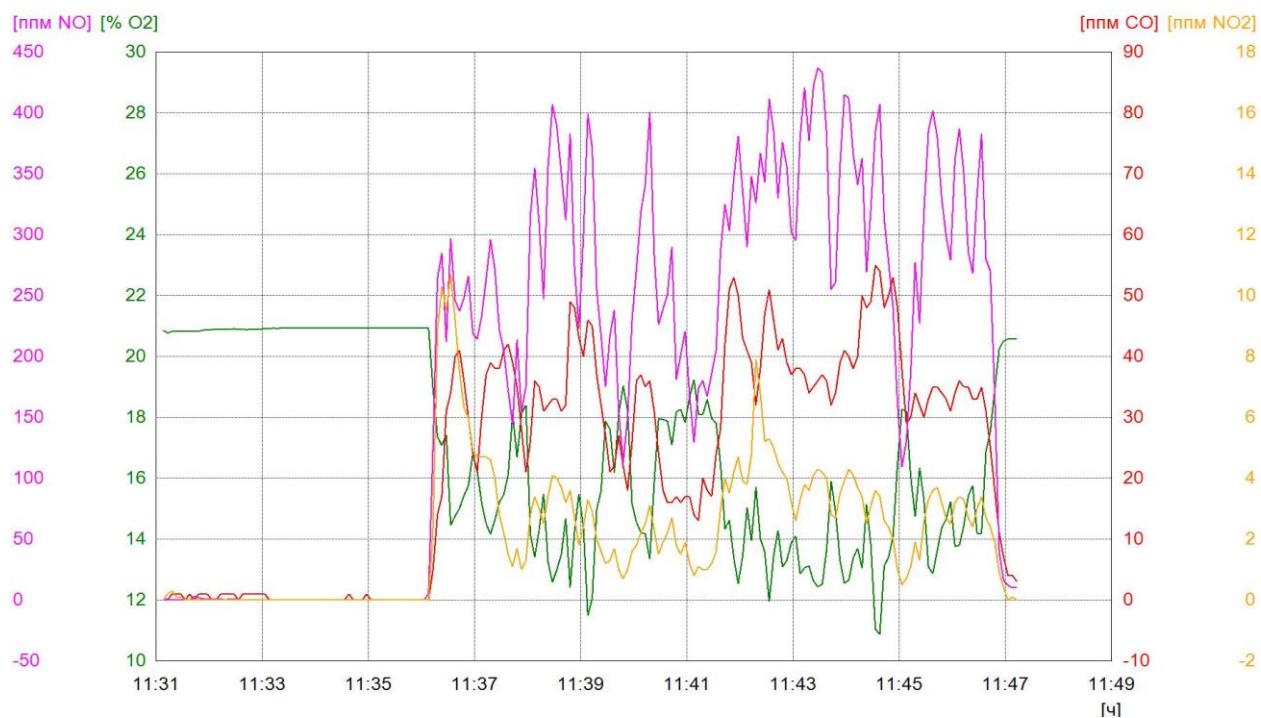


Рисунок П2.8 – Совмещённый график по составу выхлопных газов и их температуры от машины SAT-1300

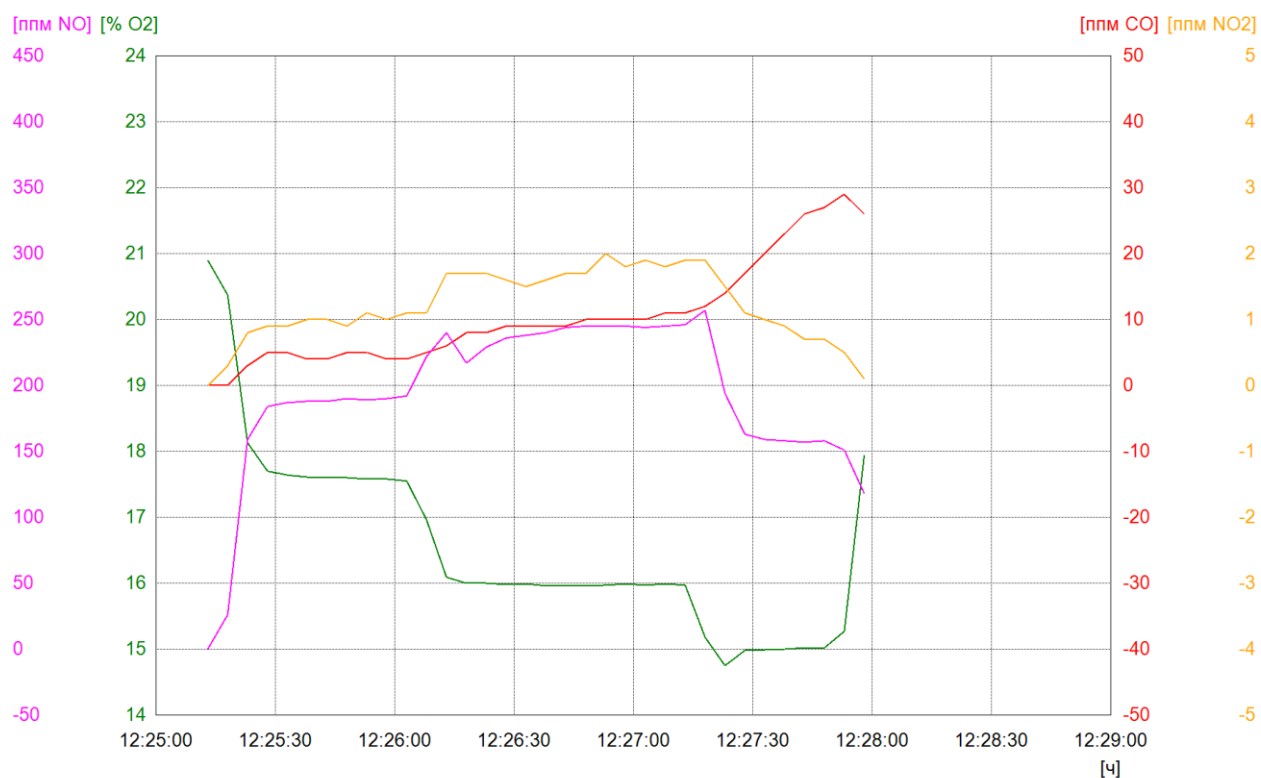


Рисунок П2.9 – Совмещённый график по составу выхлопных газов от машины ST 1030 EPIROC (холостой ход с увеличением оборотов двигателя)

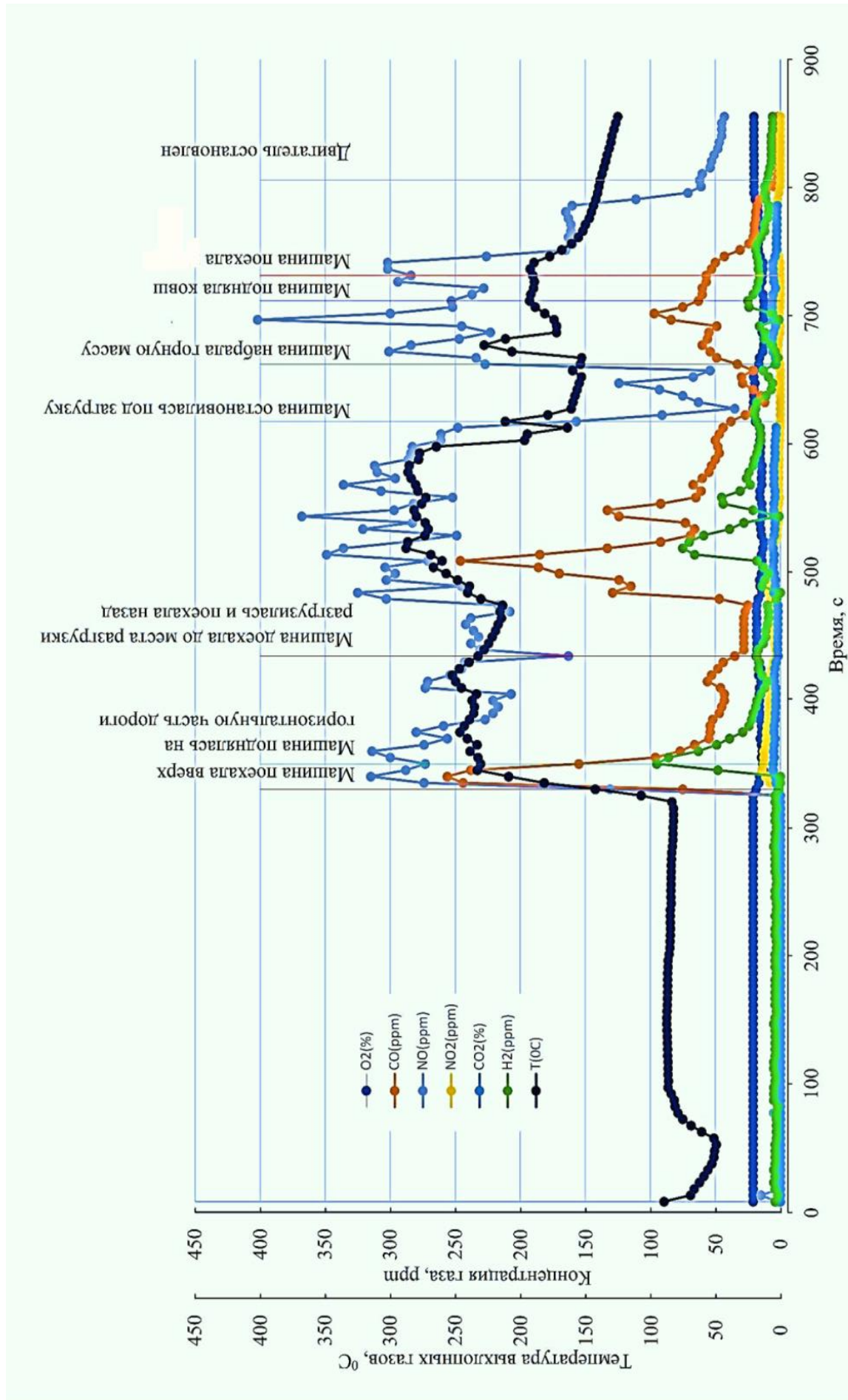


Рисунок П2.10 - Совмещённый график изменения концентраций компонентов выхлопных газов и их температуры при работе ПДМ LN-310 в привязке к технологическим процессам

**РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА
ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ В ТУПИКОВЫХ И СКВОЗНЫХ ГОРНЫХ
ВЫРАБОТКАХ ПРИ РАБОТЕ В НИХ МАШИН С ДВС**

На рисунках приведена визуализация результатов моделирования по сценариям, описанным в главе 4.

