

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт инженерной и экологической безопасности  
(наименование института полностью)

---

20.04.01 Техносферная безопасность  
(код и наименование направления подготовки)

---

Управление промышленной безопасностью, охраной труда и окружающей среды в  
нефтегазовом и химических комплексах  
(направленность(профиль))

---

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему «Охрана окружающей среды в нефтегазовом комплексе. Контроль состояния воздушной среды, в том числе на территории объектов нефтегазовой отрасли, с использованием средств газового анализа (переносных газоанализаторов)»

Обучающийся

Н.А. Фролова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный  
руководитель

канд.техн.наук, доцент, И.И. Рашоян

(ученая степень, ученое звание, Инициалы Фамилия)

Тольятти 2022

## Содержание

Введение.....	3
Термина и определение.....	10
Перечень сокращений и обозначений.....	11
1 Охрана окружающей среды в нефтегазовом комплексе.....	12
1.1 Особенности технологического процесса нефтегазового комплекса и его влияние на состояние окружающей среды.....	12
1.2 Характеристика АО «Газпром», как объекта нефтегазовой отрасли.....	22
1.3 Особенности управления состоянием воздушной среды на территории нефтегазового комплекса.....	26
2 Анализ и выбор существующих технических решений в области контроля за состоянием воздушной среды на территории ПАО «Газпром»	30
3 Оценка содержания вредных веществ на территории объектов нефтегазовой отрасли с использованием средств газового анализа (переносных газоанализаторов).....	44
3.1 Разработка универсального устройства для оценки содержания вредных веществ на территории объектов нефтегазовой отрасли с использованием средств газового анализа.....	44
3.2 Анализ и оценка эффективности мероприятий по повышению экологической безопасности функционирования предприятия с точки зрения контроля содержания вредных веществ.....	53
Заключение.....	64
Список используемой литературы и используемых источников.....	67

## Введение

Процесс добычи нефти, несмотря на ее выгодный экономический эффект, оказывает вредное воздействие на окружающую среду. Например, сжигание факелов природного газа, являясь обычным явлением в истории разведки нефти и газа загрязняет атмосферу сульфидами и оксидами азота [1]. Загрязнение происходит так, что в радиусе 250 метров вокруг исчезает вся флора. Это не единственное вредное воздействие процесса получения нефти на окружающую среду.

В Каспийском регионе количество разлитой нефти достигает почти 5 миллионов тонн. Общая площадь загрязненных почв составляет более 19 тысяч гектаров. Верхний слой почвы пропитывается маслом, начиная с глубины от десяти сантиметров. Данный регион территориально близко располагается с РФ. Экологическая безопасность предприятий нефтегазового комплекса остается одной из важнейших направлений деятельности государственных органов и компаний, добывающих газ и углеводороды. В этой связи многие предприятия нефтегазового комплекса сталкиваются с необходимостью разработки инновационных технологий снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Данный подход требует определенных финансовых усилий и стратегий НИОКР.

В настоящее время основные разработки в области нефтегазовых технологий сосредоточены на выявлении дополнительных запасов углеводородов за счет эффективного доступа к их резервам [2]. Данный цикл определенно сопровождается негативным воздействием на экосистему.

Проект коммерциализации инновационных технологий по снижению содержания выбросов в окружающую среду должен представлять комплексную программу общенациональной стратегии развития и управления охраной окружающей среды на всех этапах производственного цикла предприятия [27]. Преимуществами таких проектов являются возможность управления охраной окружающей среды на стадии «зарождения

идеи» инновационного развития предприятия в области защиты охраны окружающей среды, до стадии впуска и реализации готовой продукции. В данном контексте происходит стимулирование новых конкурентоспособных технологий с доказанным эффектом снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Вблизи лежащие территории, которые подвергаются негативному воздействию от деятельности предприятий нефтегазового комплекса выделяются как отдельные ООПТ. Данное действие направлено на сохранение биоразнообразия территории, борьбу с опустыниванием и изменением климата.

В настоящее время развитие межотраслевых секторов экологических НПО определяется вовлечением большего числа организаций, которые стремятся участвовать в принятии экологических решений, в том числе через сотрудничество с государственными органами и международными организациями [15].

На протяжении десятилетий современное общество пытается остановить глобальное потепление климата за счет сокращения выбросов газообразных загрязняющих веществ и твердых частиц в атмосферу. Для сохранения устойчивого развития РФ, актуальным вектором является предотвращение ухудшения состояния экологической системы вследствие скопления продуктов функционирования промышленных предприятий. Основными источниками загрязняющих атмосферу веществ являются: угольные электростанции, предприятия тяжелой промышленности (цементные, алюминиевые заводы, нефте- и газохимические комплексы), выбросы автотранспортных средств и многое другое [28].

Нефтегазовая отрасль относится к одному из ключевых предприятий экономики РФ. Однако, ее развитие и расширение привело к ряду экологических проблем, в том числе загрязнение воздушных и водных объектов.

Для минимизации экологического воздействия на окружающую природную среду и совершенствования экологической политики перерабатывающих и нефтедобывающих предприятий, необходимо в первую очередь рассмотреть и внедрить системы и инструменты управления охраной окружающей среды, сформировать и обеспечить траекторию экологического развития, разработать алгоритмы минимизации риска нанесения ущерба окружающей среде. При таком подходе актуальны новые направления минимизации негативного воздействия на окружающую среду промышленных предприятий, в том числе при помощи современных и эффективных научных исследований с определённой доказательной базой [21].

В процессе устойчивого развития современного мира решение проблем обеспечения экологической безопасности на территории нефтегазового комплекса рассматривается как важный фактор сохранения экосистемы.

Для снижения выбросов вредных веществ в атмосферу, с целью сохранения озонового слоя и биоразнообразия окружающей среды необходимо продолжение регионального и международного сотрудничества по разработке международных директив защиты объектов биосферы.

Если рассматривать загрязнения воздушной среды на территории нефтегазового комплекса, нельзя не отметить, что в ходе реализации технологического цикла при сжигании в факелах образуются вторичные продукты, загрязняющие атмосферу. К ним как правило относят: аэрозольные твердые частицы, сажу, парниковые газы (метан, диоксид углерода, оксид азота и другие).

Выбросы загрязняющих атмосферу веществ на территории нефтедобывающих предприятий могут иметь экотоксикологические последствия. Анализ содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны на территории нефтегазового комплекса затруднен в связи с высокими погрешностями и процессом обнаружения максимального количества ЛОС в воздушной среде в связи с их физико-химическими свойствами и

принципами работы аналитических инструментов при помощи которых проводится их идентификация [29].

Регулярный контроль за состоянием и анализ воздушной среды в нефтегазовом комплексе при помощи современных аналитических инструментов (газовых анализаторов) является одним из актуальных направлений обеспечения экологической безопасности и охраны окружающей среды.

В связи с вышесказанным актуальным направлением в области контроля состояния и своевременного обнаружения вредных веществ - ЛОС в воздухе рабочей зоны на территории нефтегазового комплекса является разработка универсального (портативного) устройства газового анализатора, который в режиме реального времени способен идентифицировать до 10 ЛОС, что в свою очередь будет способствовать повышению эффективности и безопасности функционирования опасного промышленного объекта с точки зрения воздействия на окружающую среду.

Амурский государственный университет, согласно заключенному договору о целевом обучении с 2019 года выпускает высококвалифицированных кадров для АО «Газпром»: специалистов по охране труда, окружающей среды и химической технологии природных энергоносителей и углеродных материалов. На базе университета совместно с АО «Газпром» создан НОЦ «Химия и химическая технология». Деятельность НОЦ направлена на создание инновационных разработок, которые апробируются на территории АО «Газпром». Результаты комплексных исследований НОЦ также успешно внедряются в учебный процесс Амурского государственного университета.

Объектом исследования в работе явилась: воздушная среда АО «Газпром» г. Свободный Амурской области.

Предметом исследования в работе явились: ЛОС, идентифицированные при помощи переносного газового хроматографа, разработанного совместно

с НОЦ «Химия и химическая технология» Амурского государственного университета.

Цель исследования – исследование состояния воздушной среды при помощи разработанного переносного газового хроматографа на территории АО «Газпром» г. Свободный Амурской области.

Гипотеза исследования состоит в том, что если использовать переносной газовой хроматограф для идентификации ЛОС на территории нефтегазового комплекса, то повысится скрининг и возможность координации процесса выброса ЛОС в воздушную среду.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать основные аспекты охраны окружающей среды в нефтегазовом комплексе;
- разработать переносной газовой анализатор для портативного использования на территории нефтегазового комплекса;
- исследовать состояние воздушной среды на территории объектов нефтегазовой отрасли при помощи переносного газового анализатора;
- разработать комплекс мероприятий по снижению вредных выбросов производственной деятельности в нефтегазовом комплексе.

Теоретико-методологическую основу исследования составили: фундаментальные и научно-технические исследования состояния воздушной среды в нефтегазовом комплексе, отраженные в работах отечественных и зарубежных исследователей (Абдрахманова Н. Х., Будникова Б. О., Емельянчикова В. И., Елисеенко Ю.Ю., Caruano A., Creasy Kenneth E. и другие).

Базовыми для настоящего исследования явились также: законы химического перехода и разрушения ЛОС в воздушной среде.

Методы исследования: в ходе работы над теоретической частью диссертации были использованы следующие методы: наблюдение и сравнение, систематизация данных, анализ.

В практической части исследования был использован контроль состояния воздушной при помощи переносного газового анализатора.

Опытно-экспериментальная база исследования: Научно-образовательный центр «Химия и химическая технология» ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет», воздушная среда АО «Газпром» г. Свободный Амурской области.

Научная новизна исследования заключается в разработке переносного газового анализатора, который состоит из двух модифицированных приборов: микрохроматографа ( $\mu$ -CG) и масс-спектрометра (МС), который может служить альтернативой компактного анализатора для обнаружения ЛОС на территории нефтегазовой отрасли, обладающий возможностью обнаруживать от 6 до 10 их видов.

Теоретическая значимость исследования заключается в: анализе состояния воздушной среды на территории объектов нефтегазовой отрасли, с использованием средств газового анализа (переносного газоанализатора) и разработке мероприятий по улучшению состояния воздушной среды на территории АО «Газпром» г. Свободный Амурской области.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования результатов собственных исследований на территории АО «Газпром» г. Свободный Амурской области и их внедрении.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивались:

- основные положения и выводы диссертации подкреплены фактическими данными, представленными в табличных формах и рисунках;
- материалы диссертации апробировались на региональных и международных конференциях.



Личное участие автора в организации и проведении исследования состоит в выполнении теоретических и экспериментальных исследований, проводимых в рамках темы магистерской диссертации, а также разработке портативного устройства (переносного газового анализатора) для контроля состояния воздушной среды на территории нефтегазовой отрасли.

Апробация и внедрение результатов работы велись в течение всего исследования. Его результаты докладывались на следующих конференциях:

- VII международной научно-практической конференции «Инновации в природоустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях», состоявшаяся 17-19 марта 2020 года, в городе Саратов;
- XXI международной научно-практической конференции «Экология и безопасность жизнедеятельности», состоявшаяся 13-14 декабря 2021 года, в городе Пенза;
- III международной научно-практической конференции «Безопасность и ресурсосбережение в техносфере», состоявшаяся 29 апреля 2021 года, в городе Краснодар.

На защиту выносятся:

- результаты контроля состояния воздушной среды и охраны окружающей среды в нефтегазовом комплексе;
- портативное устройство на основе микрохроматографа ( $\mu$ -CG) и масс-спектрометра (МС), для эффективного анализа состояния воздушной среды в нефтегазовом комплексе;
- комплекс мероприятий по снижению вредных выбросов производственной деятельности в нефтегазовом комплексе.

Структура магистерской диссертации. Работа состоит из введения, 3 разделов, заключения, содержит 17 рисунков, 8 таблиц, список использованной литературы (55 источников). Основной текст работы изложен на 73 страницах.

## **Термины и определения**

Нефтегазовый комплекс – обобщённое название группы отраслей по добыче, транспортировке и переработке нефти (нефтяная промышленность) и газа (газовая промышленность) и распределению продуктов их переработки.

Газоанализатор - измерительный прибор, анализатор для определения качественного или количественного состава смесей газов.

Газовая хроматография - это тип хроматографии, используемый для идентификации веществ химической природы при помощи получения пиков при соответствующей длины волны.

Летучие органические соединения - это органические химические вещества, которые имеют высокое давление паров при комнатной температуре. Высокое давление пара коррелирует с низкой температурой кипения, которая зависит от количества молекул образцов в окружающем воздухе, признак, известный как летучесть.

## Перечень сокращений и обозначений

РФ – Российская Федерация

МС- масс-спектрометр

НОЦ – научно-образовательный центр

ПДК – предельно-допустимая концентрация

ОДК – ориентировочная допустимая концентрация

ЛОС – летучие органические соединения

АО – акционерное общество

ПАУ - полициклические ароматические углеводороды.

НПО – Научно-производственные объединения

НИОКР - научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы

ООПТ – особо охраняемые природные территории

ОС – окружающая среда

ТП -

ПАУ – полициклические ароматические углеводородов.

ГХ – газовый хроматограф

ПВД - пламенно-ионизационный детектор

ЧЧД – чистый дисконтированный доход

## **1 Охрана окружающей среды в нефтегазовом комплексе**

### **1.1 Особенности технологического процесса нефтегазового комплекса и его влияние на состояние окружающей среды**

Технологический цикл нефтегазовой отрасли является организационным и технически сложным ядром оптимального функционирования предприятия, в значительной степени зависящий от специализированных сервисных и снабженческих компаний, которые предоставляют необходимое для этого оборудование [24]. В связи с высокими материальными затратами на технологический цикл нефтегазодобывающие предприятия вынуждены сокращать финансирование природоохранных мероприятий. Этот факт свидетельствует об отсутствии возможности внести свой вклад в выход из негативной экологической ситуации.

Принципами регулирования недобросовестного отношения к потреблению ресурсов, вводимыми законодательством сегодня, считается введение штрафных санкций, но это, по большому счету, несопоставимо с ущербом природной среде. Данный факт не способствует мотивации к модернизации существующих производственных технологий. Компаниям выгоднее заплатить штраф, чем реструктурировать основные средства и производственный цикл. Современная пенитенциарная система обеспечения экологической безопасности неэффективна, поскольку она оказывает не прямое, а косвенное влияние на экономическую эффективность нефтегазовых компаний.

Наглядным примером является стимулирование рационального использования попутного нефтяного газа, то есть введение штрафов с повышающими коэффициентами за сверхлимитное его сжигание в факельных установках [22].

Контроль состояния воздушной среды на территории нефтегазовых комплексов в РФ и контроль выбросов CO<sub>2</sub>, как элемент охраны окружающей среды осуществляется в рамках инициативы по достижению цели сокращения выбросов парниковых газов на 55 % к 2030 году и достижения их нулевого уровня к 2050 году [32].

Динамика выбросов CO<sub>2</sub> по ведущим странам и регионам мира, млрд. т. CO<sub>2</sub>, 1985–2017 гг. представлена на рисунке 1.