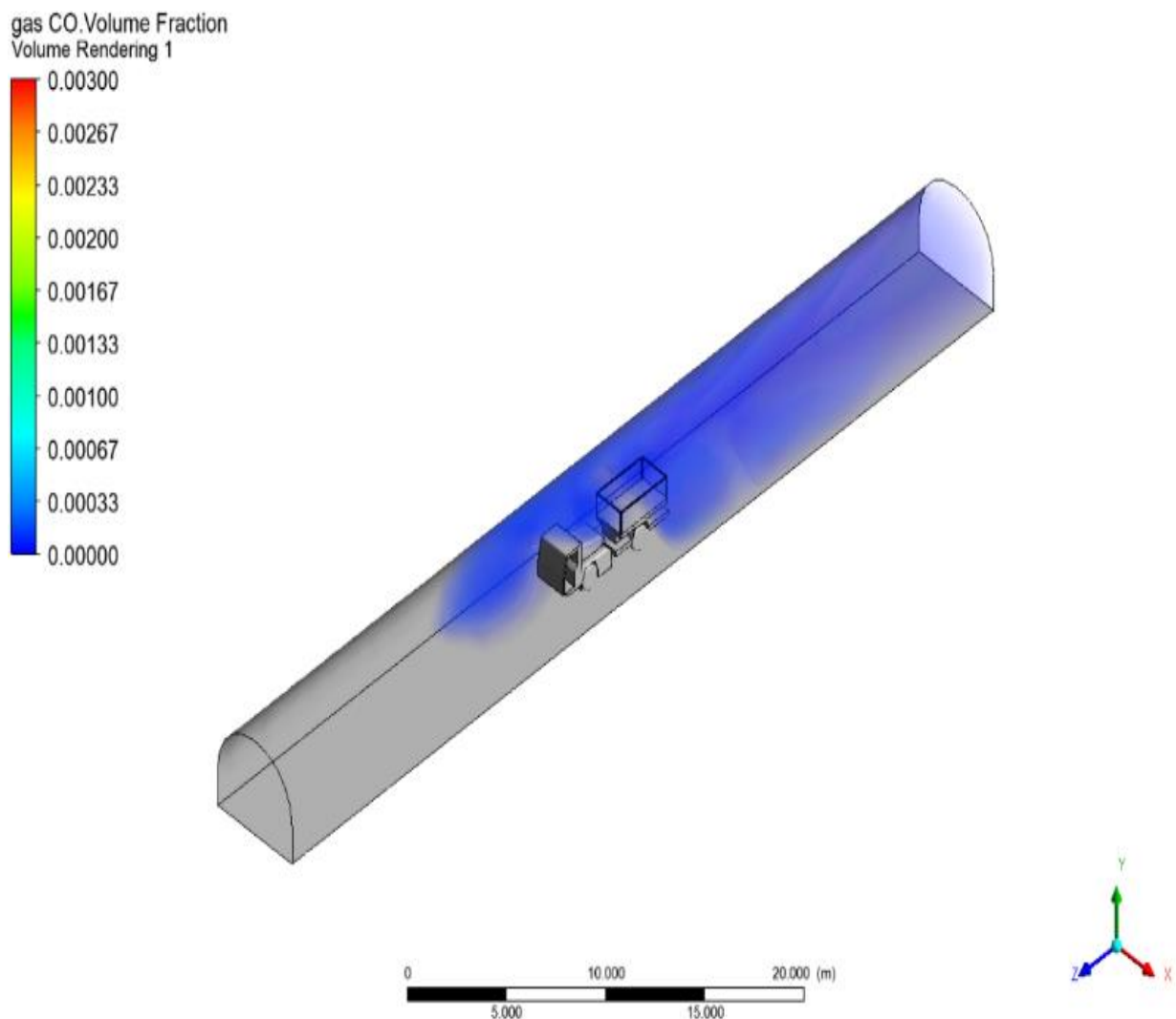


Рисунок ПЗ.1 – Распределение CO % об.д., Сценарий 1

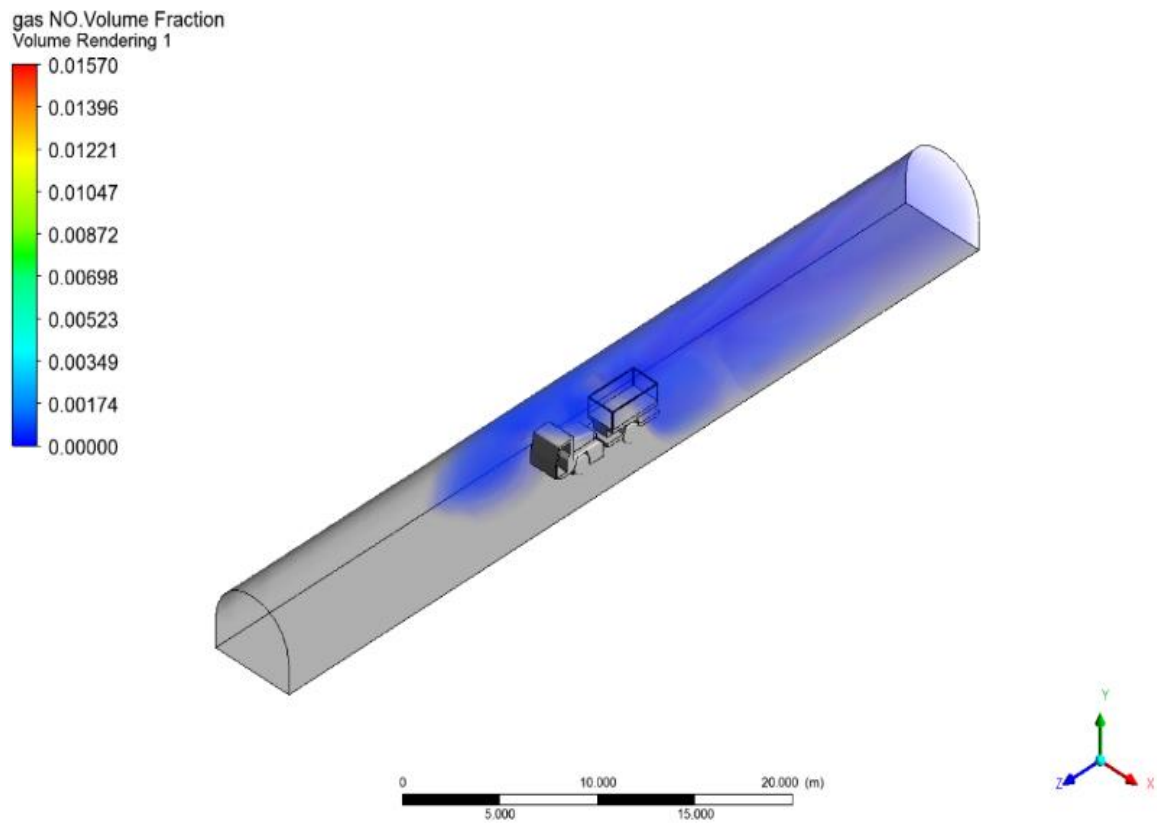


Рисунок ПЗ.2 – Распределение NO % об.д., Сценарий 1

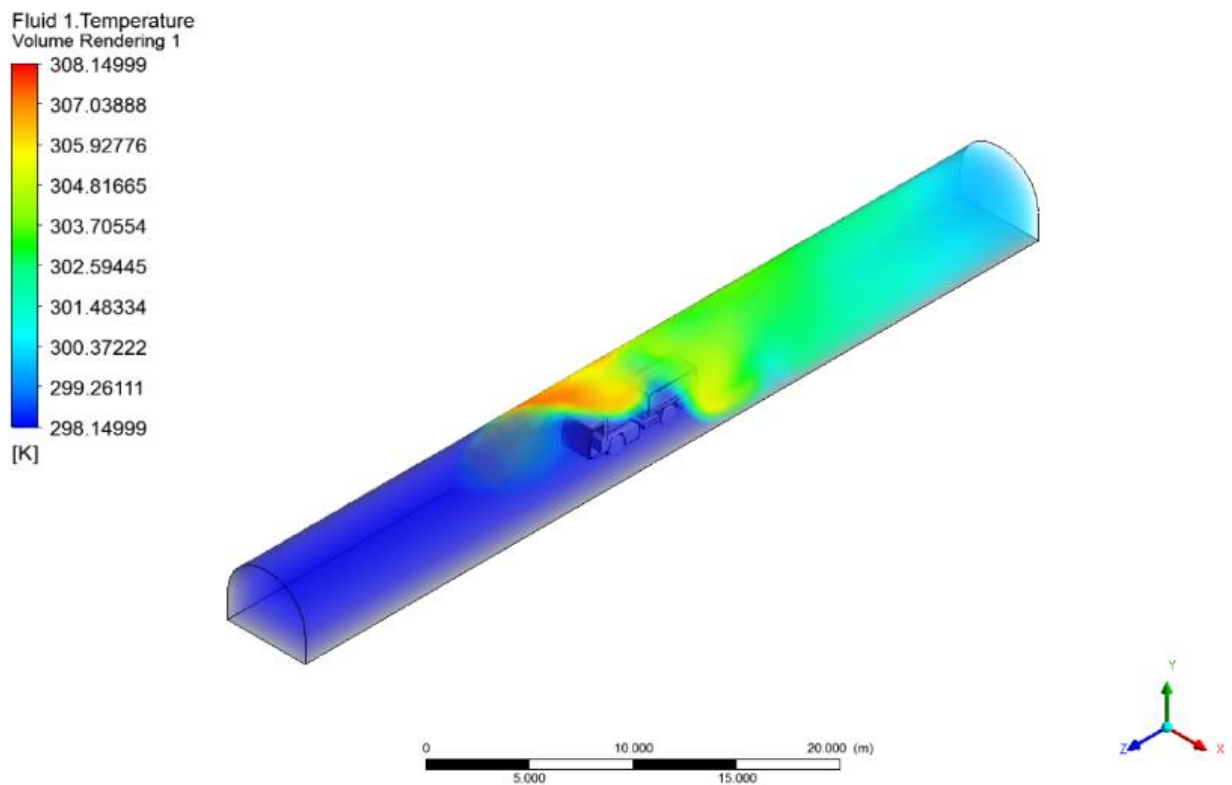


Рисунок ПЗ.3 – Распределение температуры, (25-35) °С, Сценарий 1

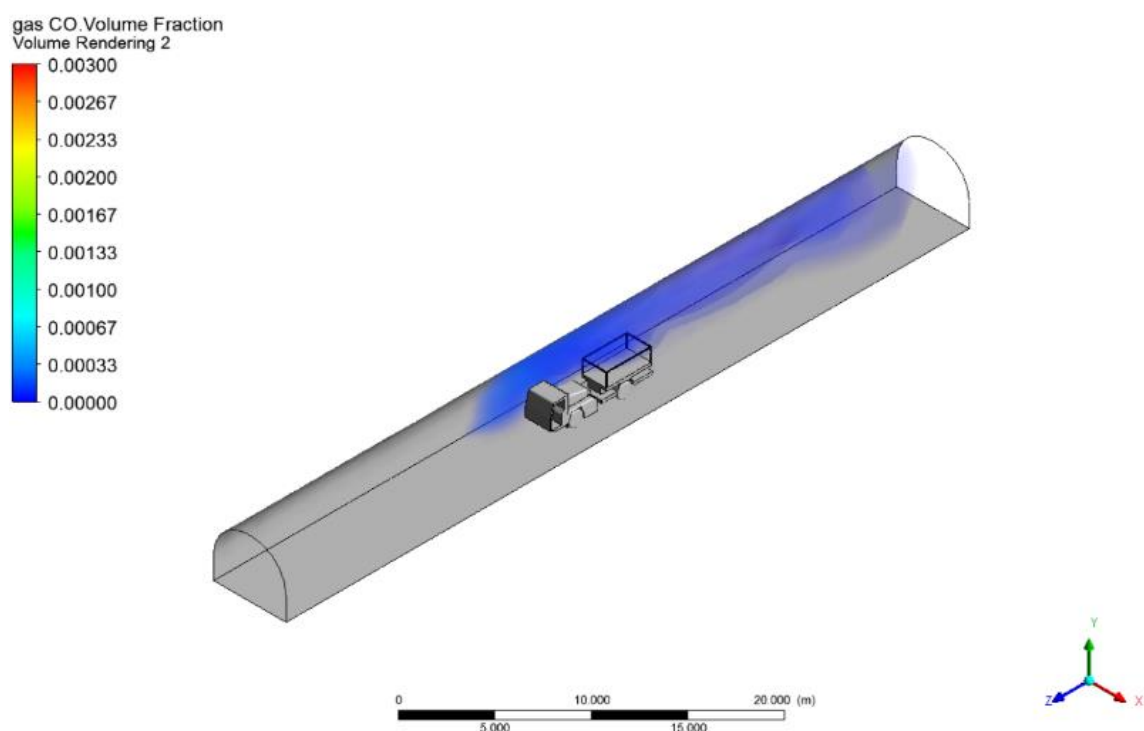


Рисунок П3.4 – Распределение CO % об.д., Сценарий 2

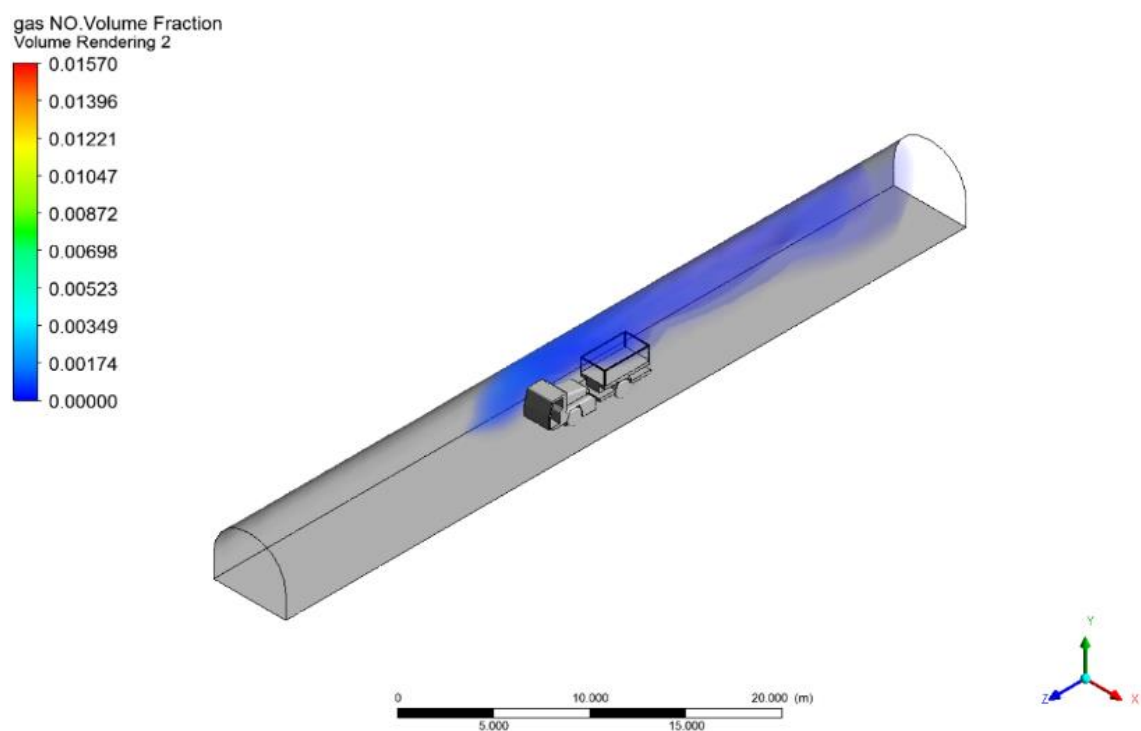


Рисунок П3.5 – Распределение NO % об.д., Сценарий 2

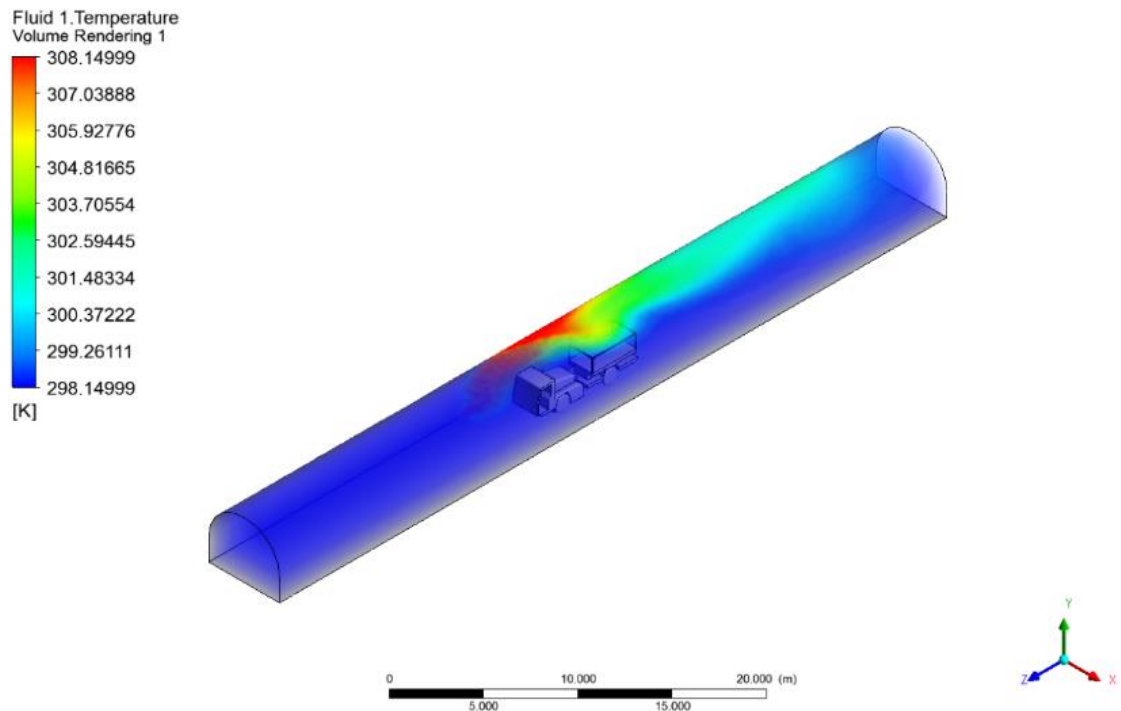


Рисунок ПЗ.6 – Распределение температуры, (25-35) °С, Сценарий 2

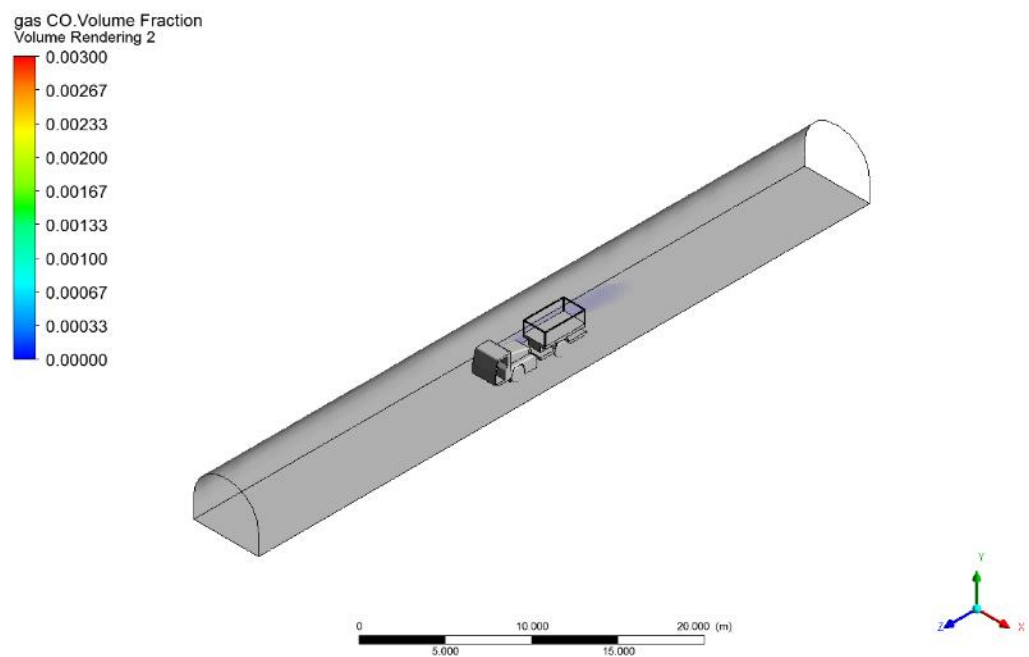


Рисунок ПЗ.7 – Распределение CO % об.д., Сценарий 3

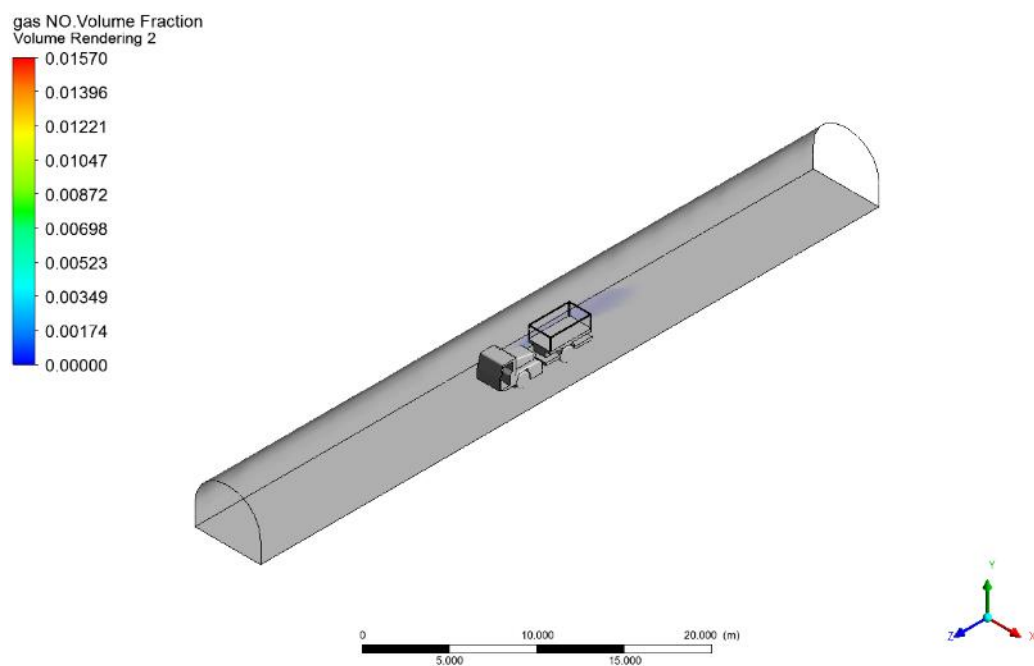


Рисунок ПЗ.8– Распределение NO % об.д., Сценарий 3

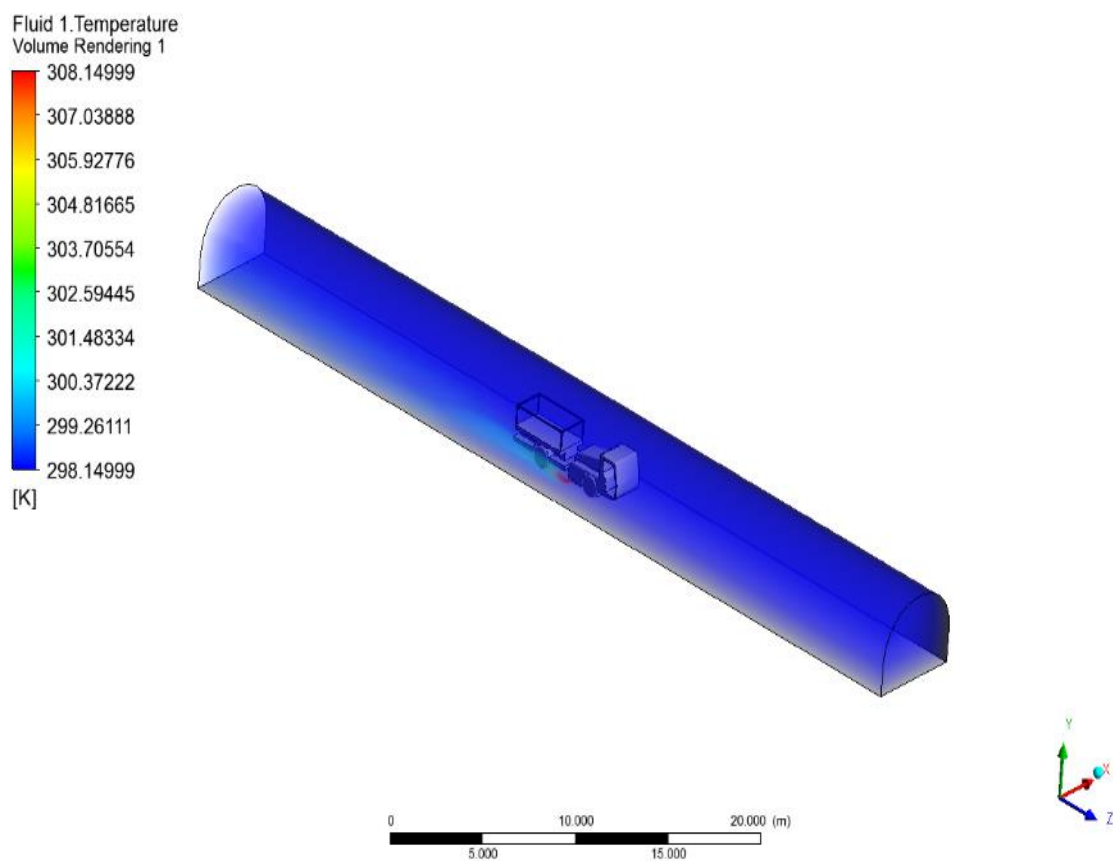


Рисунок ПЗ.9 – Распределение температуры, (25-35) °C, Сценарий 3

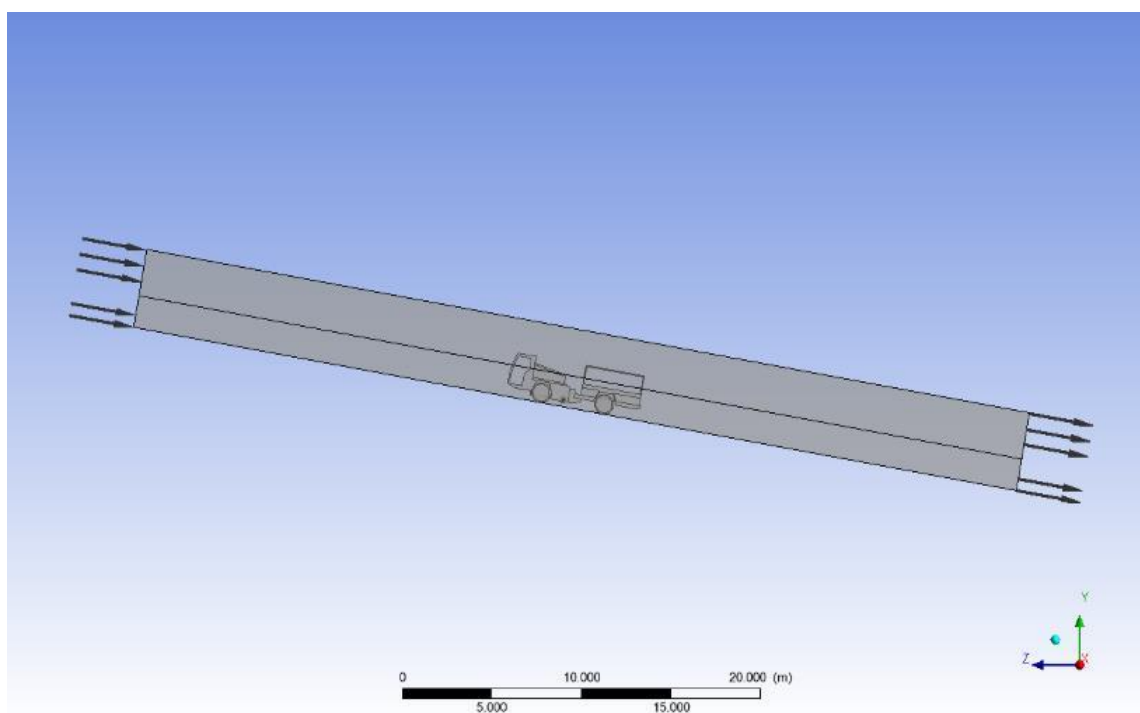


Рисунок ПЗ.10 – Положение техники, угол наклона выработки 10 градусов, сценарий 4