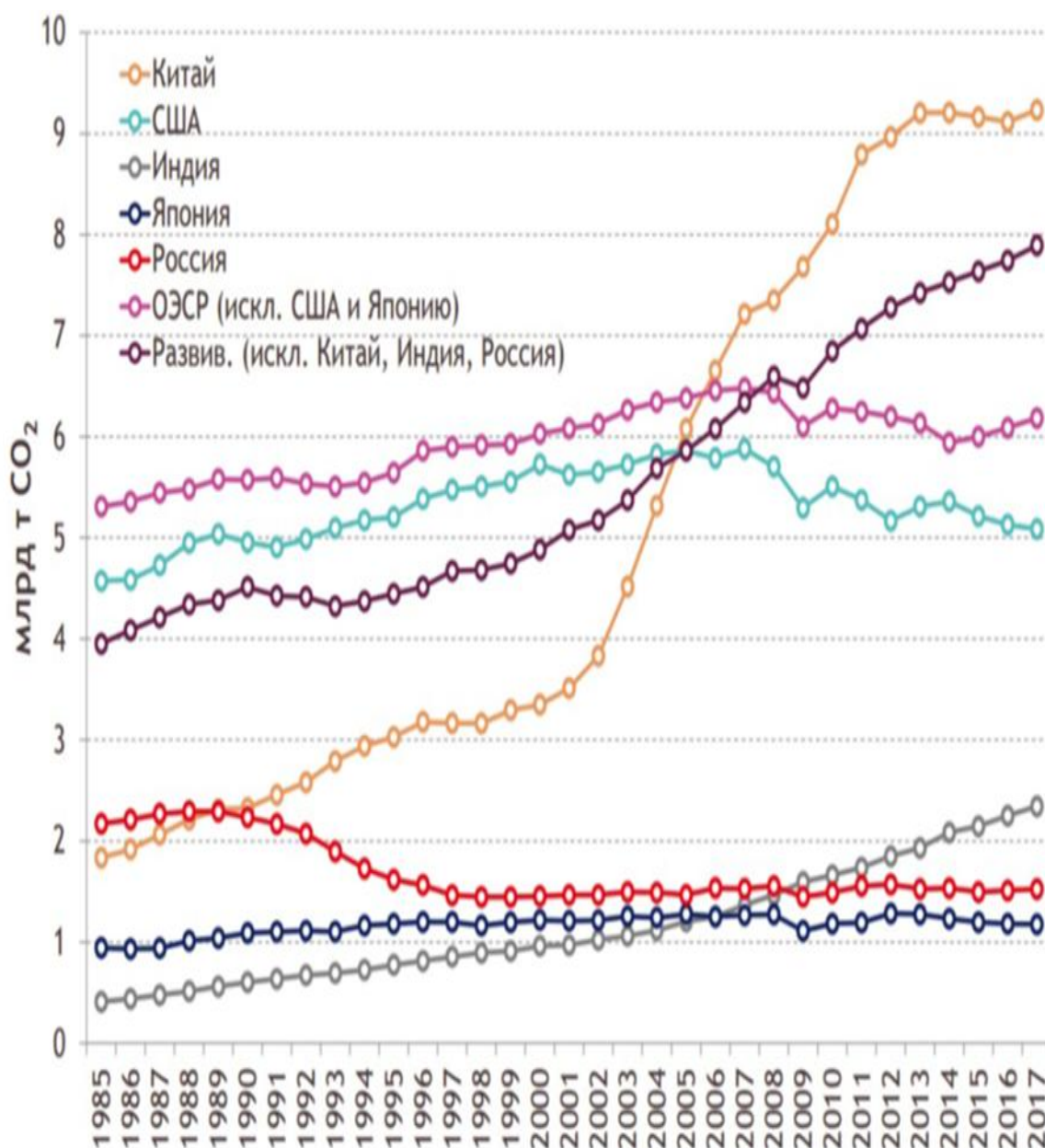


Рисунок 1 - Выбросы CO<sub>2</sub> по ведущим странам и регионам мира, млрд. т., 1985-2017 годы

Сегодня РФ занимает четвертое место в мире по объемам выбросов парниковых газов. Концепция создания механизмов контроля выбросов, образующихся в результате производственной деятельности за счет модернизации высокотехнологичных средств контроля и улавливания выбросов CO<sub>2</sub> актуальна и должна быть основана на принципах наилучших доступных технологий.

Если рассматривать особенности технологического процесса нефтегазового и химического комплекса и его влияние на состояние окружающей среды, следует отметить, что загрязнение экосистемы в районах бурения и разработки месторождений полезных ископаемых является одной из основных приоритетных и современных экологических проблем. При этом, основными объектами загрязнения являются грунтовые воды, литосфера и воздушная среда.

Источниками загрязнения экосистемы на территории нефтегазового и химического комплекса являются: утечка жидких отходов из иловых ям; осложнения, возникающие при бурении скважин, а также испарение бурового раствора. Наибольшую опасность для объектов окружающей среды представляют технологические отходы бурения. Эти отходы накапливаются и хранятся непосредственно на буровой площадке.

На территории нефтегазового и химического комплекса могут наблюдаться также разливы нефти. Случайные разливы нефти оказывают влияние на почвенный покров, водные ресурсы, а, следовательно, и здоровье работников предприятий и населения, проживающего в близлежащих районах [40].

Нефтяные и газовые вышки устанавливаются на земле, где имеются залежи нефти и/или природного газа. Смесь химических веществ, называемых буровым раствором, протекает через бурильную колонну, помогая поддерживать давление в скважине, вымывая пробуренный материал вверх. Как только бурение завершается, и скважина становится пригодной для использования, она комплектуется обсадной колонной и

оборудованием для мониторинга потока газа и нефти. Каждая работа на буровой установке сопряжена с определенными опасностями. Присутствие легковоспламеняющихся веществ на площадках нефтегазового и химического комплекса являются одним из критериев отнесения данного предприятия к особо опасному.

Статические помехи, присутствие открытого пламени и воздействие природных или антропогенных факторов могут легко воспламенить вещества, присутствующие в воздушной среде нефтегазовых предприятий, причинив значительный ущерб здоровью работников или оказывая негативное влияние на окружающую природную среду [46].

Вторичные продукты, которые образуются в результате работы нефтегазового и химического комплекса загрязняют воздух твердыми или смесью твердых и жидких частиц различного размера и химической природы. Твердые частицы с диаметром менее 10 микрон попадая в легкие могут вызвать серьезные проблемы со здоровьем человека.

Одним из серьезных источников образования отходов (сажи) в результате работы факельных установок в воздушной среде нефтегазового и химического комплекса являются частицы диаметром менее 2,5 микрон. Эти частицы настолько малы, что их можно обнаружить только с помощью электронного микроскопа. После выброса в воздух такие частицы могут изменить свой размер и состав за счет конденсации паров или испарения, а также коагуляции с другими частицами или химической реакции межмолекулярного взаимодействия [47].

Если детально рассматривать образование твердых веществ в воздушной среде, то стационарные источники нефтяных и газовых месторождений, а также другие технологические объекты нефтеперерабатывающих заводов и газоперерабатывающих установок осуществляют значительные негативные выбросы в воздушную среду таких загрязняющих веществ, как черный углерод [3].

Образование сажи на факельных установках показано на рисунке 2.



Рисунок 2 – Образование сажи на факельных установках

Черный углерод является основной светопоглощающей фракцией аэрозолей в атмосфере, которая образуется в результате неполного сгорания газа. Черный углерод, выделяясь при сжигании газа на факелах, помимо загрязнения воздушной среды оказывает также прямое воздействие на кальцинацию почвы, деградацию и уничтожение растительности.

На территории нефтегазового и химического комплекса в результате добычи, переработки и использования нефти и газа в производственном цикле наблюдается процесс высвобождения парниковых газов (метана и углекислого газа). Хотя эти газы оказывают воздействие в большей степени на климатические факторы экосистемы они не оказывают существенного влияния на качество воздуха, за исключением высоких концентраций в замкнутых пространствах. Данные параметры регулируются нормативными значениями, установленными в соответствии с действующим законодательством.

В результате прямого или косвенного сжигания ископаемого топлива в результате производственной деятельности и при сжигании факельных установок образуются шесть основных загрязнителей: моно- и



диоксид углерода ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ), оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ), оксиды серы ( $\text{SO}_x$ ), озон ( $\text{O}_3$ ), твердые частицы свинца ( $\text{Pb}$ ).

В настоящее время ведется активная научно-исследовательская работа по реализации федеральной программы снижения выбросов в атмосферу за счет внедрения мало- или безотходных технологий переработки сырьевых ресурсов. Выбросы окиси углерода ( $\text{CO}$ ), оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) и углеводородов ( $\text{C}_n\text{H}_n$ ) контролируются каталитическими нейтрализаторами. Выбросы оксидов серы сокращаются за счет более низкого содержания серы в бензиновых установках.

Любые успешные стратегии контроля состояния воздушной среды или противодействие проблемам загрязнения окружающей среды должны основываться на актуальных данных мониторинга качества воздуха для управления и обоснования принятия решений в этом направлении [4].

ЛОС - это различные химические вещества, включая углеводороды, галоидоуглеводороды и оксигенаты, обладающие различными физико-химическими свойствами и поступающие непосредственно из антропогенных и техногенных источников, способные образовывать вторичные загрязняющие вещества экосистемы. Для автомобильных выбросов список соединений таких веществ длинный и варьируется в зависимости от используемого топлива, типа двигателя и условий эксплуатации. Типичными выбросами в большинстве случаев являются углеводороды, такие как этан, этин, высшие алифатические углеводороды, бензол, толуол и ксилолы.

Оксиды азота ( $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$ ) на территории нефтегазового и химического комплекса присутствуют как следствие различных процессов горения стационарных источников: энергетических (21%), мобильных (44%) и других. Жизненный цикл оксидов азота составляет до пяти дней, в конечном итоге превращаясь в азотную кислоту за счет процессов испарения он переходит в воздушную среду.

С точки зрения физиологического воздействия высоких концентраций  $\text{NO}_2$  на организм человека следует отметить негативное влияние на органы

дыхания и увеличение риска возникновения респираторных инфекций. Основным источником присутствия в воздушной среде такого химического соединения, как  $\text{NO}_2$  является окисление  $\text{NO}$ , являющееся промежуточным звеном между эмиссией  $\text{NO}$  и образованием  $\text{O}_3$ . Озон ( $\text{O}_3$ ) не является прямым техногенным выбросом. Единственным его источником в воздушной среде является химическая реакция молекул кислорода. Физиологическое воздействия озона на организм человека обусловлено появлением респираторных симптомов (кашель и дискомфорт при дыхании). Озон также может ускорить старение легочной ткани.

Диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ) представляет собой бесцветный газ с сильным запахом, образующийся при сжигании топлива. Электростанции, которые используют в качестве основного сырья уголь или нефть с высоким содержанием серы, являются основными источниками выбросов  $\text{SO}_2$  в атмосферу. Процентное соотношение выбросов  $\text{SO}_2$  на территории РФ составляет до 50 % ежегодных глобальных выбросов.  $\text{SO}_2$  и другие оксиды серы усугубляют проблему образования кислотных дождей, являясь основными источниками смога. С физиологической точки зрения диоксид серы может привести к заболеваниям легких.

На территории нефтегазового и химического комплекса также возможно присутствие сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ ), который образуется в результате разложения органических веществ являясь естественным компонентом в «кислых» нефтяных и газовых пластах. На территории нефтегазового и химического комплекса  $\text{H}_2\text{S}$  может встречаться в ямах, резервуарах и других низменных местах. Даже при низких концентрациях  $\text{H}_2\text{S}$  может привести к потере сознания или даже смерти.

ЛОС включает также бензол, формальдегид и другие токсичные вещества. Соединяясь с оксидами азота эти вещества образуют приземный слой смога. Большая концентрация таких веществ в воздушной среде может вызвать онкологические заболевания различной этиологии [52]. Широкий спектр потенциальных источников выбросов ЛОС требует различных

алгоритмов эффективного регулирования их концентрации на разных этапах технологического цикла получения нефти и газа.

На территориях добычи нефти и газа могут содержаться высокие концентрации ЛОС, способные к образованию вредного смога, расположенного в нижних слоях атмосферы [53].

Помимо стационарных предприятий, занимающихся нефтегазопереработкой известны морские платформы, которые также являются основными объектами получения нефти и газа. Трансфер газа из морской платформы осуществляется по линейным нефтегазопроводным трубам в подземные хранилища газа. Далее по трубам промышленного назначения, природный газ поступает в газораспределительную станцию. Из газораспределительной станции газ поступает потенциальным потребителям и предприятиям. Нефть по линейным трубопроводам концентрируется в комплексе по сбору и очистке нефти. Далее поступая в хранилища нефтепродуктов она перераспределяется по потребительским каналам до мест назначения.

Особое внимание в настоящее время оказывают вопросам безопасности и охраны окружающей среды во время транспортировки нефти. В результате идентифицируются риски, проводится оценка и внедрение алгоритмов их управления, а также исключения любого типа проблем, которые могут повлиять на возникновение чрезвычайных ситуаций в процессе её транспортировки.

За последние годы объем морских перевозок нефти увеличился, и разливы нефти не являются случайным следствием ее транспортировки. Воздействие нефтеперерабатывающей промышленности на окружающую среду является как прямым, так и косвенным:

Общий технологический цикл получения нефти и газа (на примере морской платформы) представлен на рисунке 3.