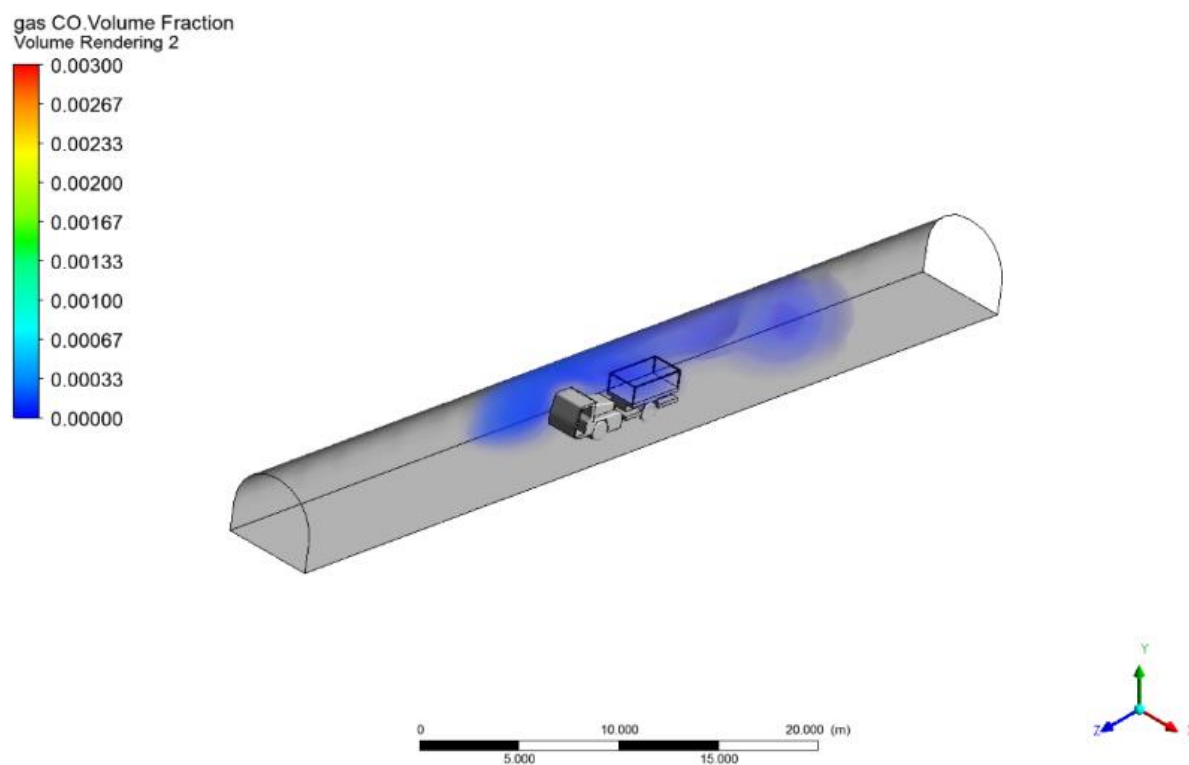


Рисунок ПЗ.11 – Распределение CO % об.д., Сценарий 4

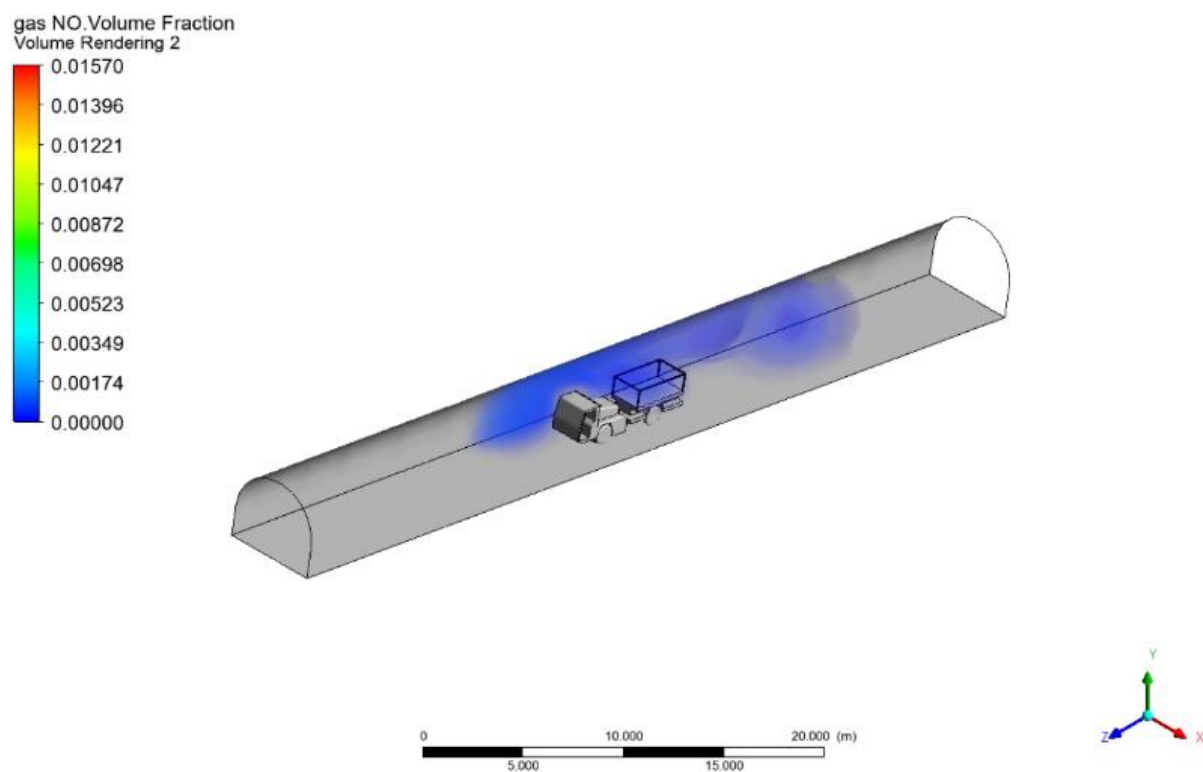


Рисунок ПЗ.12 – Распределение NO % об.д., Сценарий 4

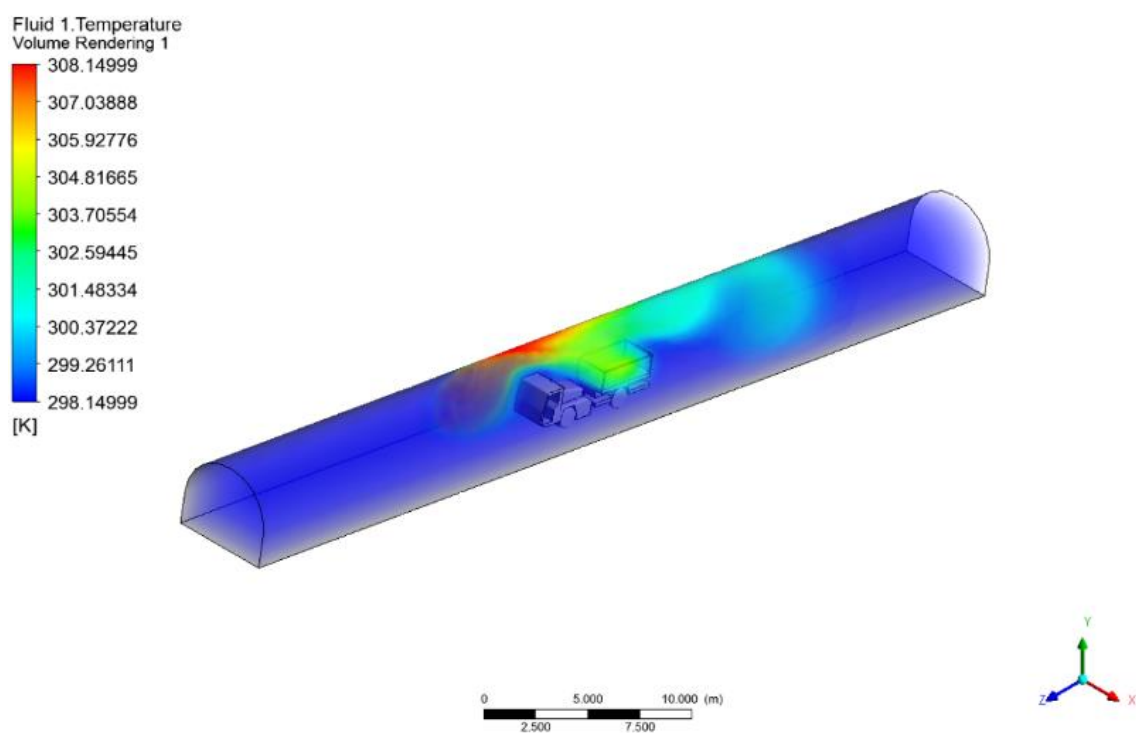


Рисунок ПЗ.13 – Распределение температуры, (25-35) °C, Сценарий 4

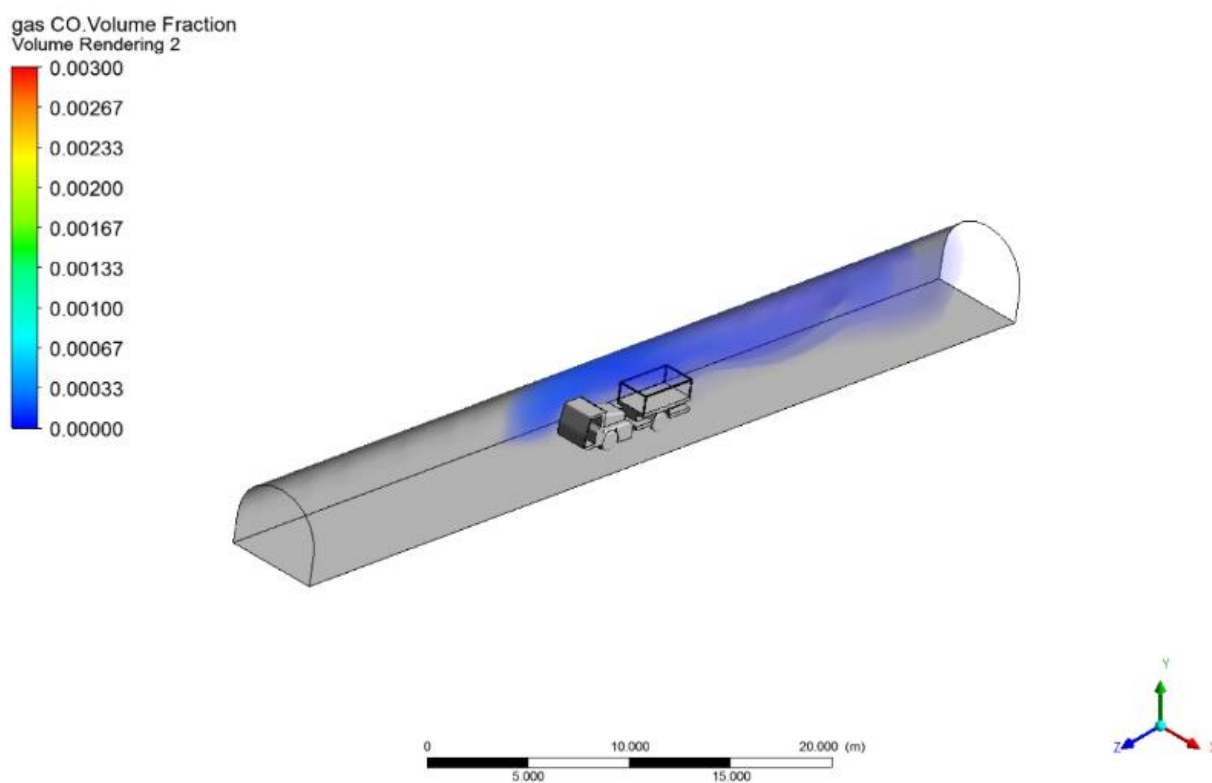


Рисунок ПЗ.14 – Распределение CO % об.д., Сценарий 5

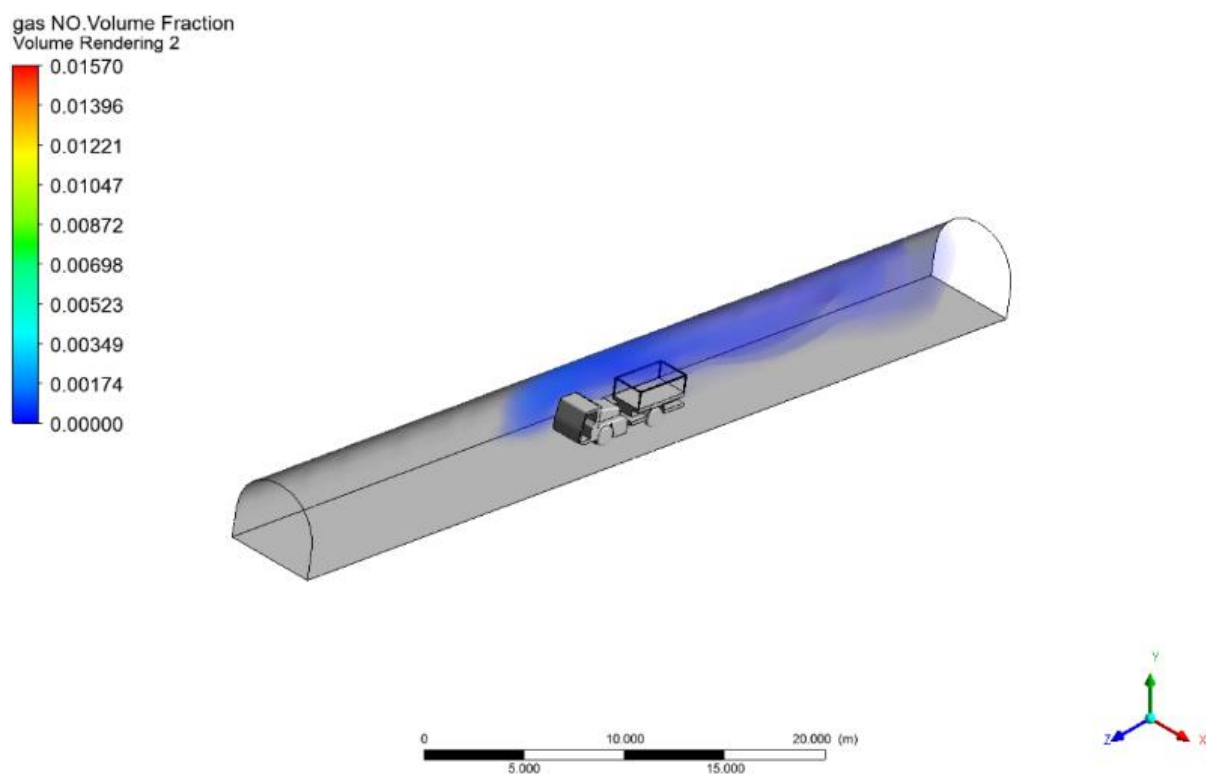


Рисунок ПЗ.15 – Распределение NO % об.д., Сценарий 5

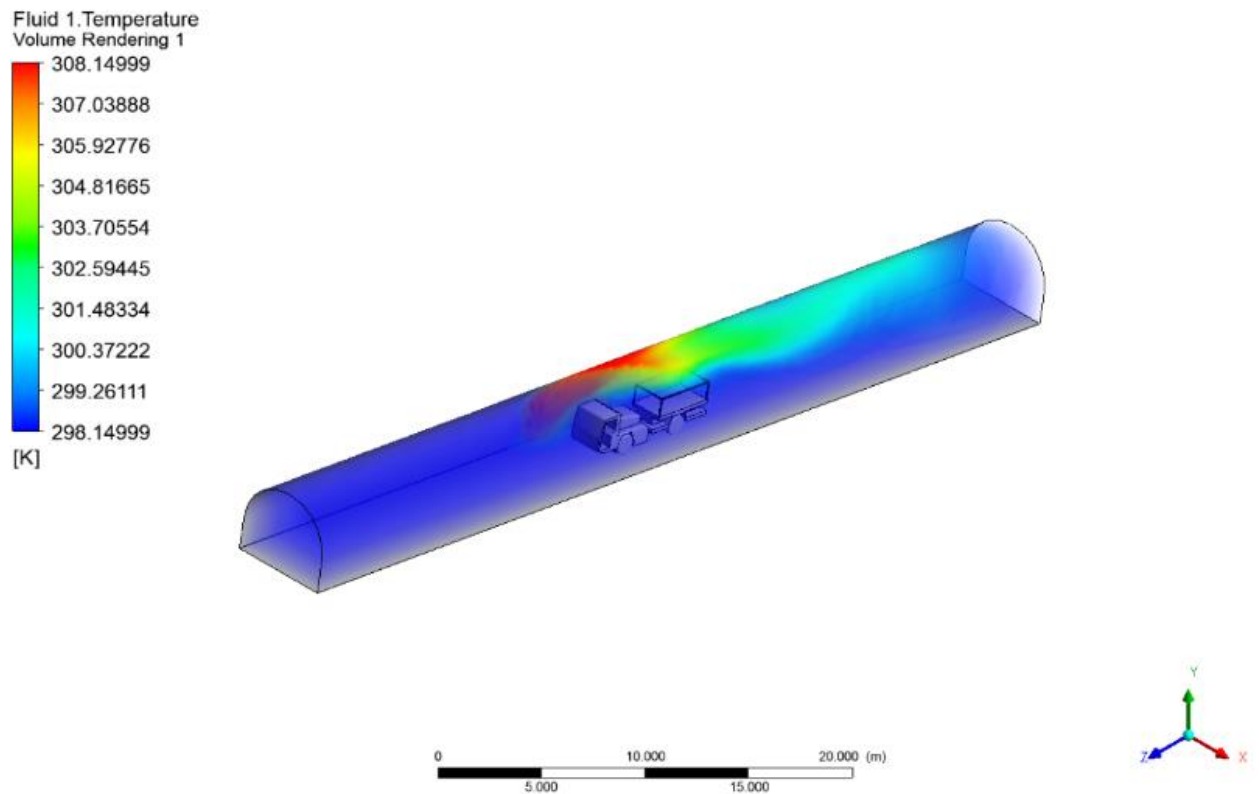


Рисунок ПЗ.16 – Распределение температуры, (25-35) °С, Сценарий 5

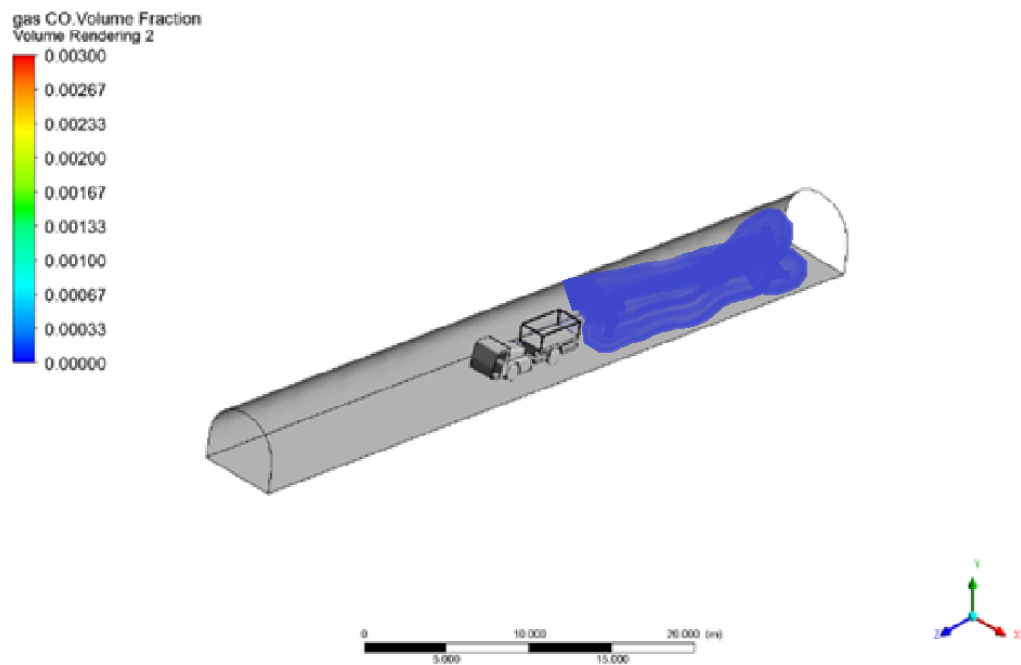


Рисунок ПЗ.17 – Распределение CO, % об.д., сценарий 6 (вид слева)

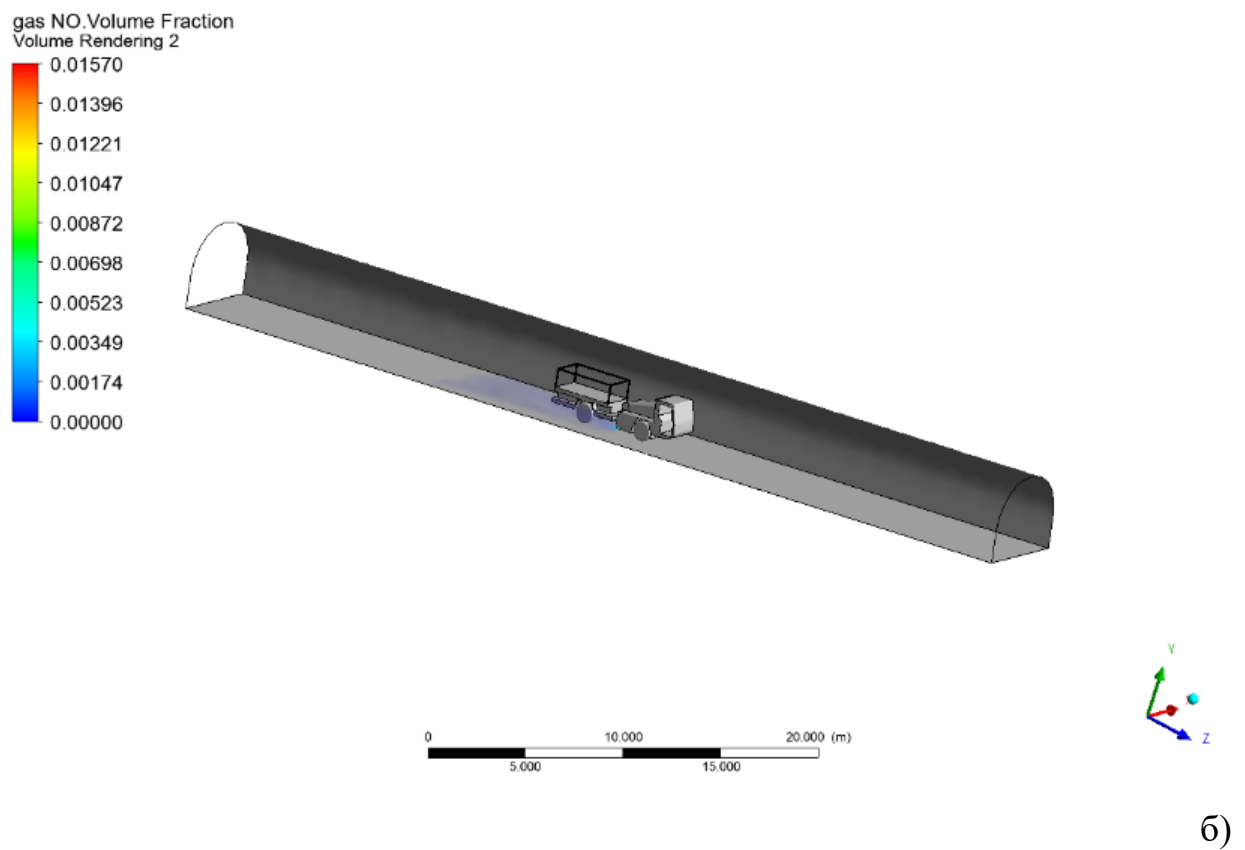
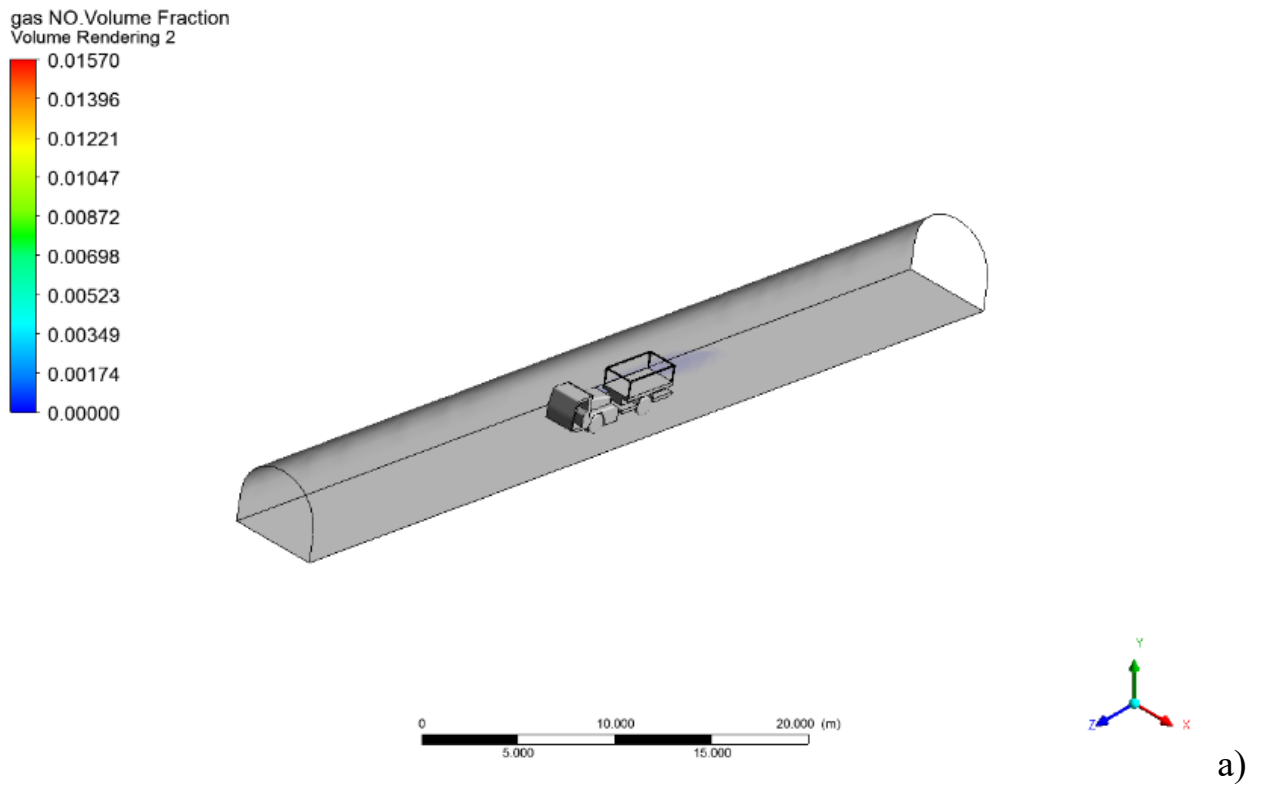


Рисунок ПЗ.18 – Распределение NO % об.д., Сценарий 6:

а) вид слева, б) вид справа

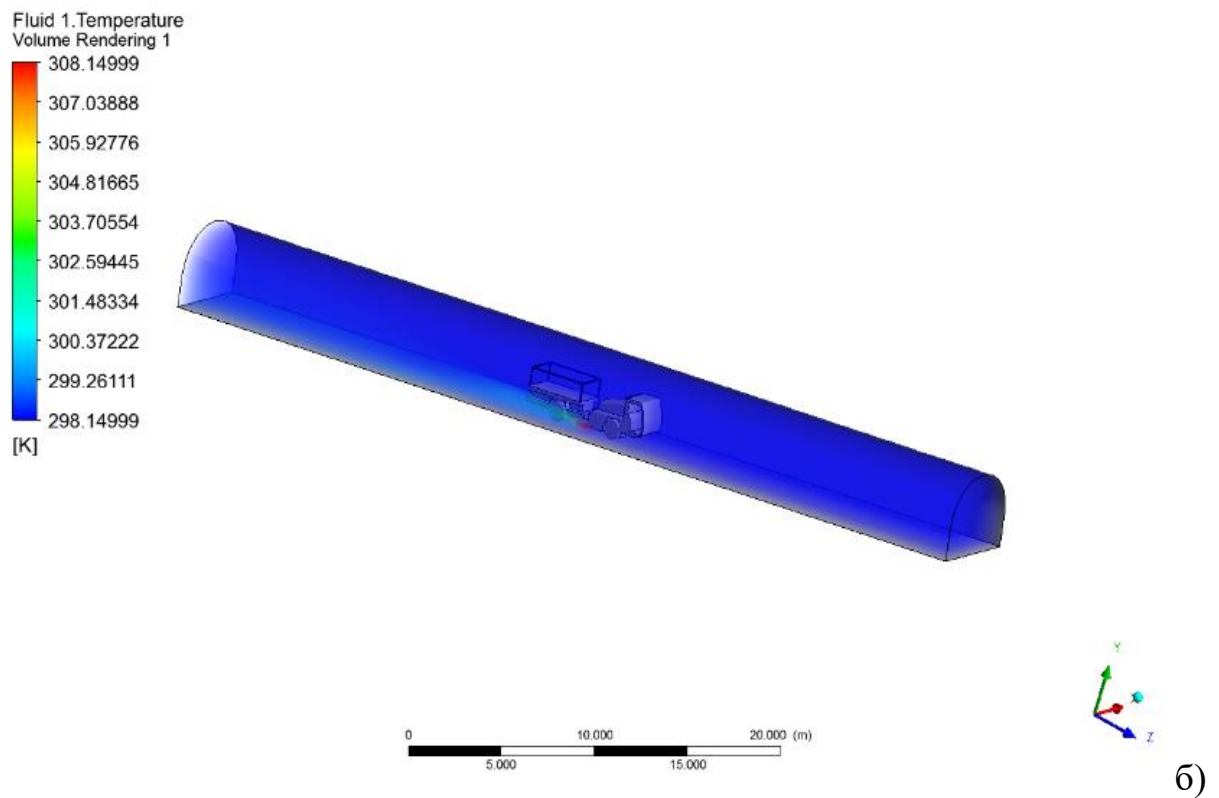
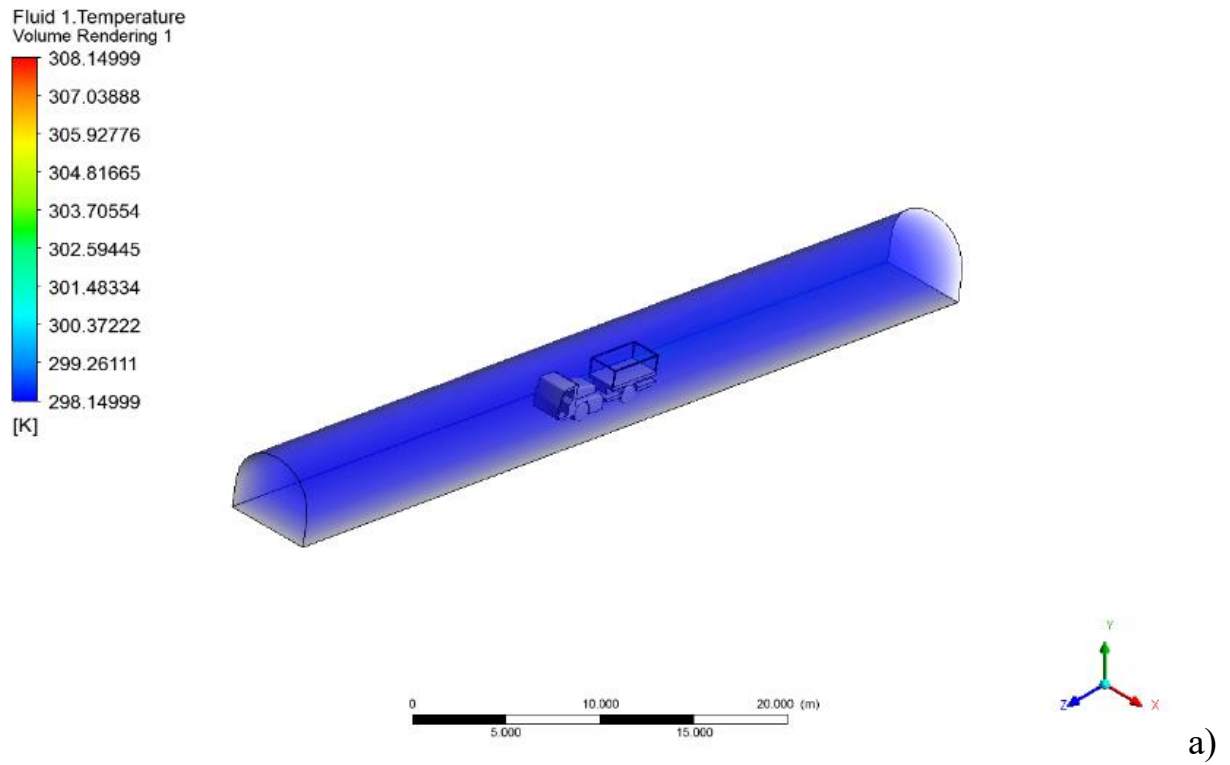


Рисунок 2.19 – Распределение температуры, (25-35) °С, Сценарий 6:

а) вид слева, б) вид справа

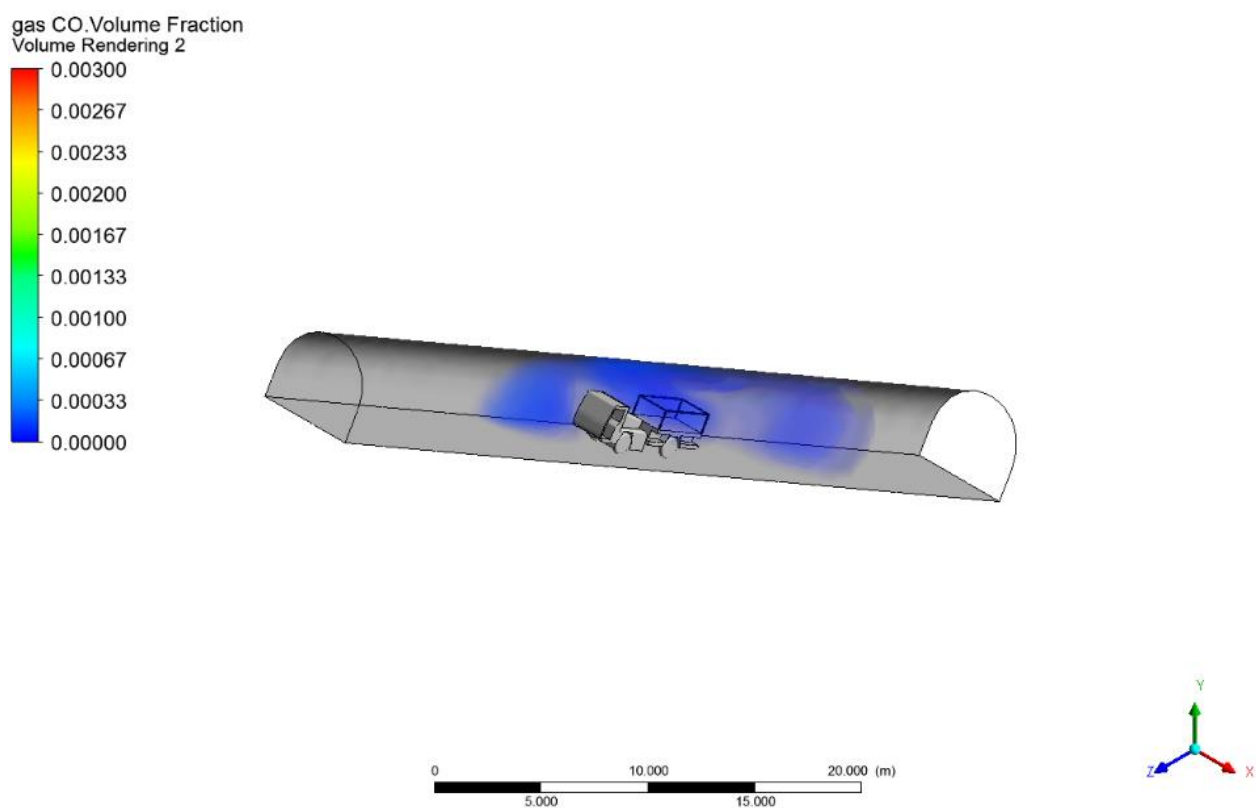


Рисунок 2.20 – Распределение CO % об.д., Сценарий 7

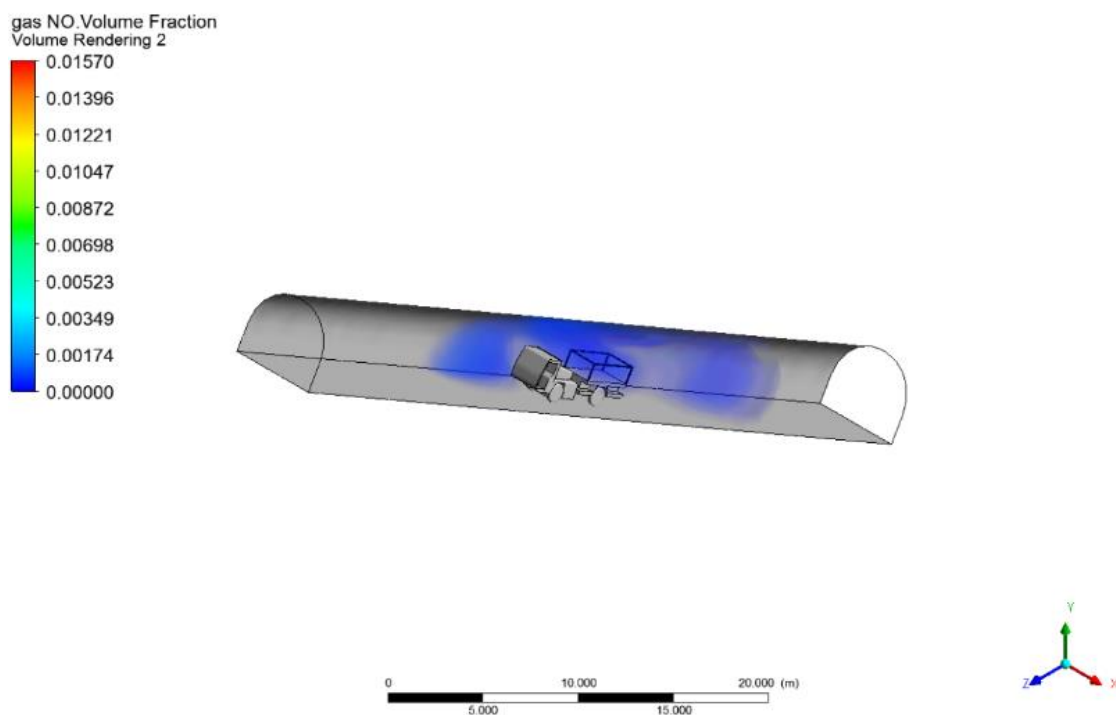
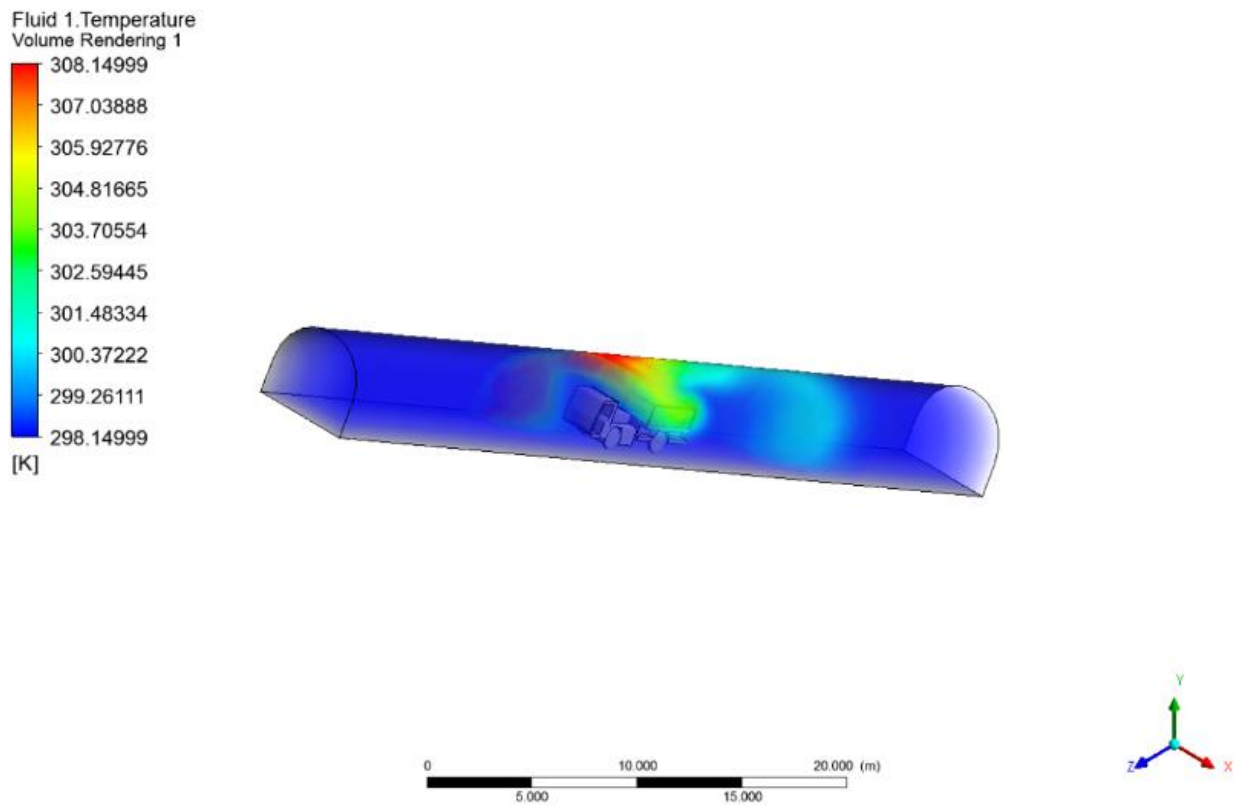


Рисунок ПЗ.21– Распределение NO % об.д., Сценарий 7



a)

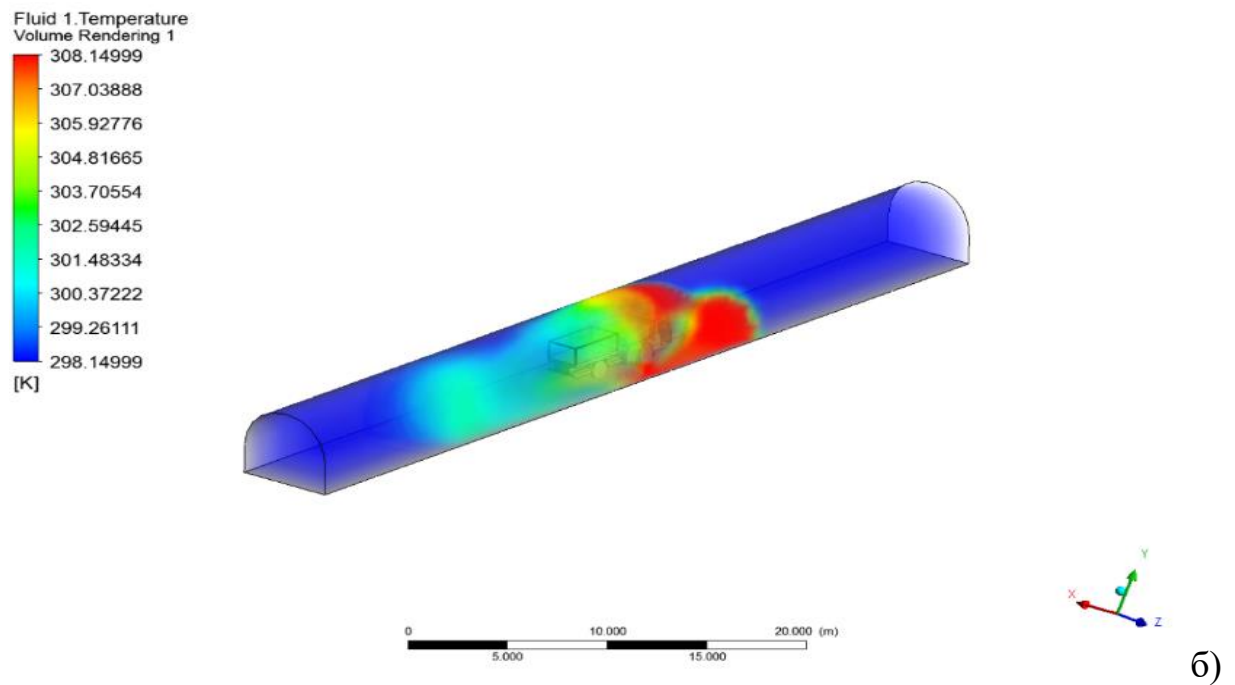


Рисунок ПЗ.22 – Распределение температуры, (25-35) °С, Сценарий 7:

а) вид слева, б) вид справа

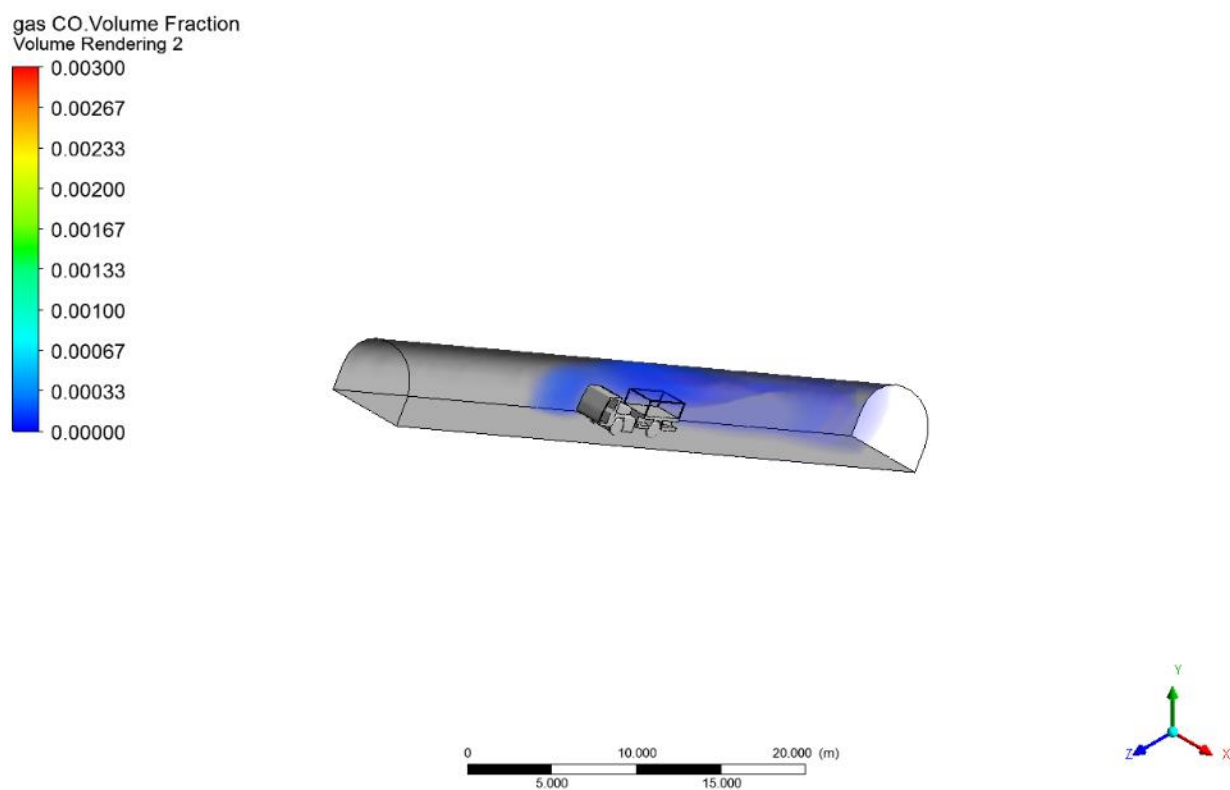


Рисунок ПЗ.23 – Распределение CO % об.д., Сценарий 8

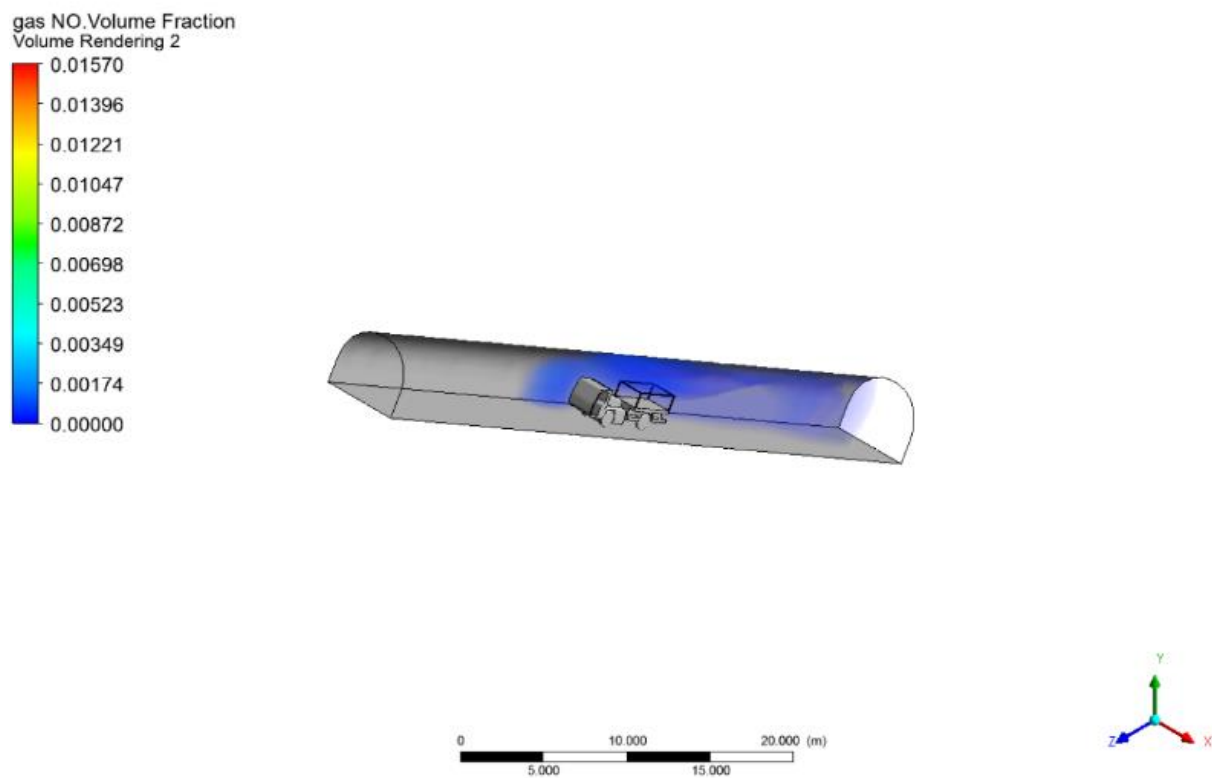
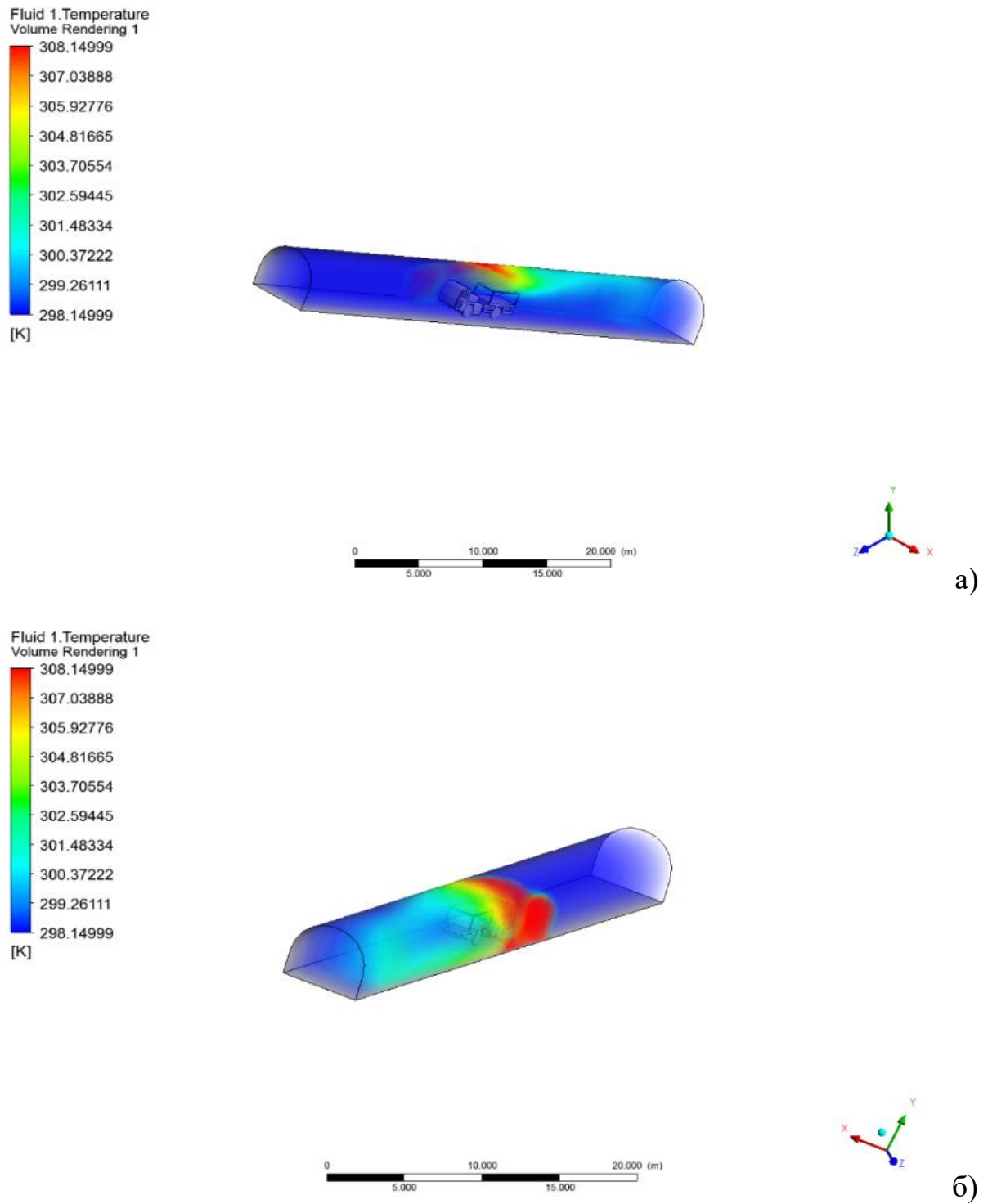


Рисунок ПЗ.24 – Распределение NO % об.д., Сценарий 8



**Рисунок ПЗ.25 – Распределение температуры, (25-35) °С, Сценарий 8:
а) вид слева, б) вид справа**

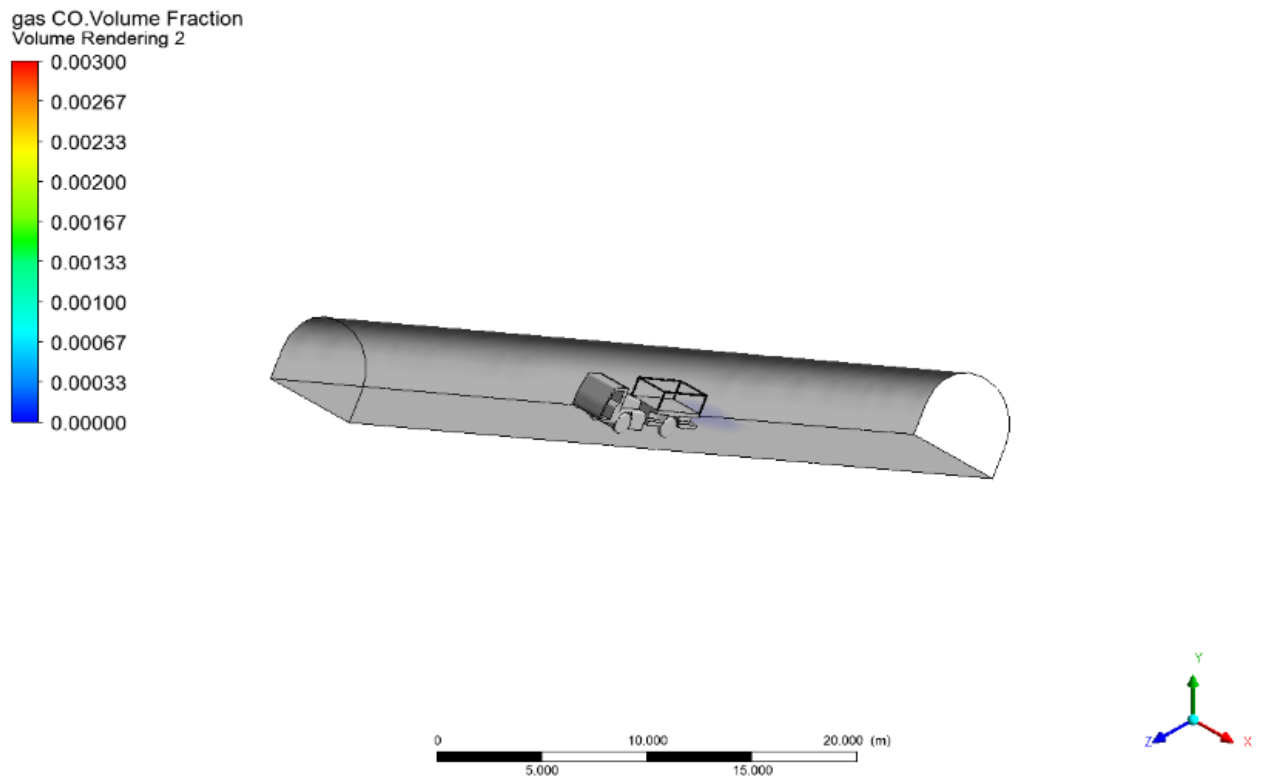


Рисунок ПЗ.26 – Распределение CO % об.д., Сценарий 9

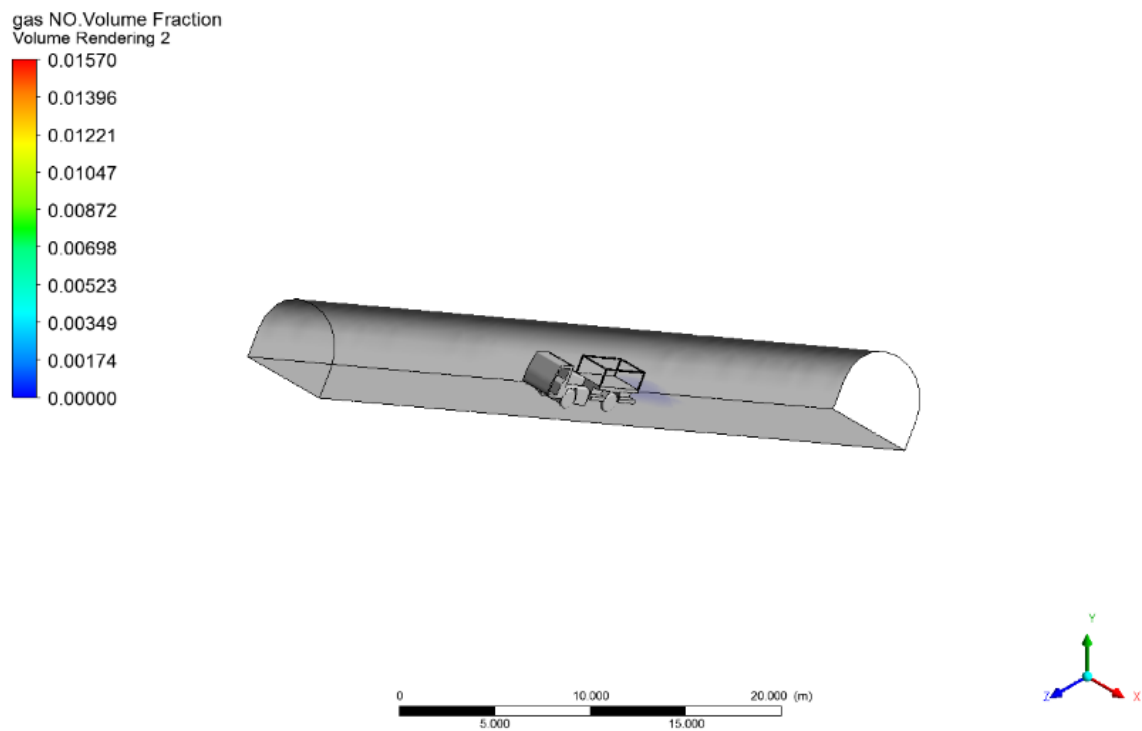
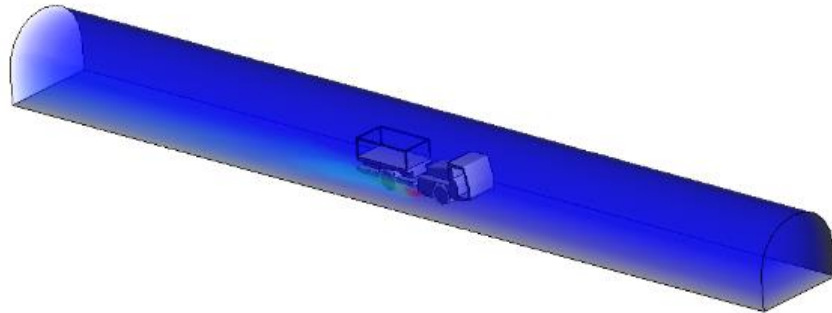
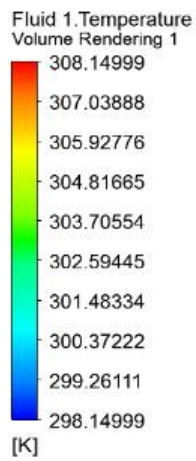