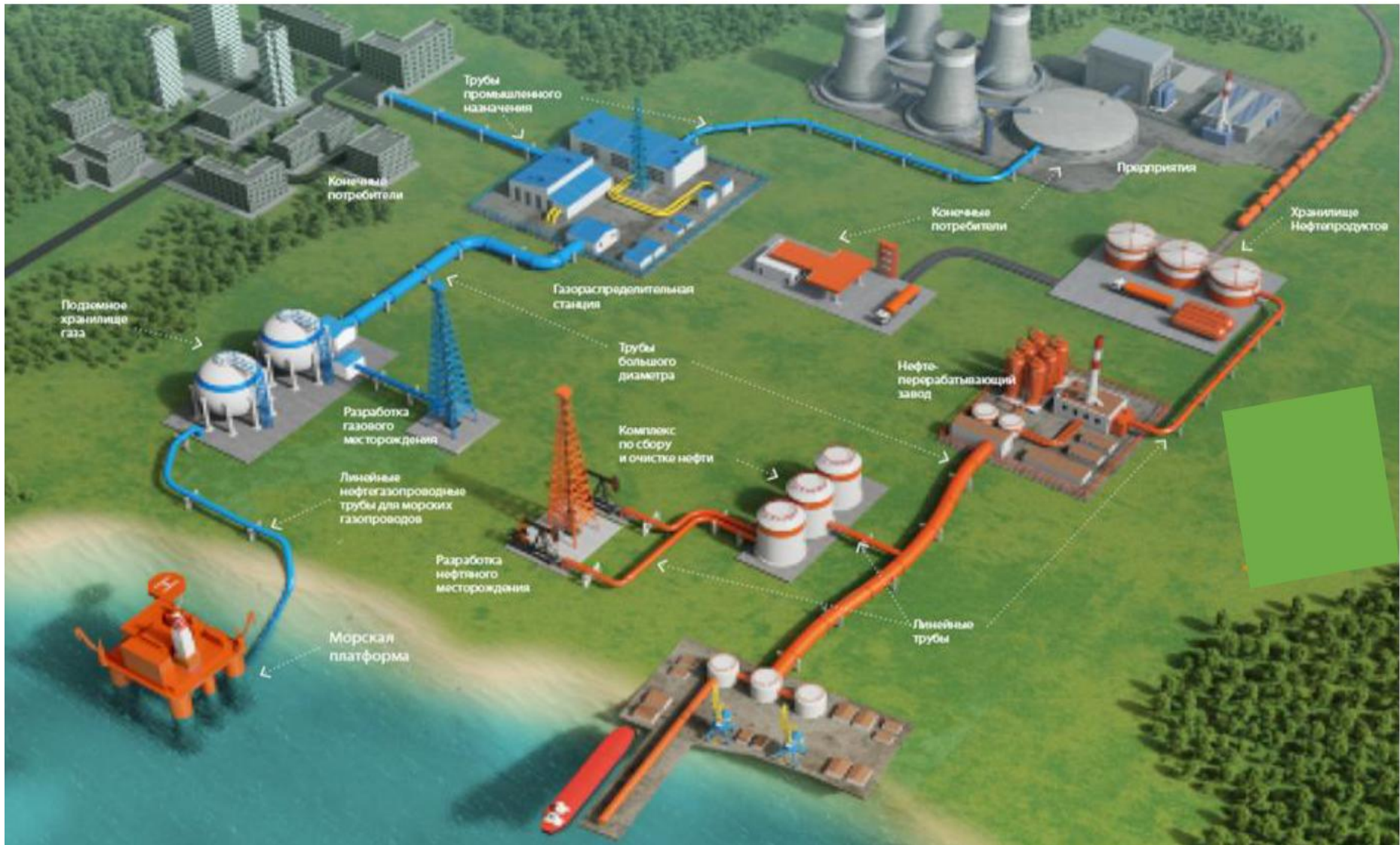


Рисунок 3 – Аппаратно-технологический цикл получения нефти и газа

Таким образом, в процессе получения, утечки и транспортировки нефти и газа по трубопроводам, возможно загрязнение воздушной среды токсичными веществами химической природы. При этом выбросы наносят прямой ущерб здоровью населения и окружающей среды не только на территории нефтегазового и химического комплекса, но и экосистеме в целом.

Стационарные выбросы нефтеперерабатывающих заводов могут быть сокращены несколькими способами:

- за счет повышения эффективности и обнаружения утечек и рециркуляции газового состава воздушной среды;
- за счет сокращения сжигания в факельных установках, скрубберах и каталитических реакторах природного газа.

Оценка экологического влияния на здоровье населения в результате выбросов ЛОС в атмосферу, сложность их идентификации и подбора оптимального аналитического инструментария способствуют актуализации вопросов управление качеством воздушной среды для предприятий нефтегазового и химического комплекса.

Внедрение жестких ограничений в контексте экологической безопасности функционирования нефтегазовых и химических комплексов может способствовать повышению общей эффективности производственной деятельности и созданию условий конкурентоспособности при максимальном снижении выбросов и вреда окружающей среде.

Тотальный контроль производственных объектов на содержание вышеперечисленных газов в воздушной среде является стратегической задачей охраны окружающей среды в нефтегазовом комплексе. В связи с этим руководителями таких предприятий должны проводиться активные мониторинги газового состава воздушной среды на современном аналитическом оборудовании.

## **1.2 Характеристика АО «Газпром», как объекта нефтегазовой отрасли**

Относительно недавно Россия была одним из лидеров среди стран с наибольшей долей сжигания попутного нефтяного газа на факелах, но только до вступления в силу постановления правительства «Об особенностях расчета платы за выбросы загрязняющих веществ» [7]. Существующая ситуация в нефтегазовой отрасли в отношении экологических проблем требует коренного пересмотра и реализации проектов, основой которых служит достаточное материальное и финансовое обеспечение основных инструментов экологического менеджмента.

Нефтяная промышленность использует множество различных видов деятельности во всех секторах бизнес-цикла: от добычи до переработки. Руководство нефтегазовой компании реализует политику в области охраны труда и экологической безопасности. Здоровье, безопасность, окружающая среда - это отдельные вопросы, каждый из которых связан со своей собственной технологией. Эти три предмета имеют первостепенное значение для нефтяной промышленности, в том числе за счет соблюдения руководящих принципов экологической безопасности. Реализация обязательных требований для «нефтеоператоров» всего мира может быть достигнута за счет разработки внутренней политики предприятия.

Акционерное общество «Газпром» (АО «Газпром») – это генеральный подрядчик по строительству объектов ПАО «Газпром», головная компания многопрофильного холдинга, выполняющего полный комплекс работ в рамках проектов по добыче, переработке и транспортировке природного газа. В 2021-м году «Газпром» ввёл в эксплуатацию более 960 км линейной части магистральных трубопроводов, 14 компрессорных станций, 4 дожимные компрессорные станции, 10 кустов газовых скважин. Было обеспечено создание и функционирование газотранспортной инфраструктуры от Ямала до Балтийского побережья, для мегапроекта «Северный поток – 2».

Выполнены работы по увеличению мощности Восточного маршрута для поставок по газопроводу «Сила Сибири» в Китайскую Народную Республику. Продолжается обустройство Бованенковского, Харасавэйского, Уренгойского, Чаяндинского и Ковыктинского месторождений, расширение и увеличение мощности основных газотранспортных коридоров по всей стране.

В АО «Газпром» внедрена и поддерживается система экологического менеджмента в соответствии с международным стандартом ISO14001:2015. Однако, одной из ступеней реализации данного механизма (мониторинга и аудита контроля выбросов на территории предприятия) находится не совсем на достаточном уровне и требует комплексного и современного решения.

Поддержание в рабочем состоянии, развитие и совершенствование системы экологического менеджмента, проведение и анализ результатов производственно-экологического контроля входит в обязанности управления охраны окружающей среды и производственного контроля.

На крупных объектах строительства организованы девять обособленных подразделений, в состав которых входят специалисты-экологи. В производственных и сервисных компаниях функционируют экологические службы. На объектах строительства ведётся постоянная работа, направленная на соблюдение требований природоохранного законодательства, улучшение экологических показателей деятельности, а именно: своевременная разработка природоохранной разрешительной документации, оформление статистической и иной отчетности, оборудование мест временного накопления отходов, детальных анализ состояния воздушной среды.

В связи с увеличением портфеля договоров и, соответственно, объектов строительства, а также в связи с изменением организационной структуры АО «Газпром», а также изменений в природоохранном законодательстве в 2023 году планируется актуализация реестра законодательных и иных требований и Программы экологического менеджмента АО «Газпром».

Следует отметить основные мероприятия по охране окружающей среды, проводимые на анализируемом предприятии. Для осуществления деятельности в области защиты окружающей среды в соответствии с действующим законодательством АО «Газпром» проводит следующие мероприятия:

- организует разработку разрешительной документации в области природопользования по объектам строительства по вновь реализуемым объектам строительства;
- разрабатывает и внедряет природоохранные мероприятия, направленные на предупреждение и снижение негативного воздействия на окружающую среду на объектах строительства АО «Газпром» по вновь реализуемым объектам строительства;
- назначает ответственных лиц за проведение производственного экологического контроля на объектах строительства и уже функционирующих территориях;
- выполняет мероприятия по управлению значимыми экологическими аспектами, составляя отчеты о выполнении планов по управлению значимыми экологическими аспектами;
- проводит мониторинг водных объектов и производственный экологический мониторинг воздушной среды на объектах строительства;
- подготавливает и своевременно направляет в государственные органы статистическую отчетность за 2021 год по формам 2-ОС, 2-ТП (отходы), 2-ТП (воздух), 4-ОС, представляя также отчетность по формам 6.1, 6.2, 6.3.

АО «Газпром» является одной из крупнейших компаний РФ в области строительства, реконструкции и капитального ремонта стратегически важных объектов промышленного и гражданского назначения, в том числе объектов топливно-энергетического комплекса, объектов добычи и транспорта газа.



Компания является единым генеральным подрядчиком по реализации инвестиционной программы ПАО «Газпром» в целях обеспечения качества работ и услуг, снижения негативного влияния на окружающую среду, непрерывного повышения энергетической эффективности, гарантированного обеспечения приоритета жизни и здоровья работников предприятия.

Анализ политики в области обеспечения экологической безопасности АО «Газпром» позволил установить устойчивую платформу для реализации мер по защите и охране окружающей среды. Обязательное внедрение на объектах нефтегазового комплекса экологической системы менеджмента, должна определять принципы и операции контроля рисков во всем промышленном цикле АО «Газпром».

### **1.3 Особенности управления состоянием воздушной среды на территории нефтегазового комплекса**

Для каждого проекта в нефтегазовой отрасли должна быть разработана стратегия развития в зависимости от сформулированных проблем и задач мониторинга состояния окружающей среды [8]. В связи с актуальностью внедрения системы экологического менеджмента на всех объектах нефтегазового и химического комплекса в РФ необходимо рассмотреть её механизмы и особенности реализации.

В целом процесс реализации государственного экологического менеджмента и развития технологий в нефтегазовой отрасли можно разделить на два основных этапа. Первый из них - это мониторинг соответствия хозяйственной деятельности экологическим нормам и стандартам. Вторым этапом является разработка концепции снижения вредного воздействия на окружающую среду путем предотвращения, идентификации и снижения выбросов [9].

Перспективу внедрения системы экологического менеджмента определяют государственные программы устойчивого развития с учетом

минимизации вреда окружающей природной среде, в частности создание и организация специальных программ развития, в рамках которых стимулируются экологические инновации.

Система экологического менеджмента согласно ISO 14001 представлена на рисунке 4 [6]:



Рисунок 4 – Система экологического менеджмента согласно ISO 14001

В систему экологического менеджмента согласно ISO 14001 входят следующие взаимосвязанные между собой этапы:

- анализ руководства предприятия на основе стратегии создания концепции экологической безопасности функционирования предприятия;
- непрерывное улучшение технологического цикла с нанесением минимального вреда окружающей среде, основанное на политике системы экологического менеджмента;

- разработка и планирование экологических программ по снижению воздействия на все объекты окружающей среды;
- контроль процессов управления ресурсами согласно модели внедрения функционирования системы экологического менеджмента;
- регулярный мониторинг и аудит негативного воздействия на все объекты окружающей среды на основе оценки соответствия требованиям нормативно-технической документации;
- установление корректирующих и предупреждающих действий по оценке рисков негативного воздействия на окружающую среду, как платформа общего улучшения экологического фона на территории нефтегазового и химического комплекса.

Различные программы и постановления Правительства РФ, разрабатываемые конкретно для предприятий нефтегазовой отрасли, способствуют оценке и стимулированию инновационной деятельности и оптимизации технологий, направленных на стратегию экологической устойчивости. Важной частью устойчивого роста в данном контексте являются алгоритмы и процессы управления состоянием всех элементов окружающей среды (воздушной, водной). Экологическая эффективность при этом будет способствовать оптимизации экологических показателей предприятий [10].

Внедрение систем экологического менеджмента согласно ISO 14001 на всех предприятиях нефтегазового и химического комплекса будет способствовать созданию новых более «чистых» производственных процессов и новых «экологических продуктов», а также сокращению отходов, внедрению безотходных и безопасных технологий [13].

Баланс между экономическим развитием и экологической устойчивостью является одной из главных задач современного менеджмента в нефтегазовой отрасли. Многие уже достигнуто, но отрасль признает, что можно достичь еще большего. Компания, которая стремится быть

устойчивой на рынке, должна следовать принципам обучающегося бизнеса. Мы живем в мире, который все больше определяется проблемами устойчивого развития, такими как энергетическая безопасность, изменение климата, деградация экосистем. Эти проблемы становятся ключевыми для конкурентоспособности бизнеса и долгосрочного успеха [1]. В этой связи в рамках реализации системы экологического менеджмента на объектах нефтегазового комплекса необходимо внедрение систем мониторинга выбросов (рисунок 5) [20].



Рисунок 5 – Системы мониторинга выбросов на территории нефтегазового комплекса

К основным системам мониторинга выбросов на территории нефтегазового комплекса относят:

- создание независимой лаборатории по контролю содержания ЛОС в воздушной среде нефтегазового комплекса;
- внедрение экоинформера с актуальной качественной и количественной информацией загрязняющих веществ, которые образуются в ходе технологического цикла нефтегазового комплекса;
- внедрение автоматизированных систем мониторинга передачи информации состояния воздушной среды в надзорные органы.

Предложенные для внедрения системы мониторинга будут способствовать регулярному и непрерывному мониторингу состояния воздушной среды на территории нефтегазового и химического комплекса.

#### Выводы по разделу 1

Рассмотренные особенности технологического процесса нефтегазового комплекса и его влияние на состояние окружающей среды еще раз подчеркивают важность интеграции уже существующих направлений в области экологической безопасности с системой экологического менеджмента. Помимо теоретических алгоритмов функционирования экологического менеджмента важно еще и практическое его значение. Так, разработка новых универсальных устройств с определенными преимуществами для идентификации ЛОС на территории нефтегазового и химического комплекса, как элемент мониторинга и аудита в структуре экологического менеджмента будет иметь важное значение для регионов и РФ в целом. В данном контексте для регулярного контроля выбросов на территории нефтегазового и химического комплекса необходимо использование современного аналитического оборудования, обладающего явными преимуществами уже существующих средств контроля.

## **2 Анализ и выбор существующих технических решений в области контроля за состоянием воздушной среды на территории ПАО «Газпром»**

Технологический цикл получения нефти сопровождается вредным воздействием на окружающую среду. Сжигание факелов природного газа, являясь обычным явлением разведки нефтяных и газовых месторождений способствует загрязнению атмосферного воздуха сульфидами, диоксидами углерода и другими химически агрессивными соединениями. Вблизи лежащих территорий разведки нефти и газа в радиусе около 250 метров исчезает вся флора, при этом наблюдается абсолютное высыхание всех деревьев. Это не единственное отрицательное воздействие таких предприятий на окружающую среду. На примере отдельных субъектов РФ экологическая безопасность объектов нефтегазового комплекса остается одним из важнейших направлений деятельности компаний, добывающих углеводороды.

К современным направлениям в области деятельности нефтегазового комплекса относят: выявление дополнительных запасов углеводородов и эффективный доступ к их резервам; поддержание и улучшение существующих технологий добычи полезных ископаемых; улучшение экологического состояния и контроля выбросов в воздушной среде [12].

В настоящее время многие предприятия нефтегазового комплекса сталкиваются с необходимостью разработки инновационных решений и вклада огромных средств в НИОКР для систематизации эффективных инструментов контроля содержания и минимизации выбросов. Проект коммерциализации технологий по снижению содержания выбросов в окружающую среду представляет собой комплексную программу общенациональной стратегии инновационного развития и управления охраной окружающей среды. Неоспоримым преимуществом таких проектов

является возможность управлять охраной окружающей среды на стадии инновационного развития, генерируя новые конкурентоспособные технологии в рамках научной базы [11].

Местоположение ПАО «Газпром» г. Свободный Амурской области характеризуется суровыми климатическими условиями: абсолютный температурный минимум составляет 52,6 °С, среднее значение абсолютных минимумов составляет 46,9 °С, а среднее количество дней со стабильным снежным покровом составляет 232 дня. Исследуемый район расположен в зоне тундровых глеевых почв и подпочв субарктики и представлен торфяно-болотными, тундровыми иллювиально-гумусовыми и тундровыми глеевыми почвами. Суровые климатические условия способствуют медленному восстановлению экосистем и «уязвимости» северной природы, что требует своевременной оценки воздействия нефтегазовых объектов на природные ландшафты северных территорий, а также оценки экологических и экономических рисков предотвращения и раннего предупреждения от последствий хранения и транспортировки нефти и газа.

ООПТ на территории ПАО «Газпром» созданы для сохранения биоразнообразия и борьбы с опустыниванием территории. Нынешний этап развития сектора экологических НПО на территории ПАО «Газпром» определяется вовлечением большего числа организаций-волонтеров, стремящихся принимать правильные экологические решения на различных этапах технологического процесса. Взаимодействие таких объектов дает возможность реализации сотрудничества с государственными органами и международными организациями в области охраны окружающей среды [15]-[20].

Основными выбросами на территории ПАО «Газпром» являются ПАУ и ЛОС. ПАУ включают более 100 химических веществ, некоторые из которых содержатся в каменноугольной смоле и нефти. Твердые частицы, содержащиеся в воздушной среде, переходят из пыли и выхлопных газов. Своевременный контроль состояния воздушной среды на территории

ПАО «Газпром» является стратегической задачей специалистов по охране окружающей среды данного предприятия [25].