Рисунок ПЗ.27 – Распределение NO % об.д., Сценарий 9

a)



б)

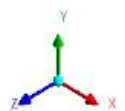
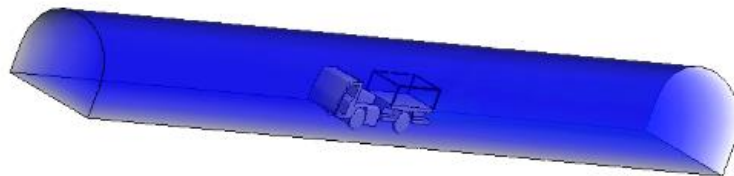
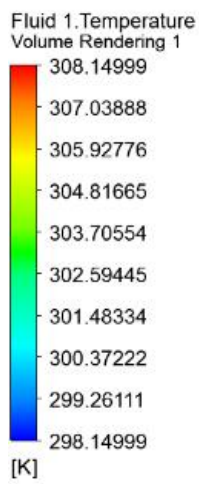


Рисунок П3.28 – Распределение температуры, (25-35) °С, Сценарий 9

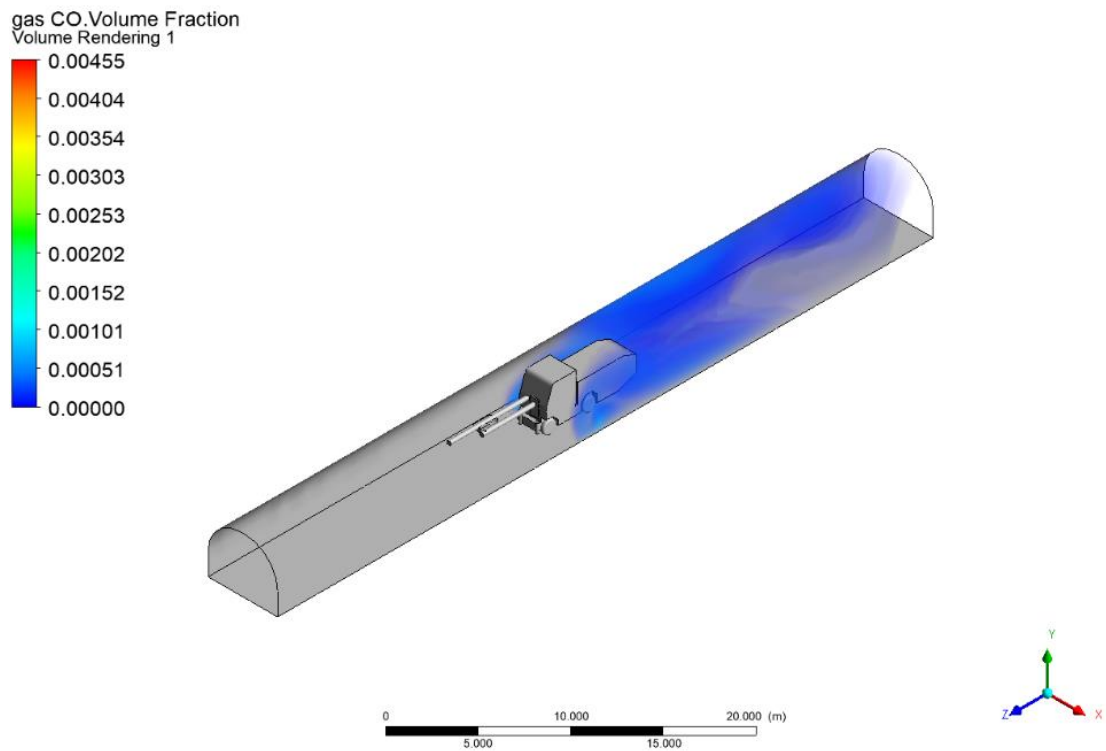


Рисунок ПЗ.29 – Распределение CO % об.д., Сценарий 10

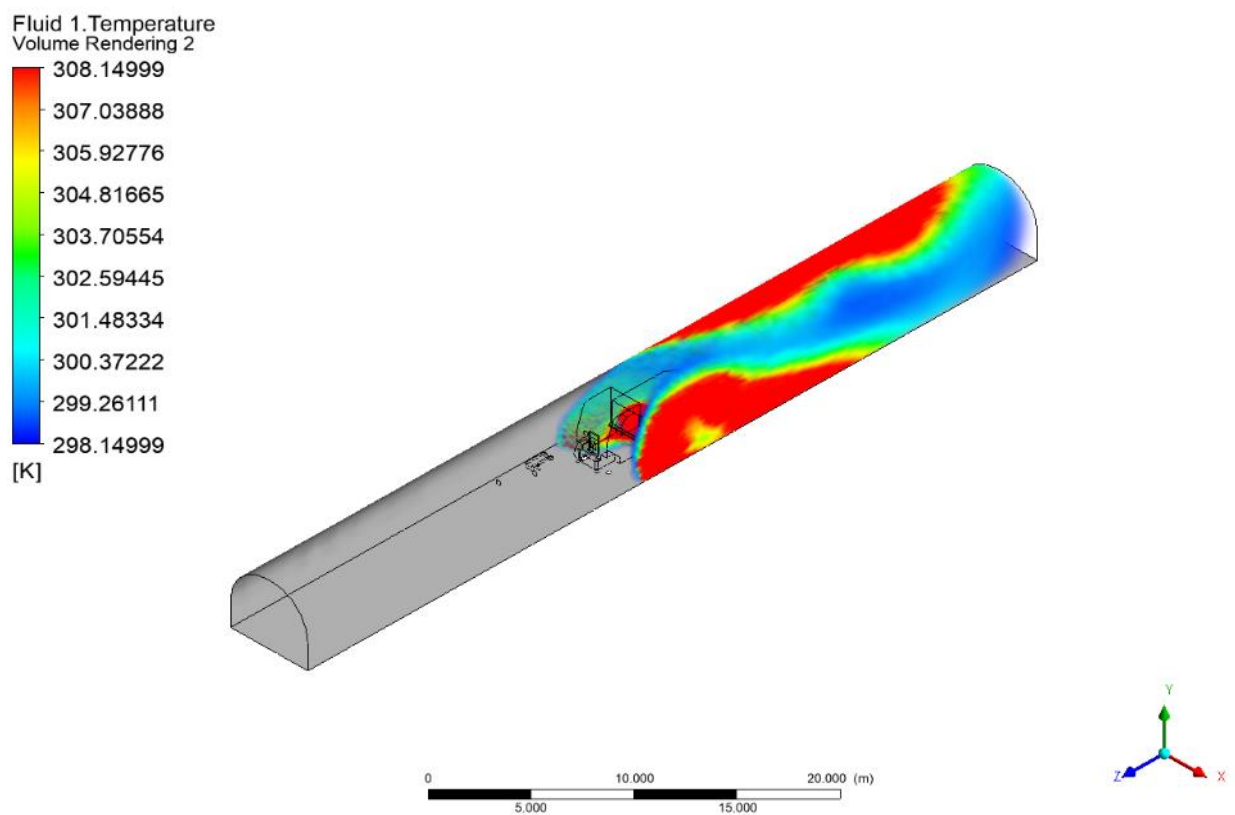


Рисунок ПЗ.30 – Распределение температуры, (25-35) °C, Сценарий 10

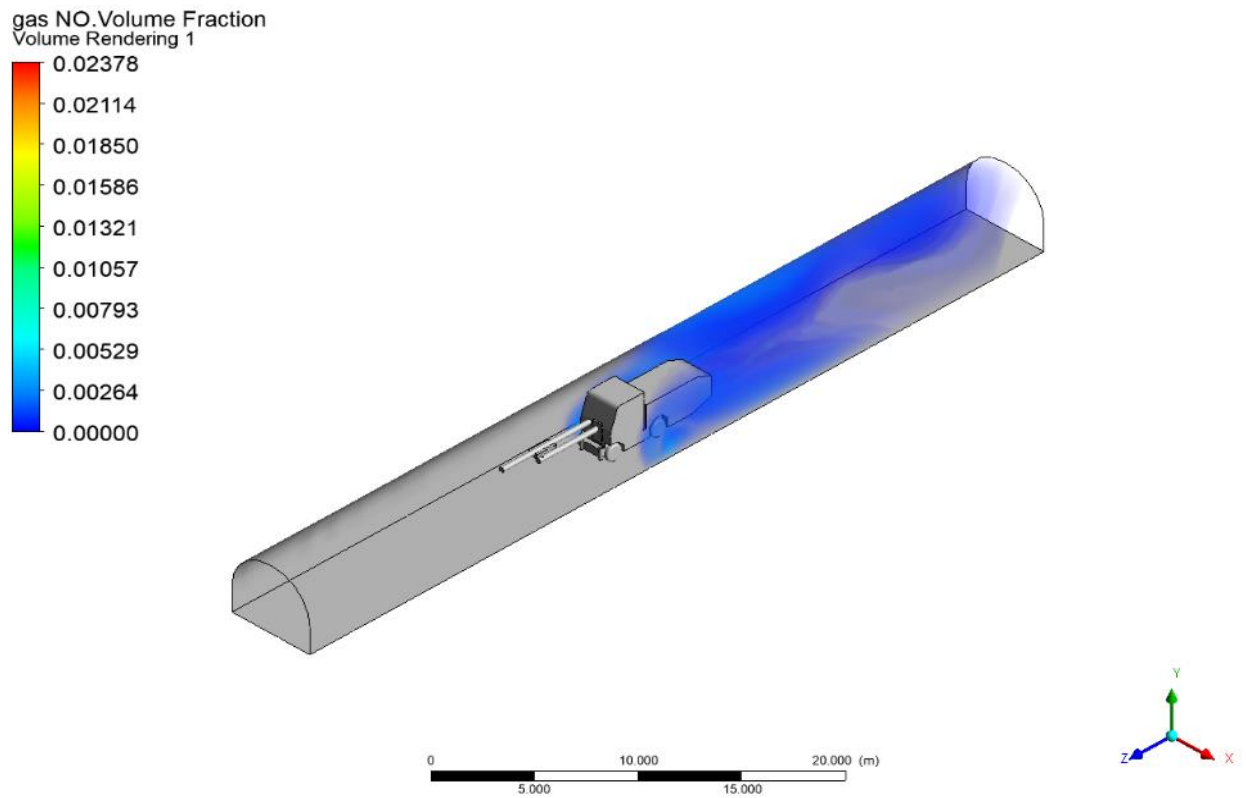


Рисунок П3.31 – Распределение NO % об.д., Сценарий 10

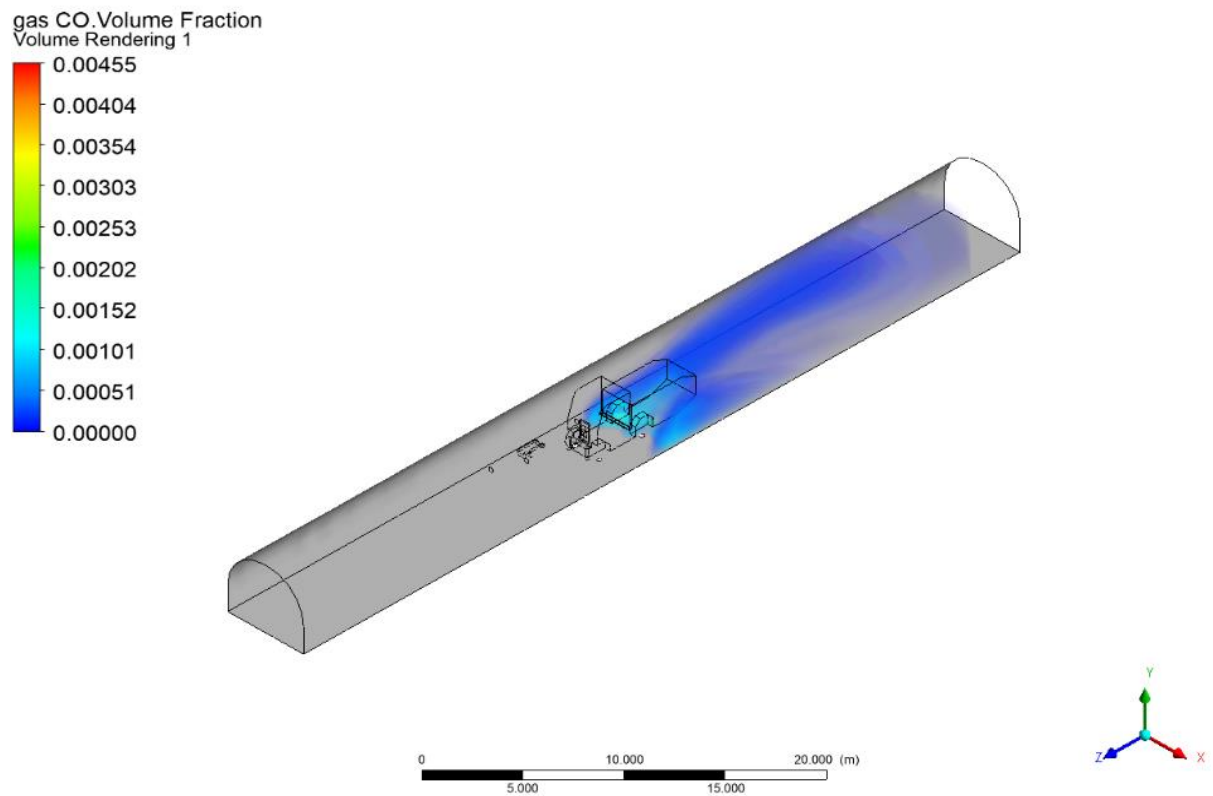


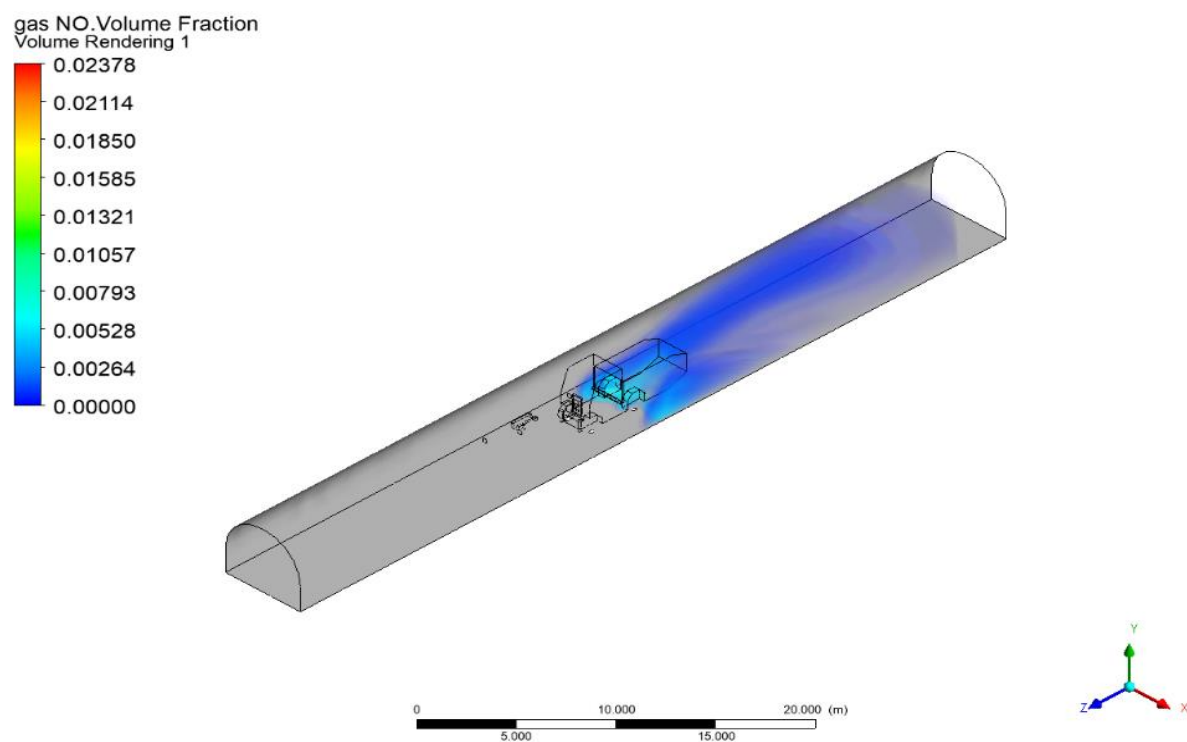
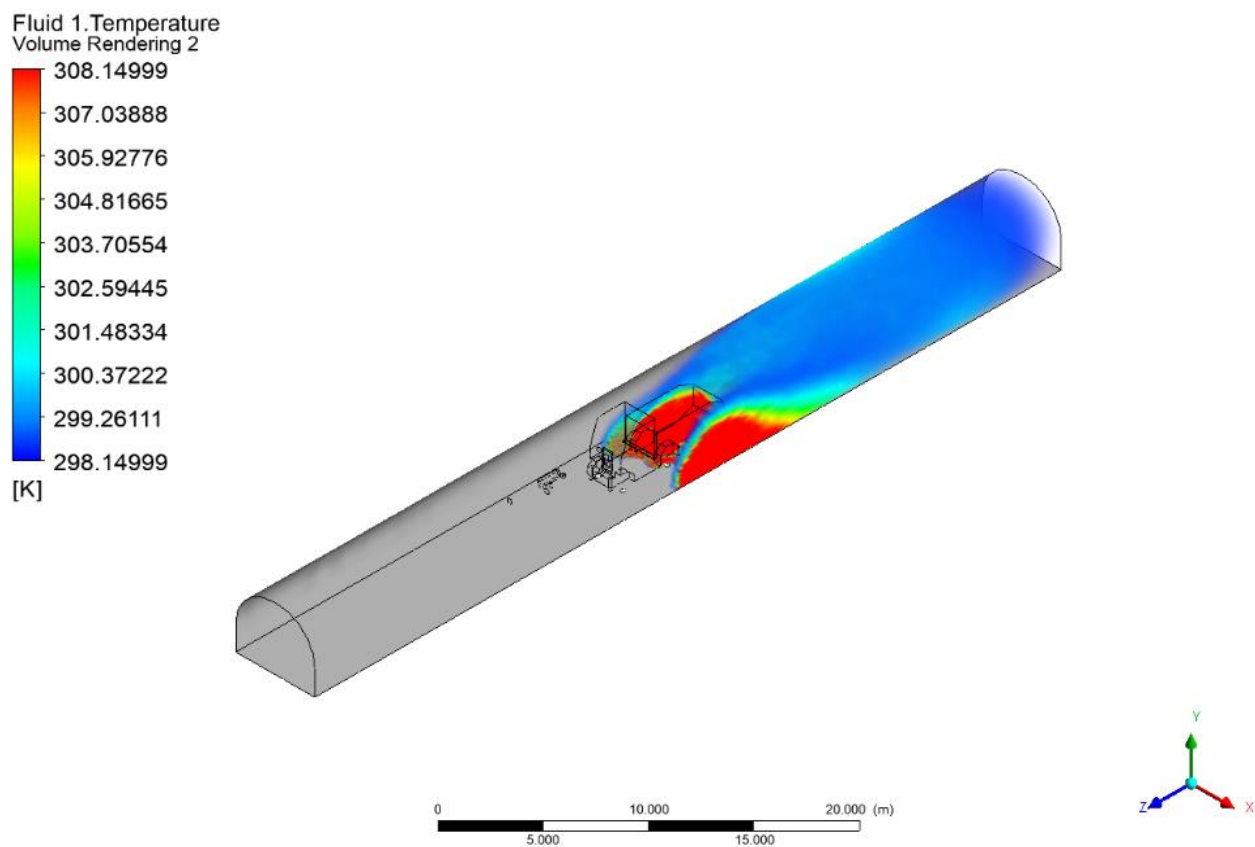
Рисунок П3.32 – Распределение CO % об.д., Сценарий 11**Рисунок П3.33 – Распределение NO % об.д., Сценарий 11**

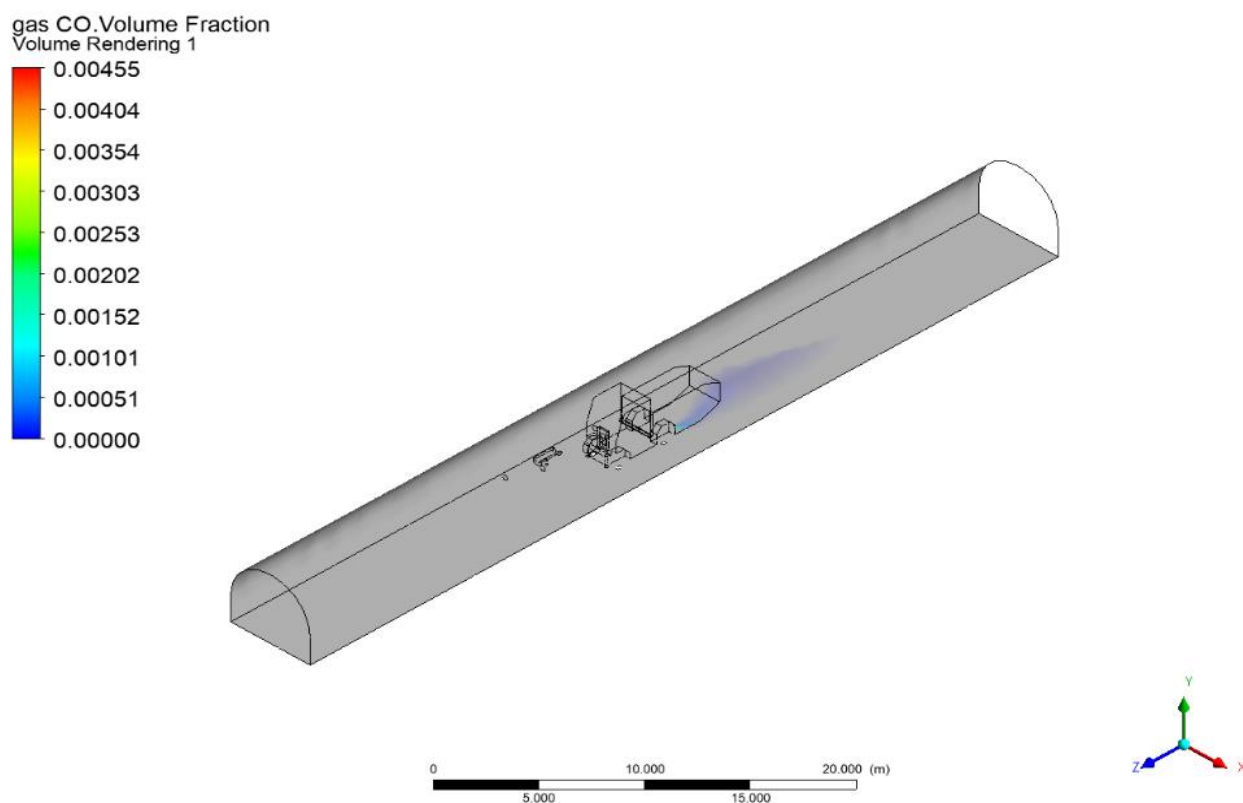
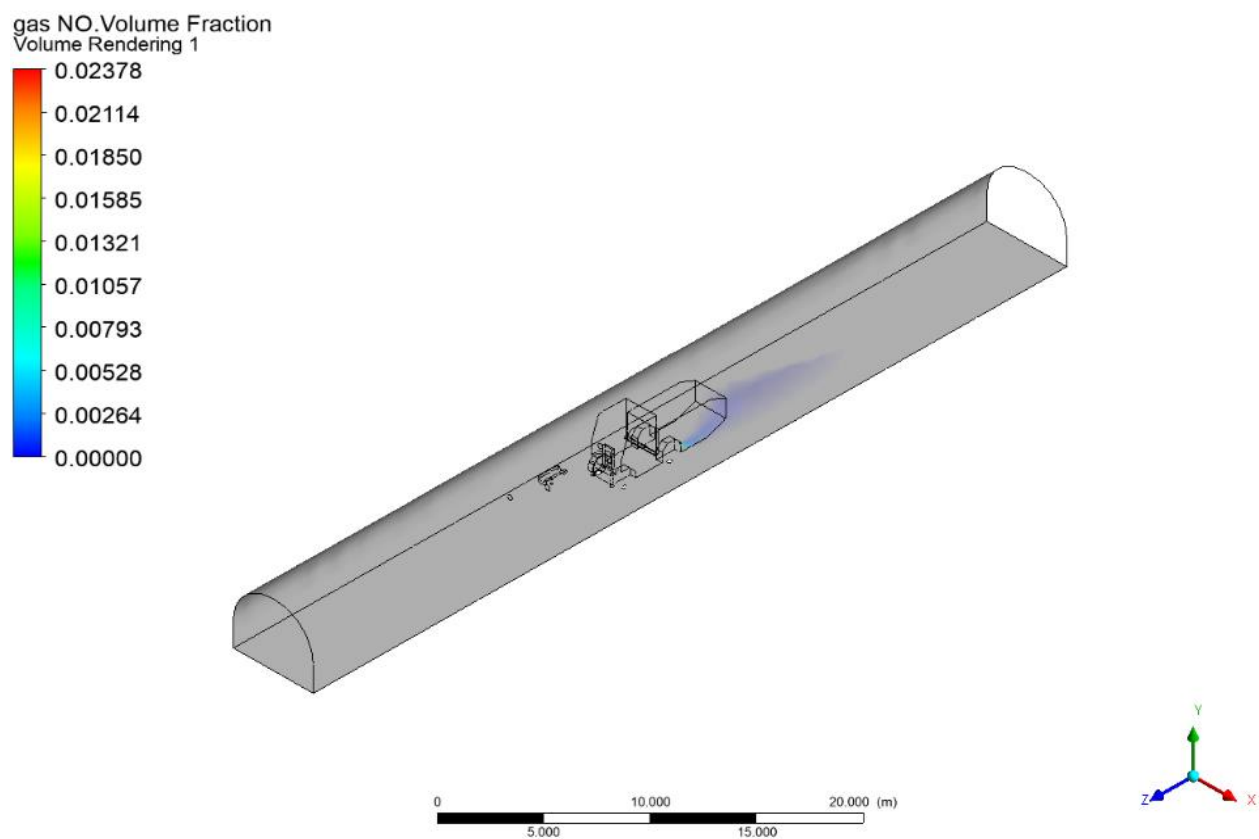
Рисунок ПЗ.34 – Распределение температуры, (25-35) °С, Сценарий 11**Рисунок ПЗ.35 – Распределение CO % об.д., Сценарий 12**