Своевременный мониторинг воздуха требует использование высокопроизводительных аналитических приборов. Классический метод характеристики ЛОС в воздухе заключается в выполнении выборки, а затем анализе партий воздуха в лаборатории при помощи приборов ГХ. Такой метод носит название забор анализируемого материала «вне площадки». Безусловно данный метод имеет недостаток, выражаемый в транспортировке образца и появлении риска погрешности полученных данных. Актуальным вектором в данном направлении является сокращение времени анализа путем упрощения процессов отбора проб и разработка переносных устройств газовых анализаторов, определяющих одновременно от 5 до 10 ЛОС (ПАУ). В этом случае мобильный анализатор должен отвечать следующим критериям: простота в использовании, компактность, быстрота идентификации и невысокая погрешность измерения ЛОС [31].

Большинство ЛОС при сгорании в воздушно-водородном пламени испускают определенное количество ионов, которое пропорционально числу сожженных атомов углерода. Данный аспект затрудняет получение достоверных результатов при обнаружении ЛОС «вне площадки». Коэффициент отклика органических веществ в аналитическом оборудовании различается в зависимости от функциональных групп молекул. Можно анализировать любой углеводород с помощью калиброванных устройств с использованием стандартной смеси воздух-метан, но в таком случае результат выражается в эквиваленте «мг/м<sup>3</sup> метана». Реакция детектора ионизации пламени относительно стабильная во времени и эквивалентна для алканов и ароматических углеводородов (0,1 мг / м<sup>3</sup> для анализатора Mercury 901). Таким образом, для правильного установления количественного значения обнаруженных в воздушной среде ЛОС необходимо построение калибровочных кривых и определение формул их зависимости.



В основном для идентификации ЛОС используют ГХ. Большинство ЛОС поглощаются в ближнем инфракрасном диапазоне при длине волны 3,4 мкм. Сам процесс идентификации ЛОС при помощи инфракрасных спектров приводит к изменению давления в резервуаре при продвижении потока воздуха, что может привести к получению недостоверных результатов.

При выборе анализатора воздушной среды для качественного и количественного определения ЛОС (ПАУ) на территории нефтегазовой отрасли были протестированы разные приборы, в том числе масс-спектрометр, принцип действия которого основан на циклотронном ионном резонансе. Установлено, что производительность полевых масс-спектрометров в первую очередь зависит от условий вакуума, полученных внутри приборов, а также используемых методов отбора проб и ионизации [33]-[34].

Масс-спектрометрия позволяет анализировать все ЛОС, присутствующие в воздухе. Этот метод характеризуется большой динамикой измерений, и возможностью анализа в реальном времени. Эти неотъемлемые качества делают масс-спектрометр универсальным устройством, идеально подходящим для анализа в конкретном месте.

Спектрометр подвижности ионов, также называемый плазменным хроматографом, обеспечивает высокую селективность и быстрый режим отклика. В отличие от масс-спектрометрии, ГХ работает при атмосферном давлении. Анализируемый воздух всасывается через мембрану прибора и изолируется от загрязняющих веществ, которые попадают в камеру ионизации самостоятельно. ЛОС ионизируются, например, источником трития, затем микропроцессор позволяет идентифицировать и рассчитать его концентрацию при помощи построения калибровочных кривых зависимости содержания того или иного ЛОС от условий окружающей среды (температуры, плотности и давления воздуха).

Спектрометр состоит из двух больших датчиков, необходимых для идентификации и количественного определения газообразных органических веществ. Принцип действия датчиков основан на химической реакции ЛОС с чувствительными его элементами, что позволяет более быстро идентифицировать химические вещества [35]-[36].

Для обнаружения ЛОС возможно также использование оптических сенсорных химических волокон. Данный метод, основан на флуоресцентной или фосфоресцентной спектроскопии. В процессе такой работы происходит идентификация фотолюминесценции молекул при освещении источником света заданной длины волны и передача возбуждающих и излучающих световых лучей с помощью волоконно-оптической технологии [37]. Такой метод специфичен для определения таких загрязнителей воздушной среды, как бензол, толуол, этилбензол, ксилол и другие фенолы. Среди современных аналитических приборов для качественного и количественного определения ЛОС, газовая хроматография остается лучшим аналитическим оборудованием с точки зрения эффективности и точности получаемых результатов измерений.

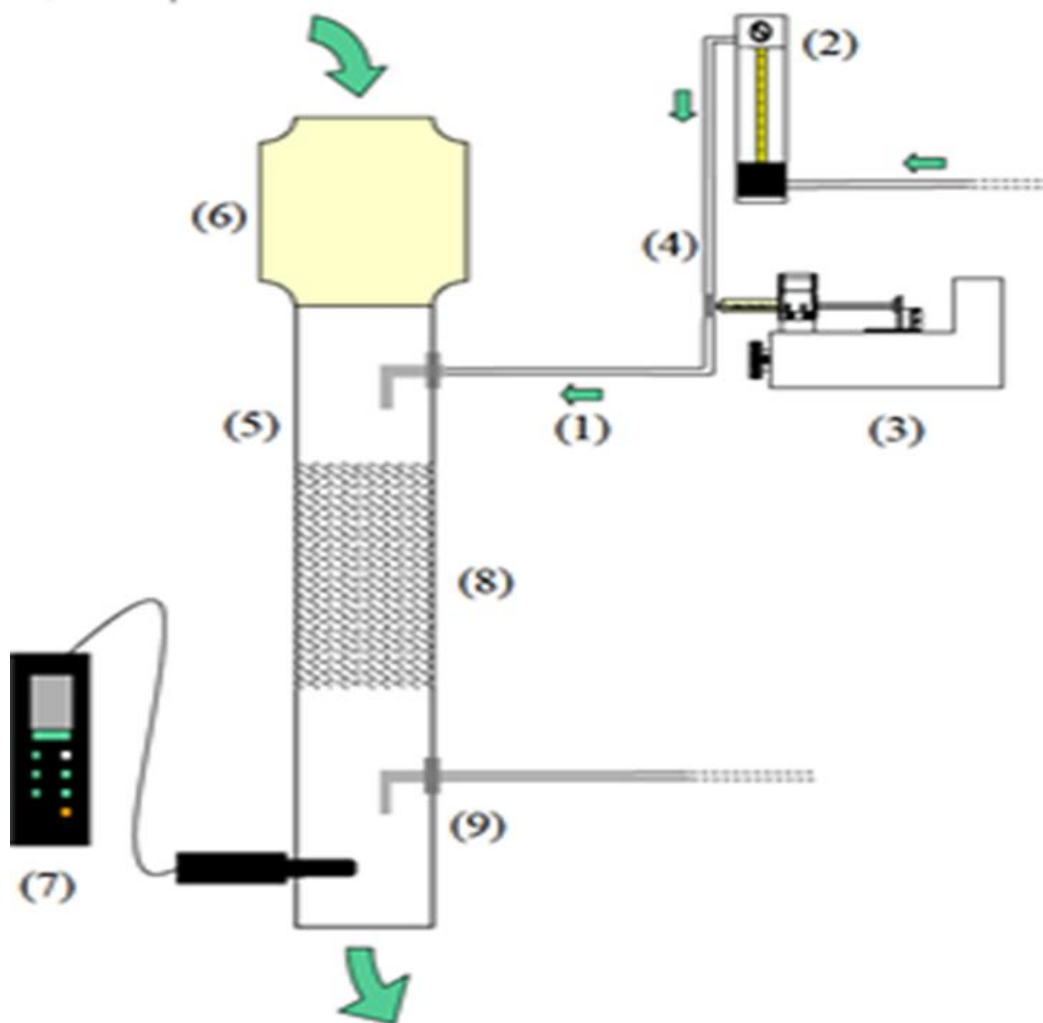
Газовая хроматография (ГХ) - это метод неразрушающего разделения молекул, основанный на распределении их между газовой подвижной и стационарной фазой внутри капиллярной колонки прибора, с помощью которой происходит перемещение образца к чувствительному элементу [51]. Этот метод предназначен не только для молекул в газовом состоянии, но и для любого соединения, которое может испаряться без разложения с учетом высоких температур проведения анализа (в том числе в летний период).