Рисунок ПЗ.36 – Распределение NO % об.д., Сценарий 12

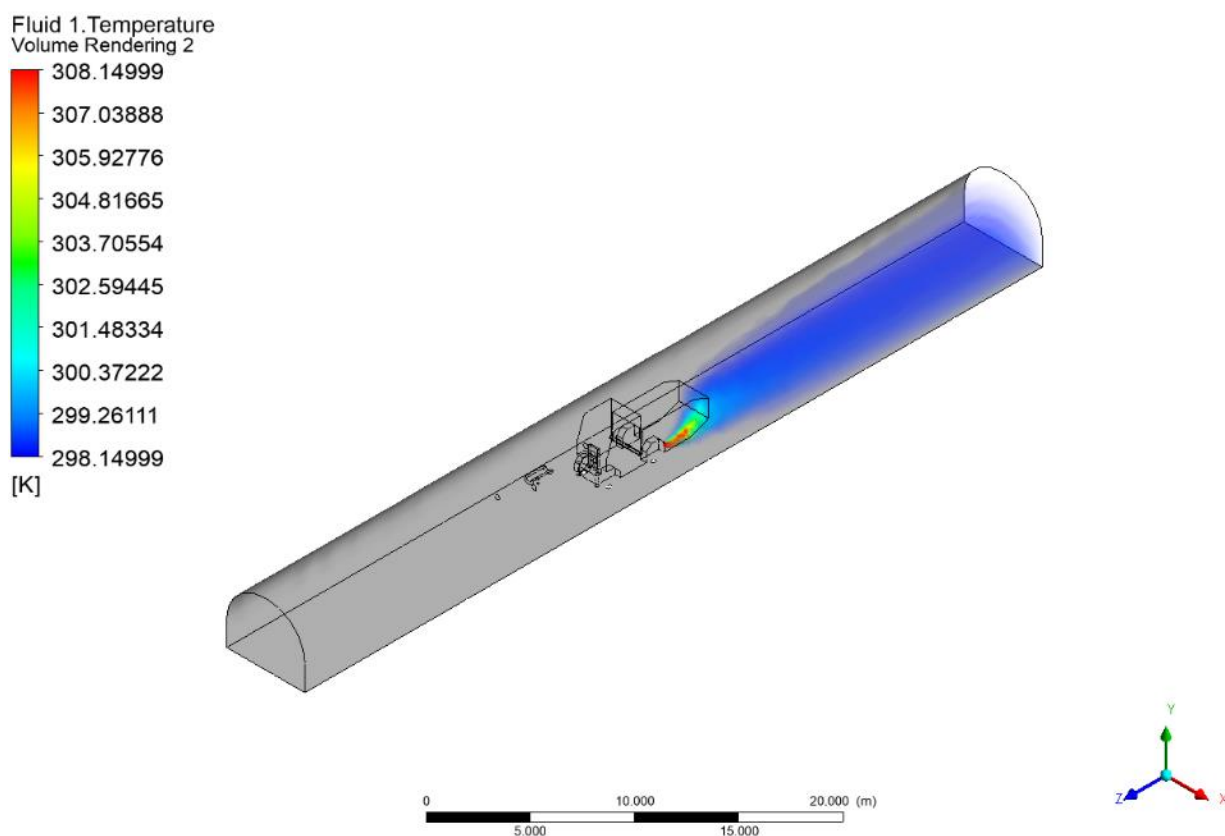


Рисунок ПЗ.37 – Распределение температуры, (25-35) °C, Сценарий 12

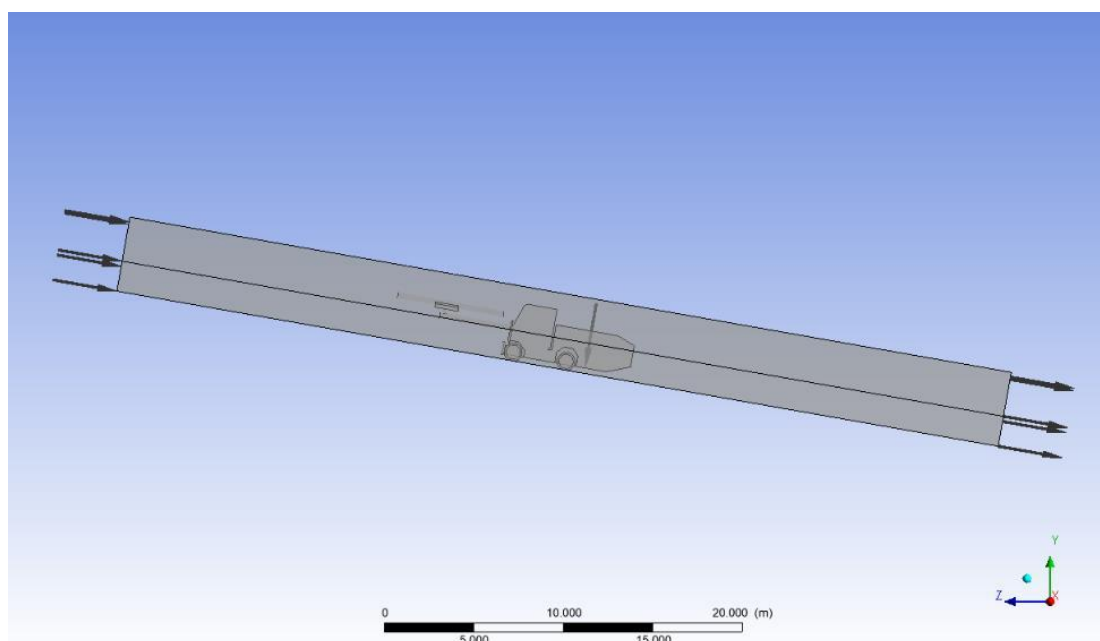


Рисунок ПЗ.38 – Положение техники, угол наклона выработки 10 градусов

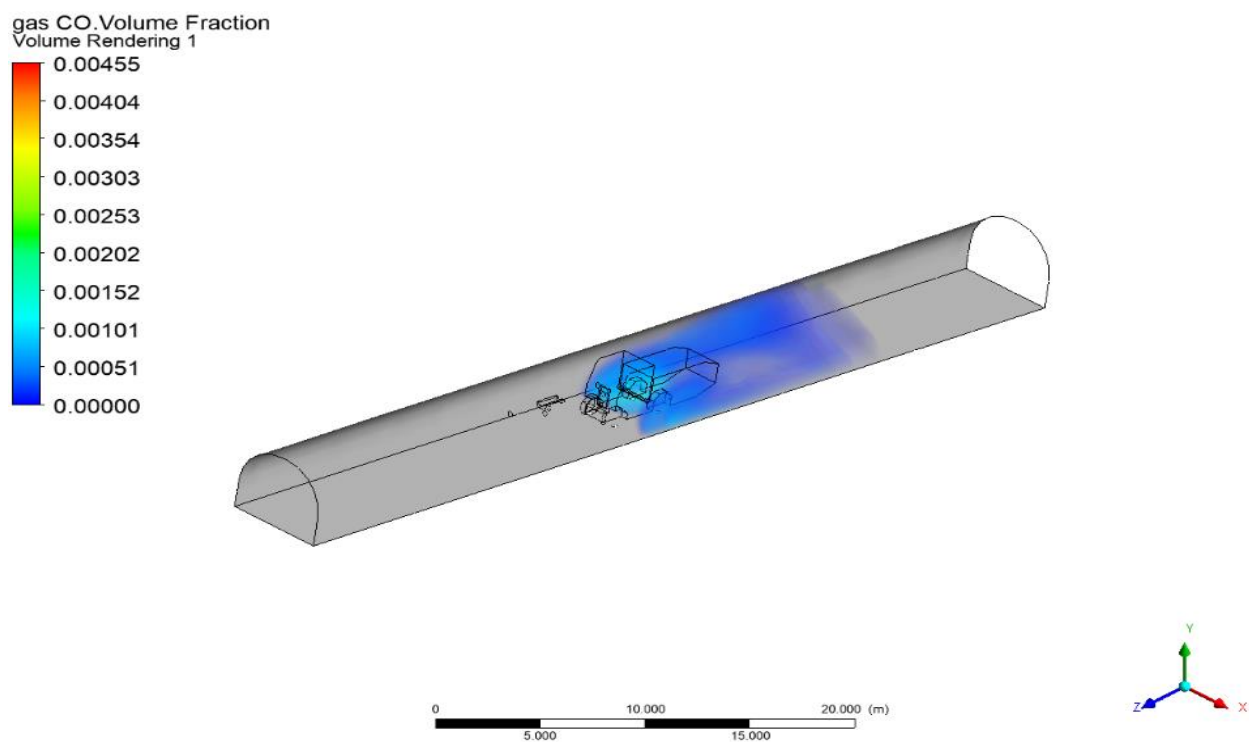


Рисунок ПЗ.39 – Распределение CO % об.д., Сценарий 13

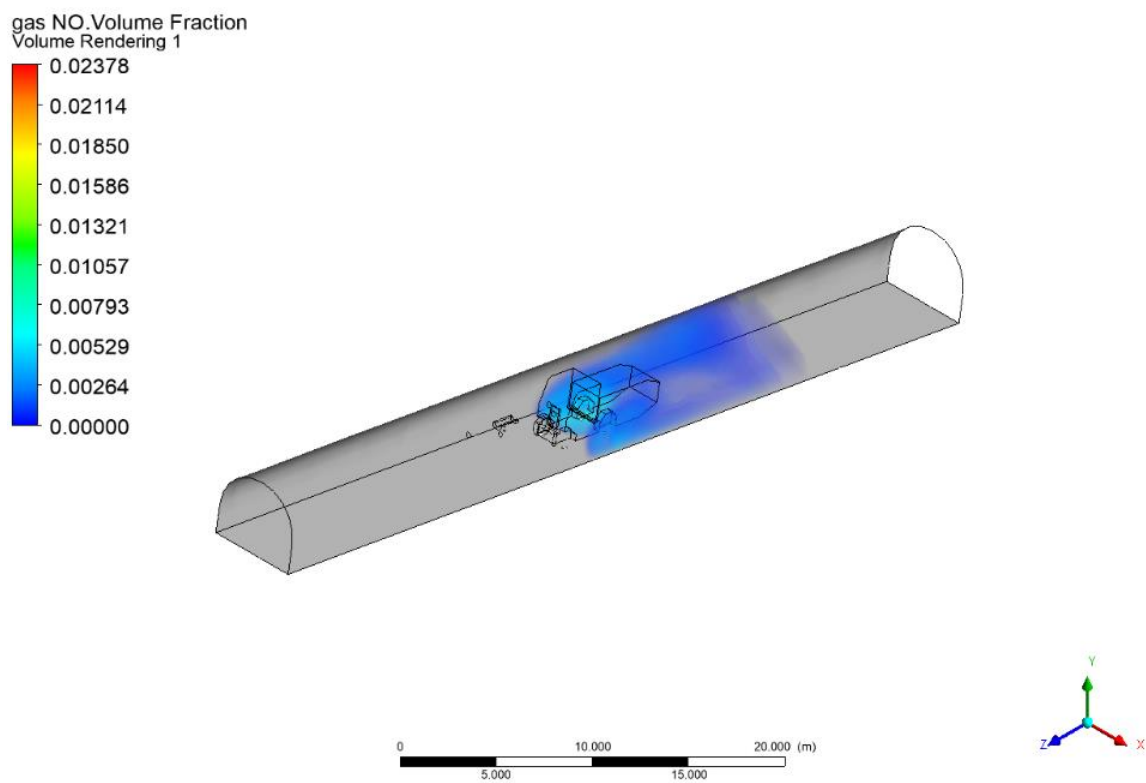


Рисунок ПЗ.40 – Распределение NO % об.д., Сценарий 13

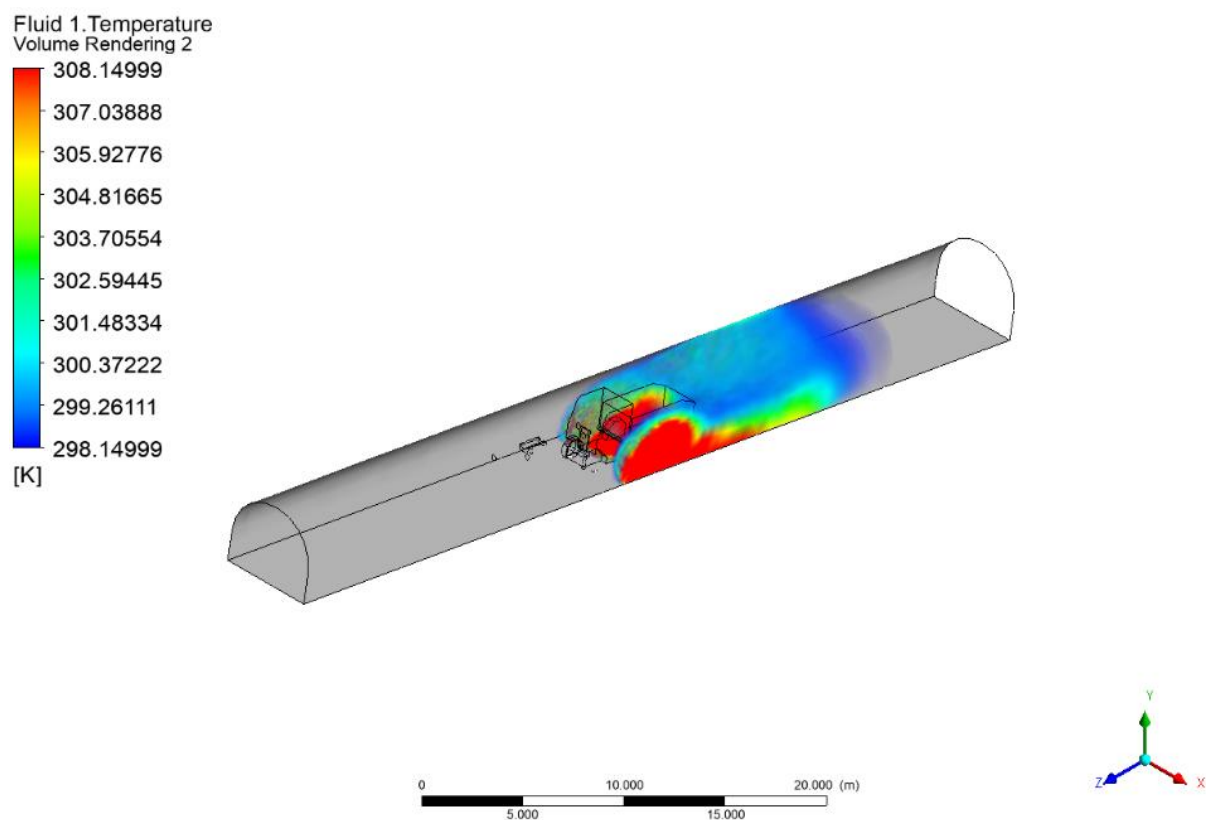


Рисунок ПЗ.41 – Распределение температуры, (25-35) °С, Сценарий 13

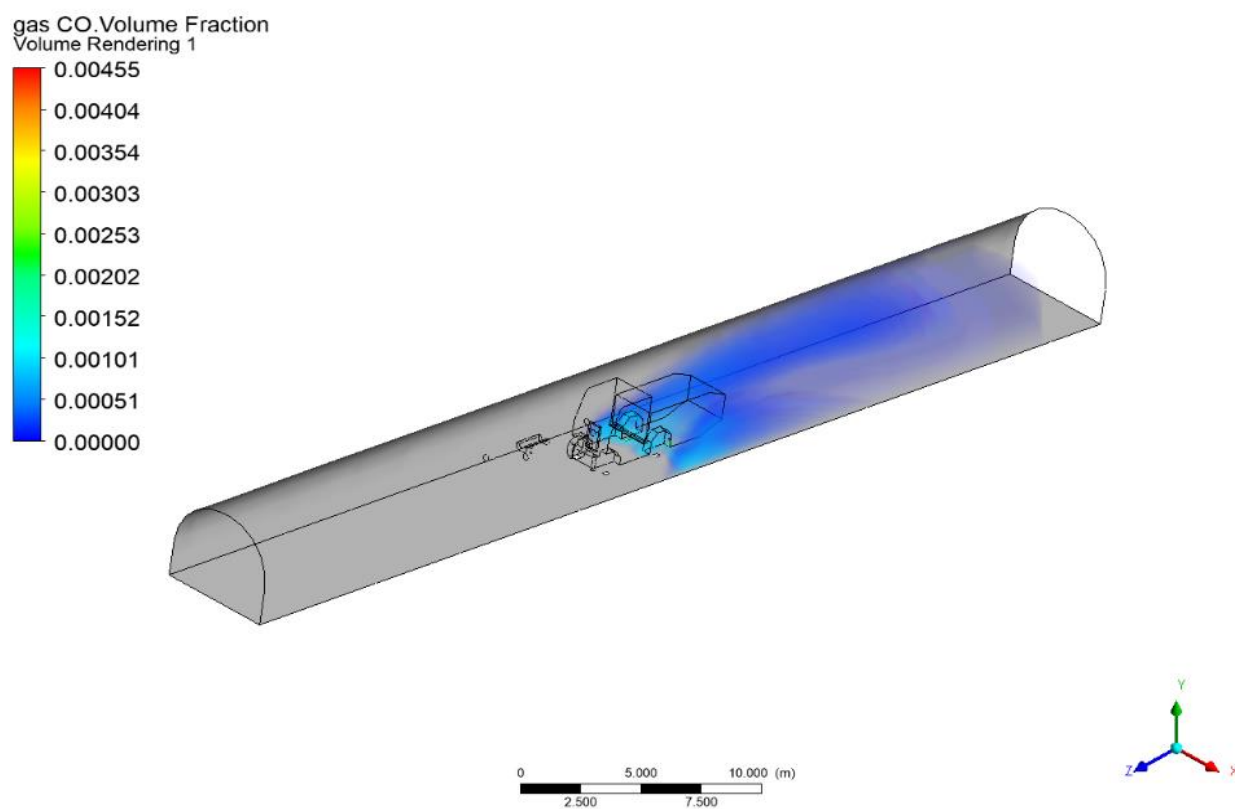


Рисунок ПЗ.42 – Распределение CO % об.д., Сценарий 14

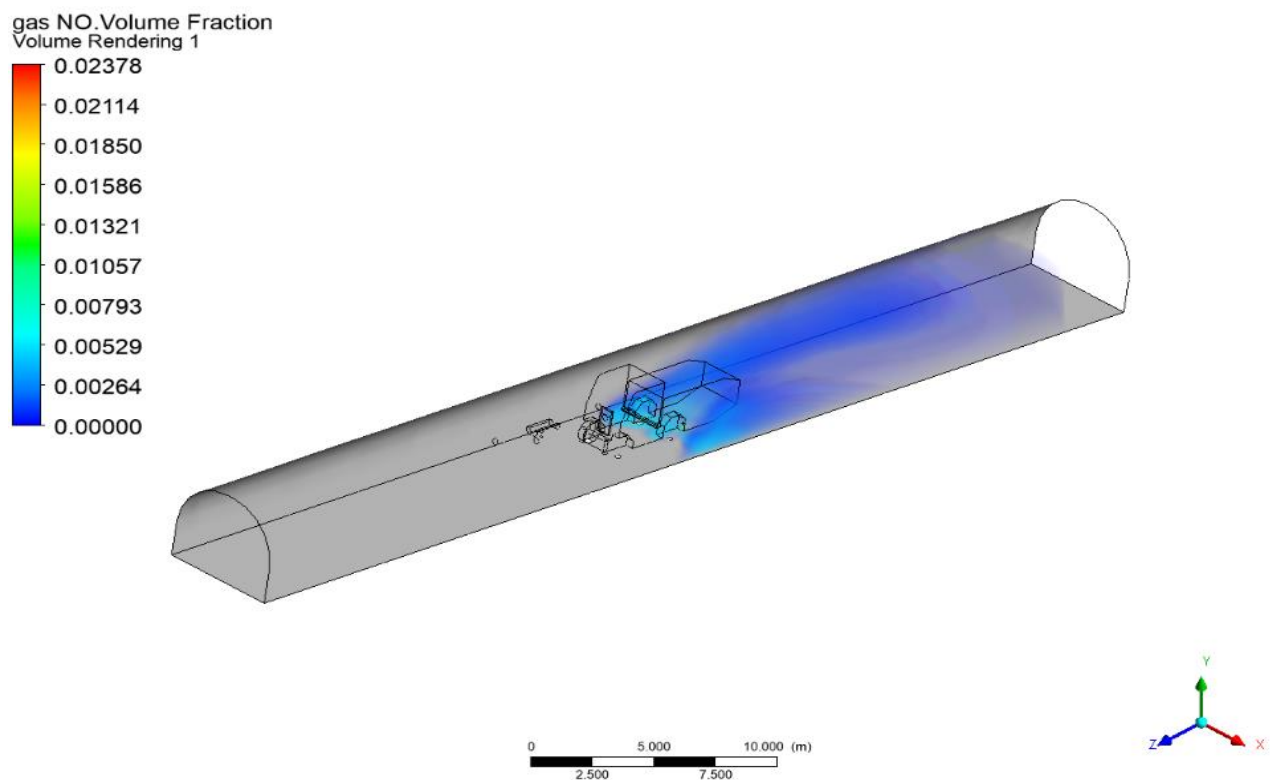


Рисунок ПЗ.43 – Распределение NO % об.д., Сценарий 14

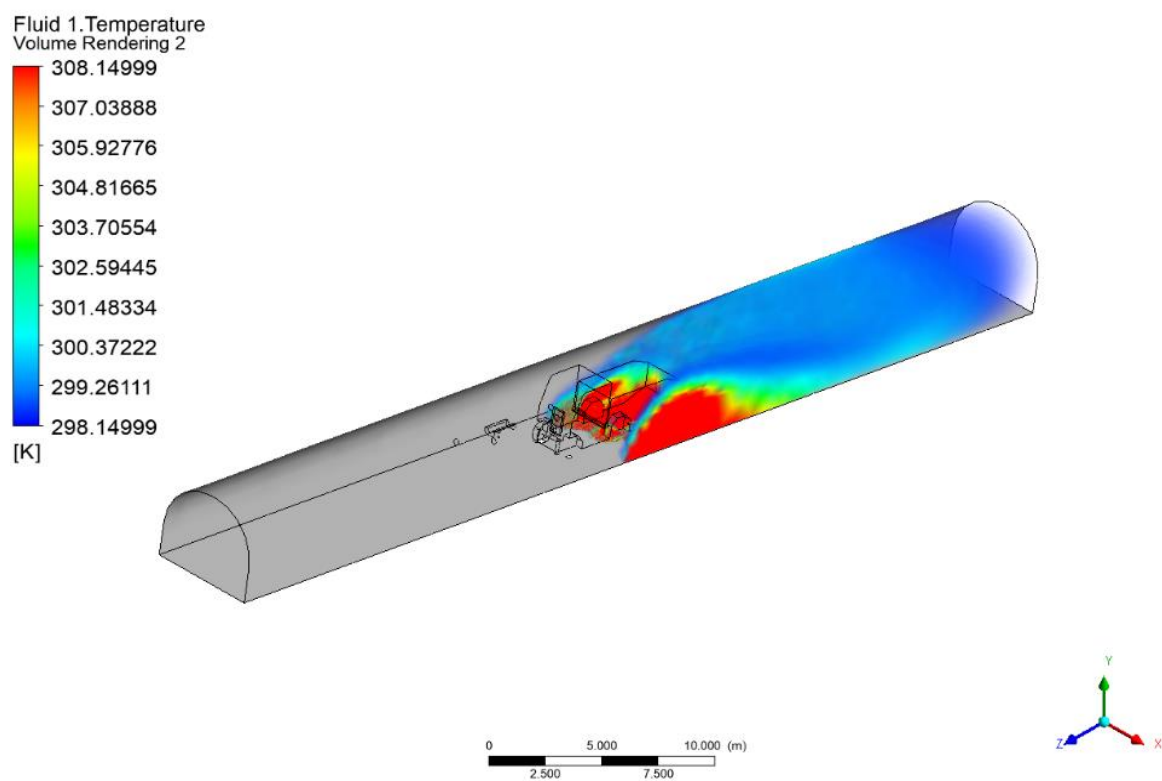


Рисунок ПЗ.44 – Распределение температуры, (25-35) °С, Сценарий 14

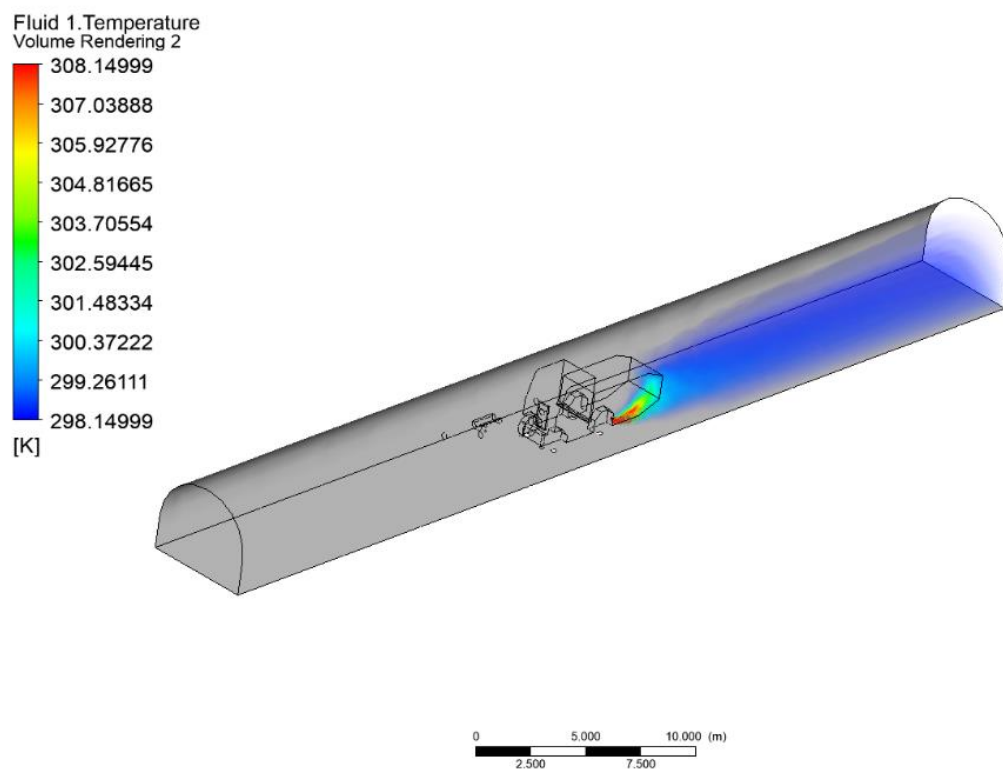


Рисунок ПЗ.45 – Распределение температуры, (25-35) °С, Сценарий 15

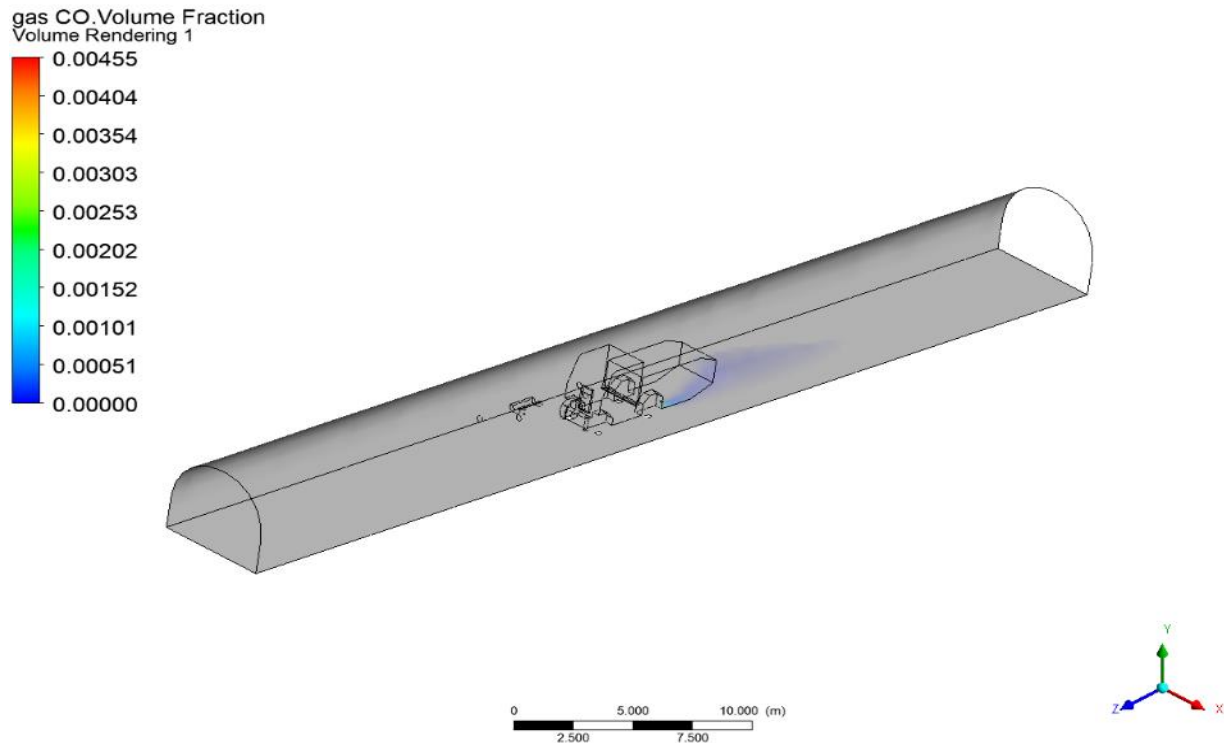
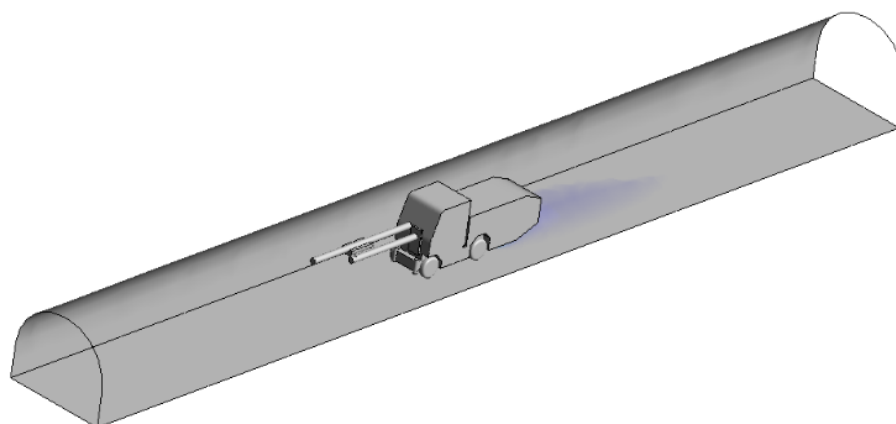
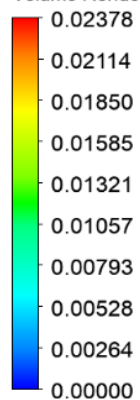


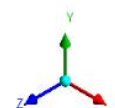
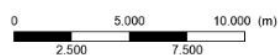
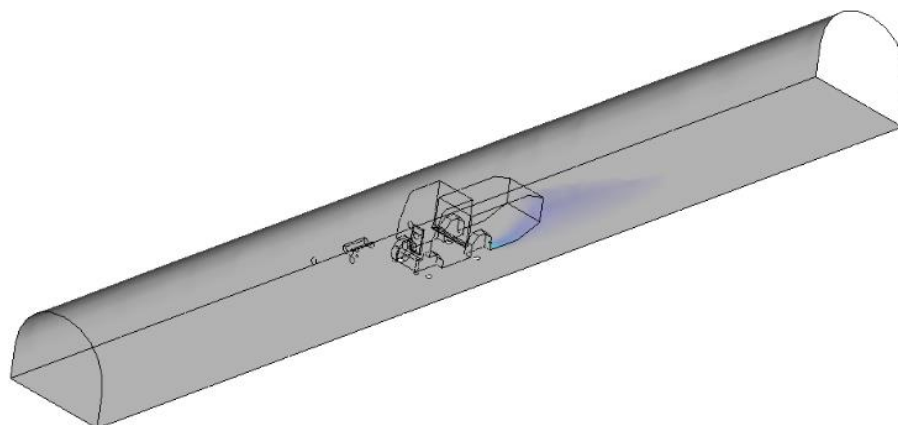
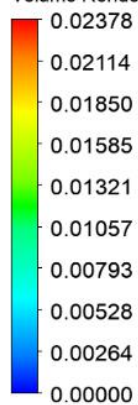
Рисунок ПЗ.46 – Распределение CO % об.д., Сценарий 15

gas NO.Volume Fraction
Volume Rendering 1



a)

gas NO.Volume Fraction
Volume Rendering 1



б)

Рисунок ПЗ.47 – Распределение NO % об.д., Сценарий 15

gas CO.Volume Fraction
Volume Rendering 1

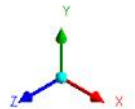
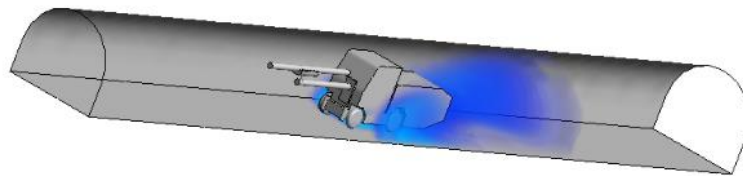
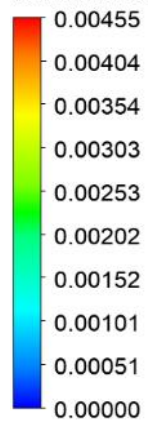
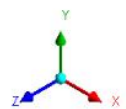
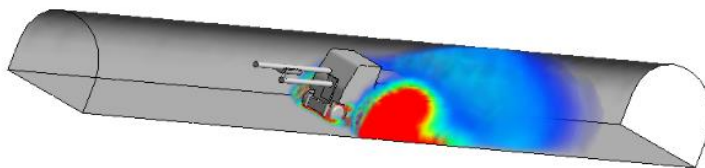
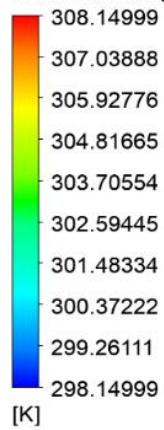


Рисунок ПЗ.48 – Распределение CO % об.д., Сценарий 16

Fluid 1.Temperature
Volume Rendering 2



a)

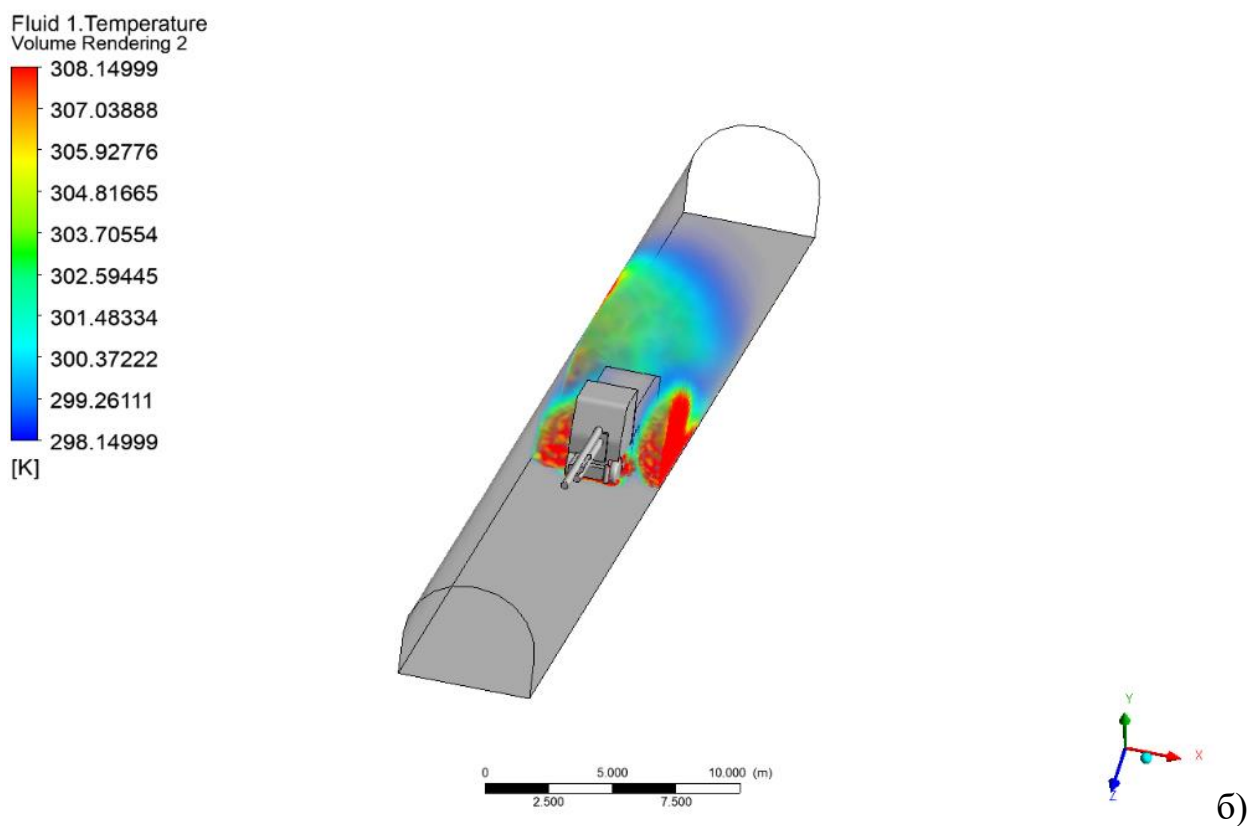


Рисунок ПЗ.49 – Распределение температуры, (25-35) °С, Сценарий 16:

а) вид слева б) вид спереди

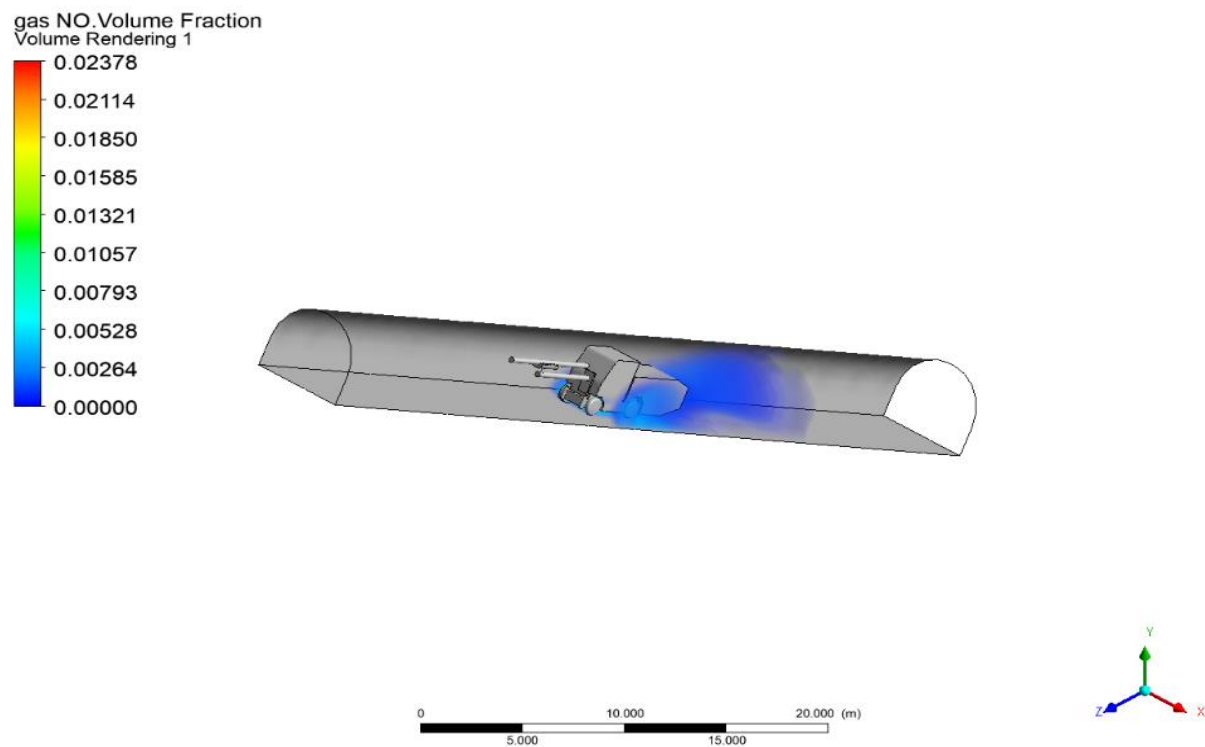


Рисунок ПЗ.50 – Распределение NO % об.д., Сценарий 16

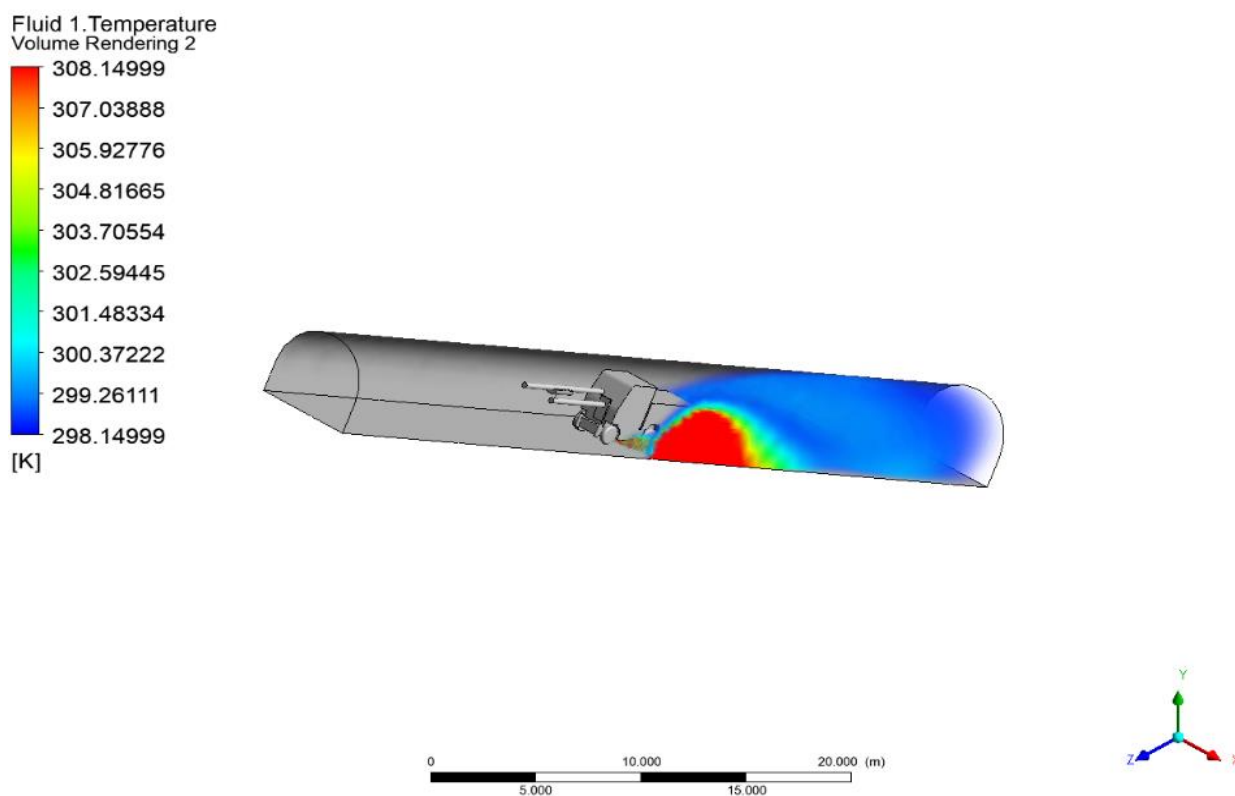


Рисунок ПЗ.51 Распределение температуры, (25-35) °С, Сценарий 17 (вид слева)

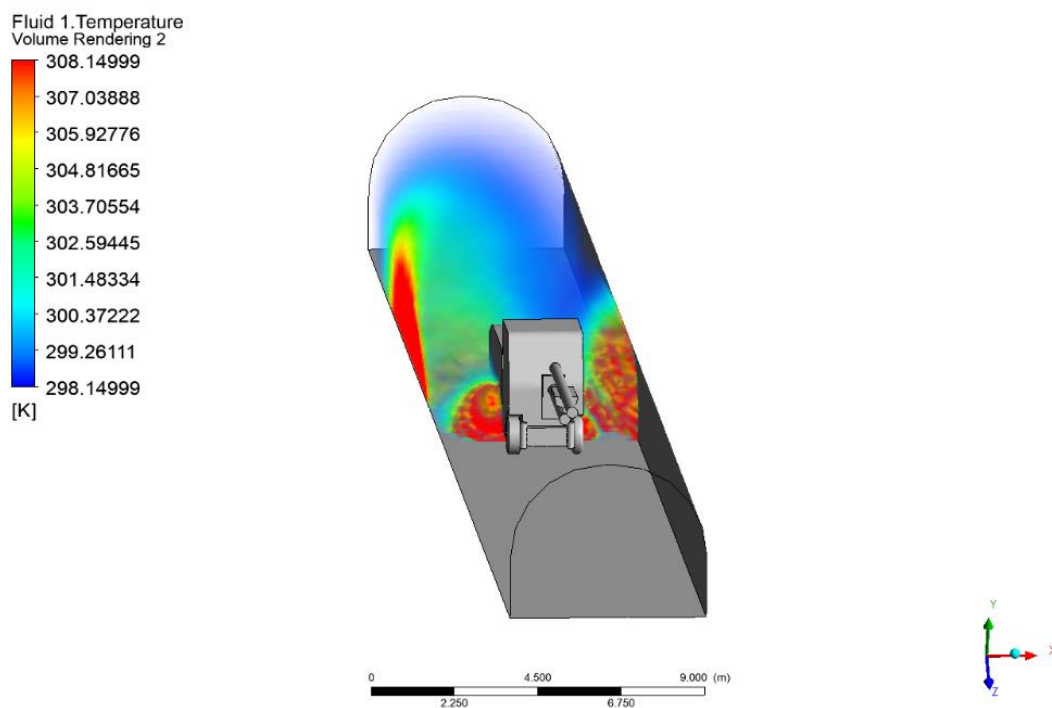


Рисунок ПЗ.52 – Распределение температуры, (25-35) °С, Сценарий 17(фронт)

gas NO.Volume Fraction
Volume Rendering 1

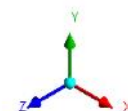
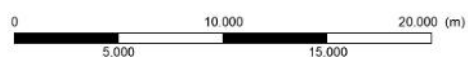
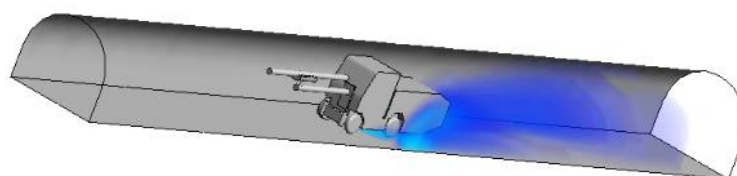
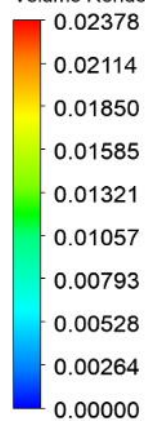


Рисунок П3.53 – Распределение NO % об.д., Сценарий 17

gas CO.Volume Fraction
Volume Rendering 1

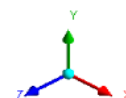
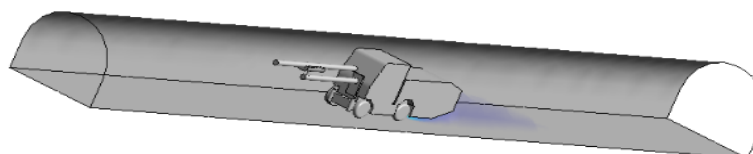
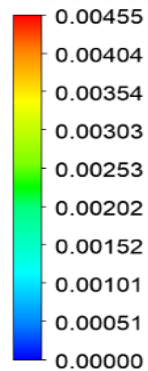


Рисунок П3.54 – Распределение CO % об.д., Сценарий 18

gas NO.Volume Fraction
Volume Rendering 1

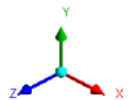
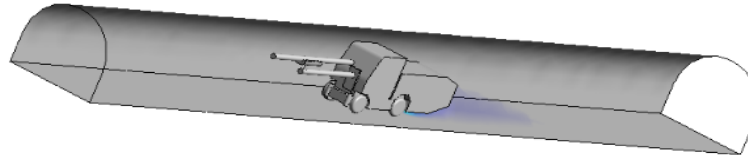
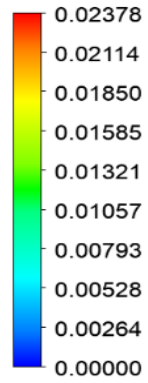


Рисунок ПЗ.55 – Распределение NO % об.д., Сценарий 18

Fluid 1.Temperature
Volume Rendering 2

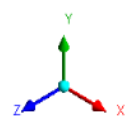
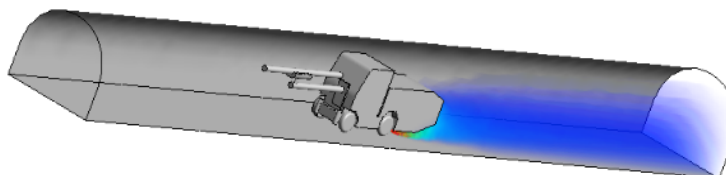
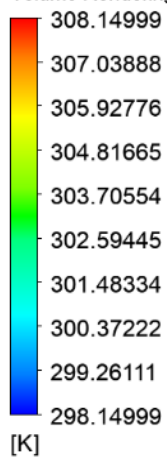


Рисунок ПЗ.56 – Распределение температуры, (25-35) °С, Сценарий 18

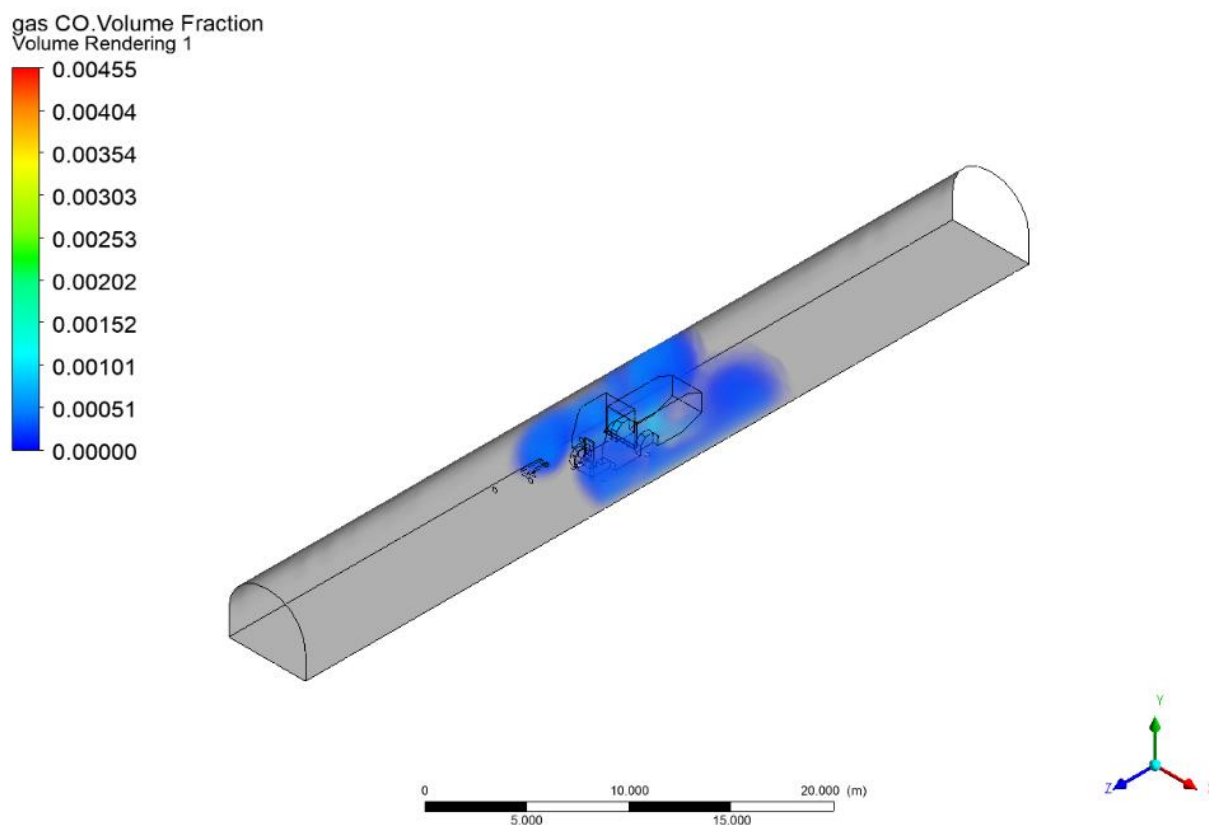


Рисунок П3.57 – Распределение CO % об.д., Сценарий 19

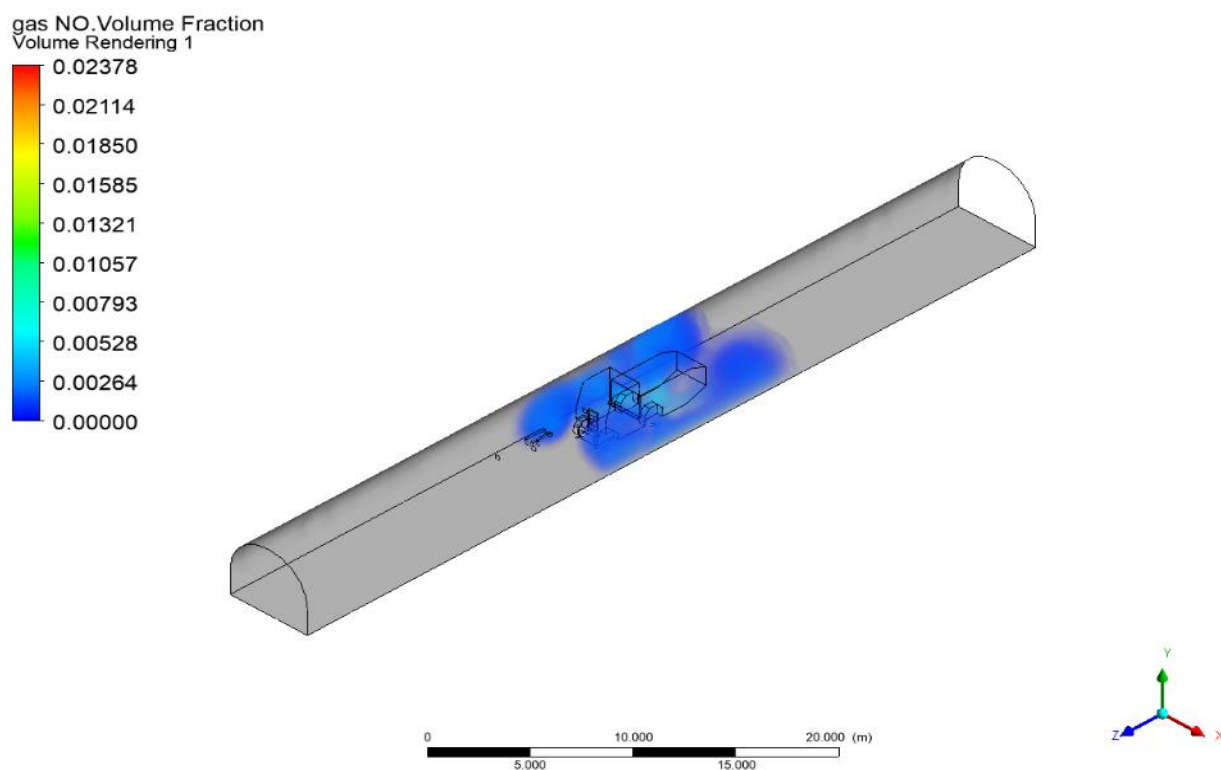


Рисунок П3.58 – Распределение NO % об.д., Сценарий 19

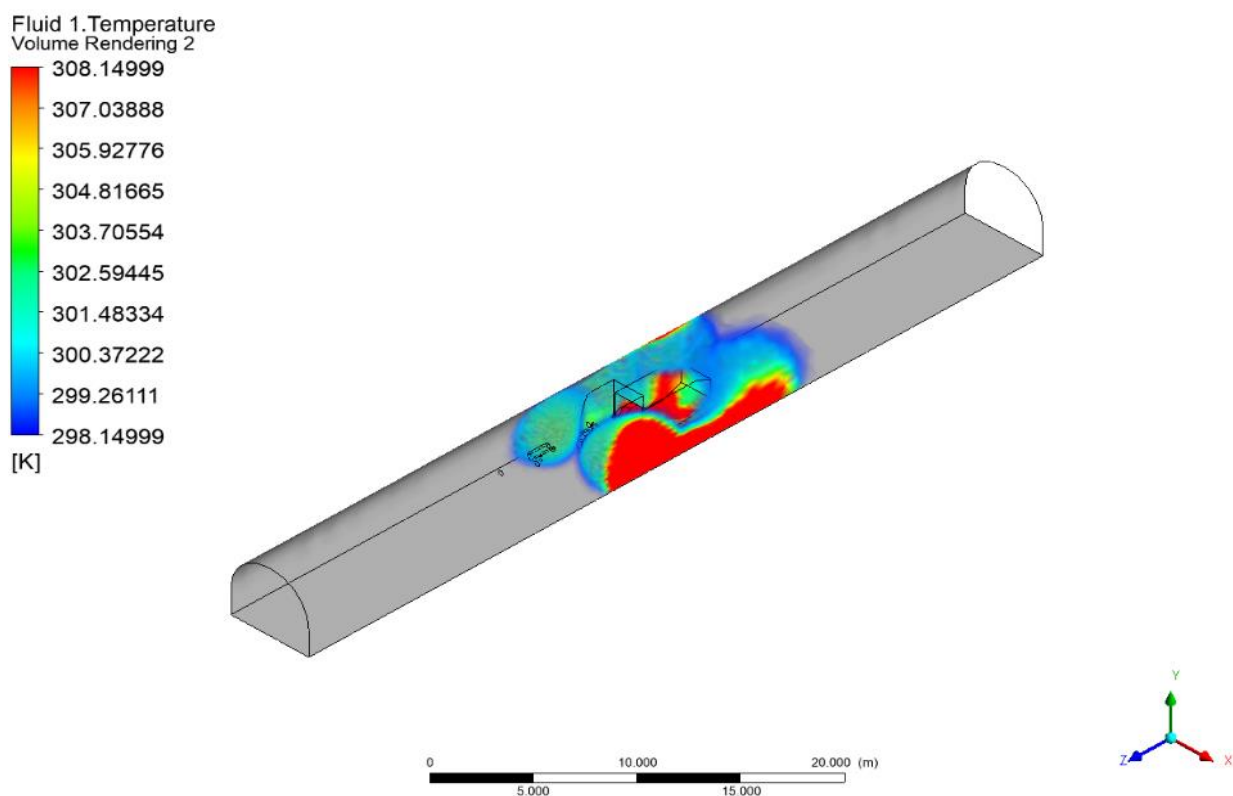


Рисунок ПЗ.59 – Распределение температуры, (25-35) °С, Сценарий 19

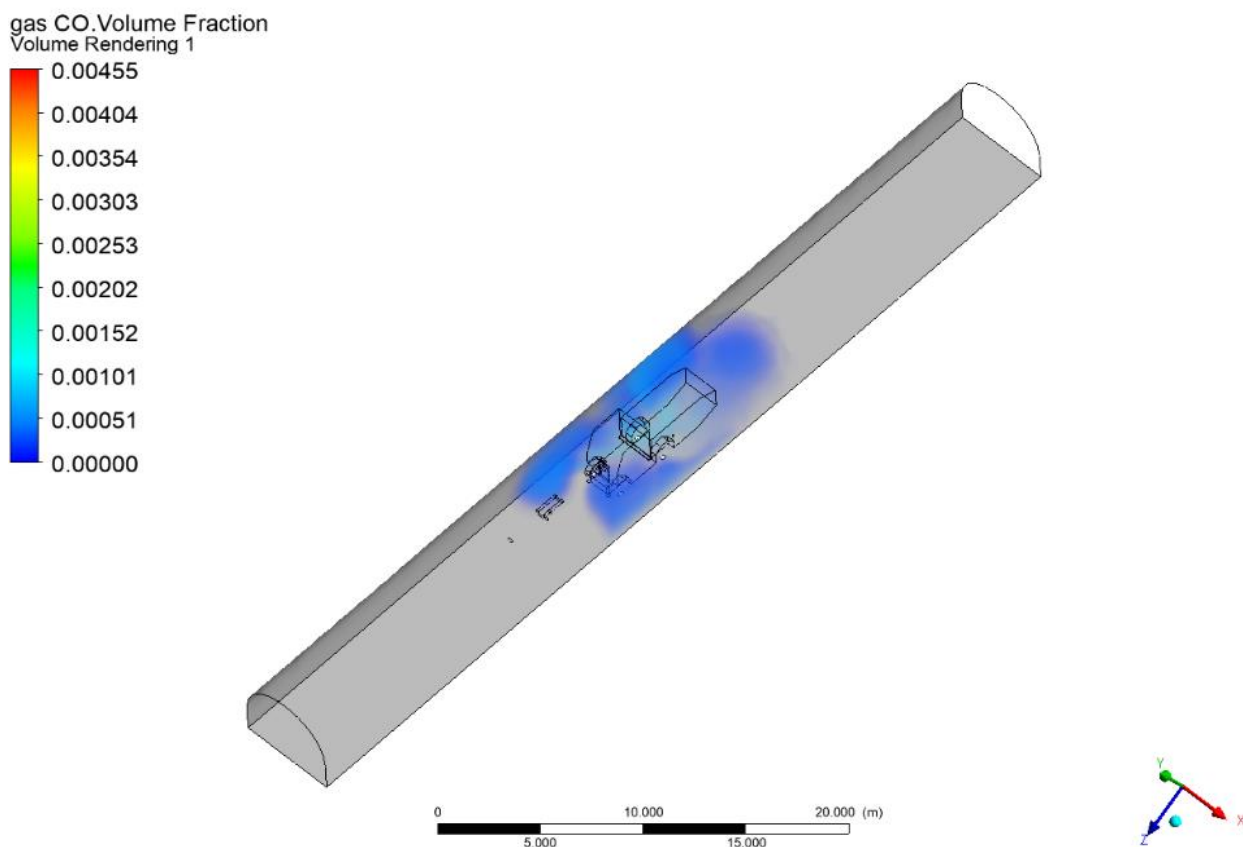


Рисунок ПЗ.60 – Распределение CO % об.д., Сценарий 20

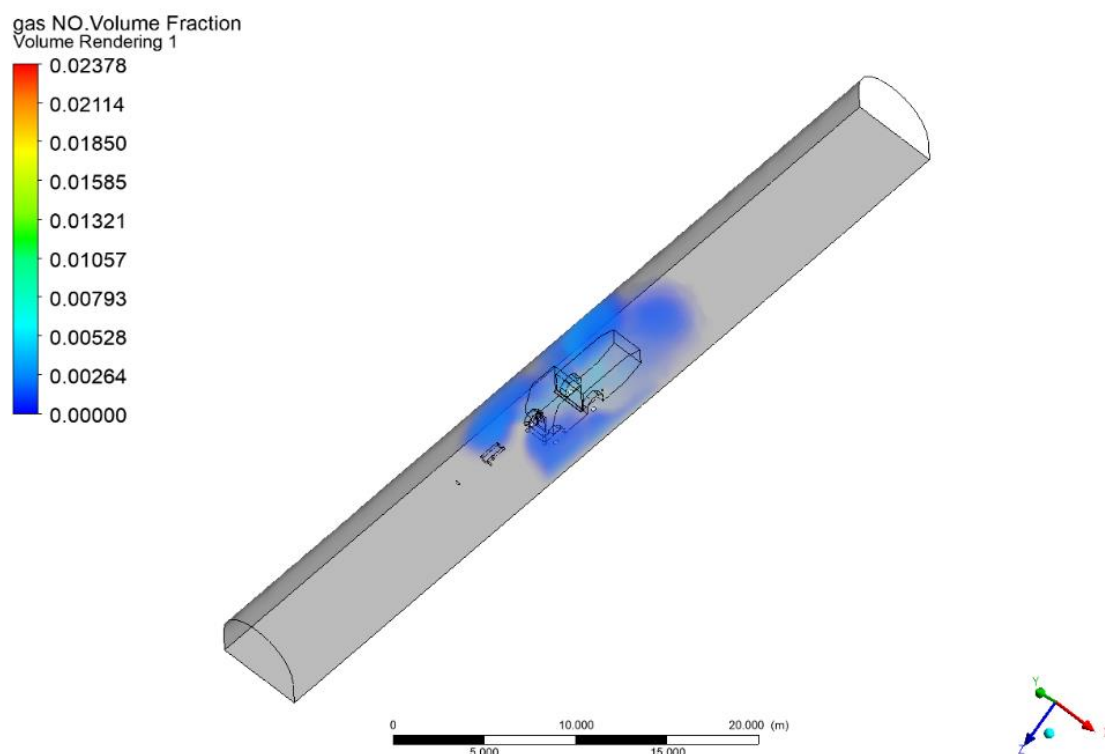


Рисунок ПЗ.61 – Распределение NO % об.д., Сценарий 20

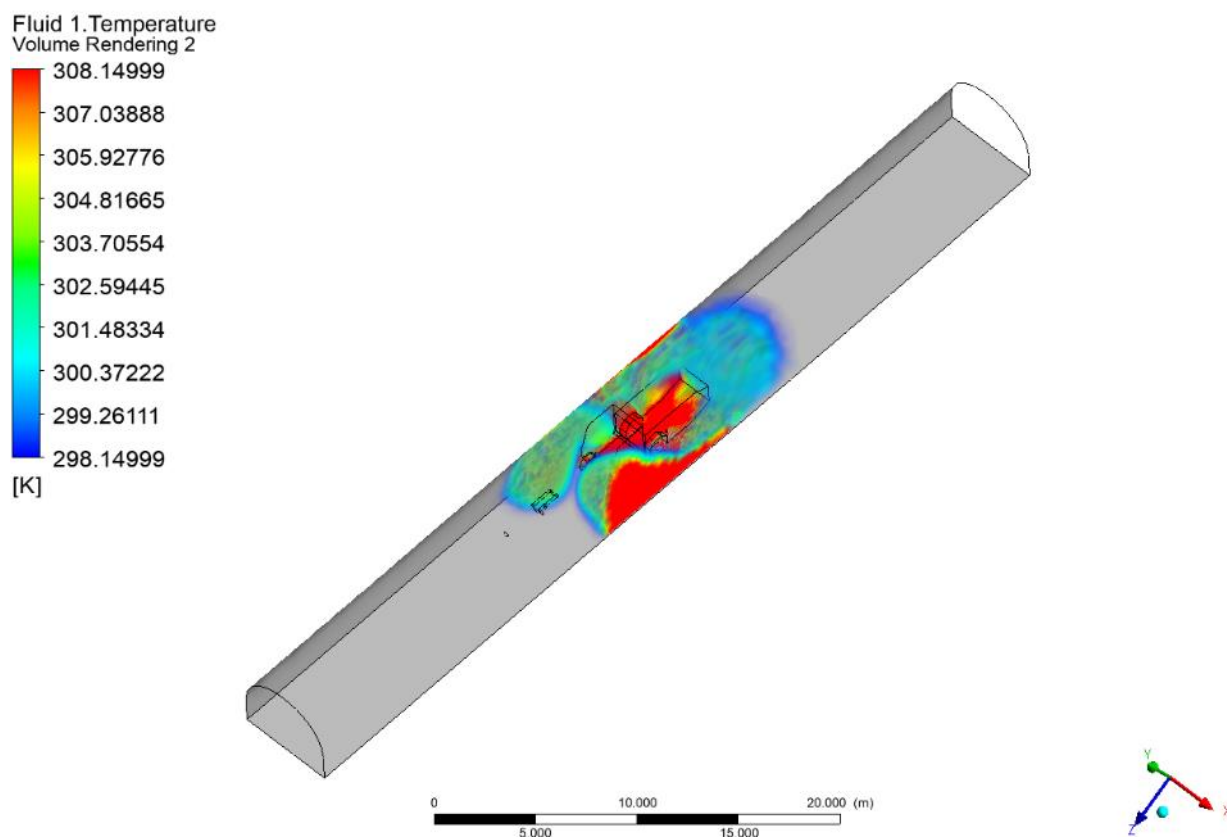


Рисунок ПЗ.62 – Распределение температуры, (25-35) °С, Сценарий 20

СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ



СПРАВКА

о внедрении «Методики расчета воздуха для проветривания
рудника подземного ООО «Яковлевский ГОК»

«Методика расчета воздуха для проветривания рудника подземного» внедрена Яковлевским ГОК в Регламент технологического производственного процесса «Проветривание горных выработок рудника подземного», утвержденный приказом ОРД-П-/0302-23-000468 от 29.06.2023 года. Внедрение разработанной методики расчета необходимого расхода воздуха для проветривания высокопроизводительного рудника, использующего оборудование с ДВС, на Яковлевском ГОКе подтвердило ее эффективность, выражающуюся в отсутствии загазований при обоснованном снижении расчетного количества воздуха.

Разработанная Сенаторовым В.А. и научно обоснованная методика оценки фактической газовой парки автомобилей с ДВС, в условиях подземного рудника, позволяет дифференцированно определять интенсивность каждого источника вредных газов (для всех типов применяемого оборудования), на основе чего возможно определение требуемого расхода воздуха для их разбавления, проведения экспресс-диагностики и определению неисправной техники.

Рекомендованный Сенаторовым В.А. порядок плановой диагностики состояния парка машин по фактической газовой парке и внедрение разработанной методики, обеспечило повышение эффективности вентиляции рудника за счет обеспечения рабочих зон необходимым расходом воздуха, при его рациональном распределении без увеличения производительности вентиляторов.

Начальник технического отдела

М.Ю. Полянский

Начальник участка пылевентиляции

Д.А. Немшилов



ООО «Яковлевский ГОК»
632 км трассы М-2 Территория,
дом 1, помещение 73, п. Яковлево,
Яковлевский район, Белгородская обл.,
Российская Федерация,
309076

Т: +7 (47244) 68 062
Ф: +7 (47244) 68 043
yagok@severstal.com
severstal.com

Р/с 40702810000001005136 ИНГ Банк (ЕВРАЗИЯ) АО
К/с 30101810500000000222, БИК 044525222,
ОПГН 1071031000534, ИНН 1004013588, КПП 312101001

Приложение П5

Таблица П.5.1 - Чек-лист результатов экспресс –диагностики подземной машины (установки)

ПДМ LH-310 №2223 (динамический режим) 1 страница												
Дата, время	сек	% O ₂	ppm CO	ppm NO	ppm NO ₂	ppm NO _x	% Q ₂	λ	% CO ₂	°C ТВ	°C ТГ	ppm H ₂
07.12.2021 11:03:41	0	20,87	0	0	0,0	0	-	-	-	20,2	68,3	0
07.12.2021 11:03:46	5	20,81	0	6	0,0	6	-	-	-	20,3	104,7	0
07.12.2021 11:03:51	10	20,40	2	29	0,0	29	-	-	-	20,3	110,3	0
07.12.2021 11:03:56	15	20,34	5	32	0,0	32	-	-	-	20,3	114,6	0
07.12.2021 11:04:26	45	20,34	6	31	0,0	31	-	-	-	20,8	128,7	1
07.12.2021 11:38:43	455	14,69	32	312	3,2	315	34,5	3,38	4,60	24,5	320,5	3
07.12.2021 11:38:48	460	12,42	49	383	3,6	386	26,0	2,48	6,27	25,5	322,2	0
07.12.2021 11:38:53	465	14,27	48	272	2,7	275	31,7	3,15	4,91	27,2	317,6	3
07.12.2021 11:38:58	470	15,49	43	223	1,8	225	37,5	3,87	4,01	28,5	311,7	7
07.12.2021 11:39:03	475	14,40	40	299	2,4	301	32,5	3,32	4,81	28,4	311,9	8
07.12.2021 11:39:08	480	11,49	46	399	3,3	402	23,2	2,23	6,95	27,9	320,0	3
07.12.2021 11:39:13	485	12,06	45	371	2,9	374	25,1	2,40	6,53	28,0	324,3	6
07.12.2021 11:39:18	490	14,96	37	255	2,0	257	35,9	3,54	4,40	28,8	323,1	9
07.12.2021 11:39:23	495	15,59	32	217	1,6	218	41,9	4,25	3,93	29,2	318,7	9

ПДМ LH-310 №2223 (статический режим) 2 страница								
1	марка			LH-310				
2	год выпуска			2025				
3	обороты			холодой ход	700	1500	1800	2500
4	концентрация газа	%	O ₂	18,37	18,3	17,7	16,98	16,3
5	концентрация газа	%	CO ₂	1,89	1,87	2,38	2,91	4,49
6	концентрация газа	ppm	CO	20	16	51	55	61
7	концентрация газа	ppm	NO	100	96	185	188	104
8	концентрация газа	ppm	NO ₂	2,9	2,4	15,3	17,3	5,9
9	концентрация газа	ppm	SO ₂	0	0	0	0	0
10	концентрация газа	%	H ₂	-	6	11	12	13
11	температура выхлопных газов	°C	t	193	200	171	187	225
12	скорость выхлопных газов	м/с	v	2,6	2,7	3,8	6	6,6
13	Коэффициент изб. воздуха	$\lambda = 1,05$						
14	температура воздуха	°C	t	25,2				
15	влажность воздуха	%	W	92,8				

Продолжение таблицы П5.1

16	диаметр воздуховода	мм	d	овал с перекрытием 220 на 165
17	место проведения измерения			6 слой заходка
18	Цвет выхлопных газов	статика	черный	
		динамика	серый с белым	
19	Запах	статика	Горелый жир	
		динамика	Жженный кабель	