Разделение всех атмосферных органических соединений не может быть выполнено на одной хроматографической колонке, какой бы эффективной она ни была [38]. Этот факт снижает возможности идентификации нескольких ЛОС в воздушной среде.

Газовую хроматографию иногда называют парофазной или газожидкостной разделительной хроматографией. Эти альтернативные

названия, а также соответствующие им сокращения, часто используются в научной литературе [39]. Типичные области применения такого прибора включают тестирование чистоты конкретного вещества или разделение различных компонентов смеси на составляющие ЛОС.

Наиболее простым ГХ является прибор «Хроматэк ПВ-2», представленный на рисунке 6.



- 1- первичный расход воздуха; 2- шариковый расходомер; 3- шприц-шприц; 4- трубка из тефлона; 5- основная трубка из нержавеющей стали; 6- вентилятор; 7- анемометр с датчиком горячей проволоки; 8- смесители статические; 9- точка отбора проб

Рисунок 6 - Схема газоанализатора Хроматэк ПВ-2

Хроматэк ПВ-2 может быть использован для получения чистых соединений из смеси проб воздуха. Основной особенностью таких

хроматографов является возможность проведения регулярных анализов на месте в течение нескольких дней без необходимости какого-либо дополнительного оборудования. В таких приборах колонка разделительной ГХ настроена на одно химически опасное вещество, поэтому специфика данного аналитического оборудования заключается в узком диапазоне измерения качественного состава воздушной среды.

Выбор хроматографических детекторов широк, но на практике лишь немногие из них используются как портативные приборы в связи с особенностями алгоритмов определения ЛОС.

Прямой анализ ЛОС возможен только в том случае, если их концентрации превышают пределы обнаружения аналитических систем [54].

ГХ является процессом разделения соединений в смеси путем введения газообразной или жидкой пробы в подвижную фазу, обычно называемую газом-носителем. Пропуская газ через неподвижную фазу происходит скрининг химических соединений, при этом подвижная фаза прибора состоит из инертного газа (гелия, аргона, азота или водорода) [30]. Стационарная фаза прибора представляет собой микроскопический слой вязкой жидкости на поверхности твердых частиц внутри стеклянной или металлической трубки (колонки).

Для контроля состояния воздушной среды используют газоанализатор 623 ПИ 05, который состоит из основной части, пламенно-ионизационного детектора и электрической части. В пламенно-ионизационном детекторе информативность параметров концентрации органических веществ в образце преобразуется в ток ионизации. Отличительной особенностью устройства является использование ионов водорода для оптимальной работы аккумулятора.

Портативный пламенно-ионизационный газоанализатор 623 ПИ 05 представлен на рисунке 7.



Рисунок 7 - Газоанализатор 623 ПИ 05

Электрическая часть газоанализатора выполняет следующие функции:

- преобразование и усиление выходного сигнала;
- индикация измерительной информации и формирование выходных сигналов;
- контроль горения и автоматический розжиг пламени водорода;
- контроль напряжения аккумуляторной батареи.

Обычно на территории нефтегазового комплекса используют портативные газовые анализаторы фирмы Ultramat, Oximat, Siprocess различных модификаций (рисунок 8-13).

Ultramat 23 - чрезвычайно экономичный и компактный многокомпонентный газоанализатор, который также подходит для мониторинга выбросов.

Он использует технологию недиспергирующего инфракрасного анализатора для мониторинга трех активных инфракрасных компонентов и, опционально, электрохимическую или парамагнитную колонку для измерения содержания кислорода (рисунок 8).



Рисунок 8 – Газовый анализатор марки Ultramat 23

Технические характеристики газового анализатора представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Технические характеристики газового анализатора Ultramat 23

Характеристика	Особенности анализа
Измерение	Концентрация до четырех компонентов одновременно CO, NO, SO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>
Принцип измерения	Недисперсионная инфракрасная спектроскопия
Типичные диапазоны измерения	CO: 0-2500 мг/м <sup>3</sup>
	NO: 0- 4000 мг/м <sup>3</sup>
	SO <sub>2</sub> : 0 -200 мг/м <sup>3</sup>
	O <sub>2</sub> : 0-100 об., %

Ultramat 6 определяет до четырех компонентов инфракрасного активного газа в одном устройстве. Разработанный для требовательных

приложений, прибор соответствует самым высоким стандартам в отношении надежности и качества измерения (рисунок 9).



Рисунок 9 – Газовый анализатор марки Ultramat 6

Технические характеристики газового анализатора Ultramat 6 представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Технические характеристики газового анализатора Ultramat 6

Характеристика	Особенности анализа
Измерение	Концентрация до четырех компонентов одновременно CO, NO, SO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>
Принцип измерения	Спектроскопия
Типичные диапазоны измерения	CO: 0-50 мг/м <sup>3</sup>
	NO: 0-100 мг/м <sup>3</sup>
	SO <sub>2</sub> : 0-75 мг/м <sup>3</sup>
	O <sub>2</sub> : 5-45 °С

Охумат 6 измеряет содержание кислорода с помощью парамагнитной технологии переменного давления. Это обеспечивает идеальную линейность и возможность параметризации минимальных диапазонов измерения (рисунок 10).



Рисунок 10 – Газовый анализатор марки Охумат 6

Технические характеристики газового анализатора Охумат 6 представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Технические характеристики газового анализатора Охумат 6

Характеристика	Особенности анализа
Измерение	Концентрация O <sub>2</sub>
Принцип измерения	Парамагнитный принцип переменного давления
Типичные диапазоны измерения	0 ... 5 об. % и 0 ... 25 об. %

Siprocess UV600 — газоанализатор с экстрактивным УФ-излучением для одновременного измерения до трех компонентов. Он предназначен для чрезвычайно селективного измерения NO с малыми диапазонами измерения, а также подходит для определения других газов, активных в ультрафиолетовом излучении, например, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>S.



Изображение газового анализатора марки Siprocess UV600 представлено на рисунке 11.



Рисунок 11 – Газовый анализатор марки Siprocess UV600

Технические характеристики газового анализатора Siprocess UV600 представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Технические характеристики газового анализатора Siprocess UV600

Характеристика	Особенности анализа
Измерение	Концентрация до трех компонентов одновременно: NO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S
Принцип измерения	Парамагнитный принцип переменного давления
Типичные диапазоны измерения	NO: 0 - 400 мг/м <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> : 0- 2 000 мг/м <sup>3</sup> SO <sub>2</sub> : 0- 2 600 мг/м <sup>3</sup> H <sub>2</sub> S: 0- 500 мг/м <sup>3</sup>

Диодный лазерный газоанализатор LDS 6 основан на особом принципе поглощения света различными компонентами газа, на который не влияют перекрестные помехи. LDS 6 подходит для быстрого измерения

концентрации газа в технологических и дымовых газах на месте (рисунок 12).



Рисунок 12 – Газовый анализатор марки LDS 6

Технические характеристики газового анализатора LDS 6 представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Технические характеристики газового анализатора LDS 6

Характеристика	Особенности анализа
Измерение	Концентрация NH <sub>3</sub> , HCl, HF
Принцип измерения	Спектрометрия поглощения с перестраиваемым диодным лазером
Типичные диапазоны измерения	NH <sub>3</sub> : 0-20 мг/м <sup>3</sup> HCl: 0-90 мг/м <sup>3</sup> HF: 0-5 мг/м <sup>3</sup>

Все портативные газовые анализаторы дополнительно снабжены аспираторами для забора проб воздушной среды на территории нефтегазового комплекса.

Для определения концентрации пыли (твердых веществ) на территории нефтегазового комплекса применяют системы мониторинга выбросов пыли (лазерные анализаторы), которые состоят из измерительной головки,

отражателя, блока подачи продувочного воздуха и отражателя нулевой точки (рисунок 13).

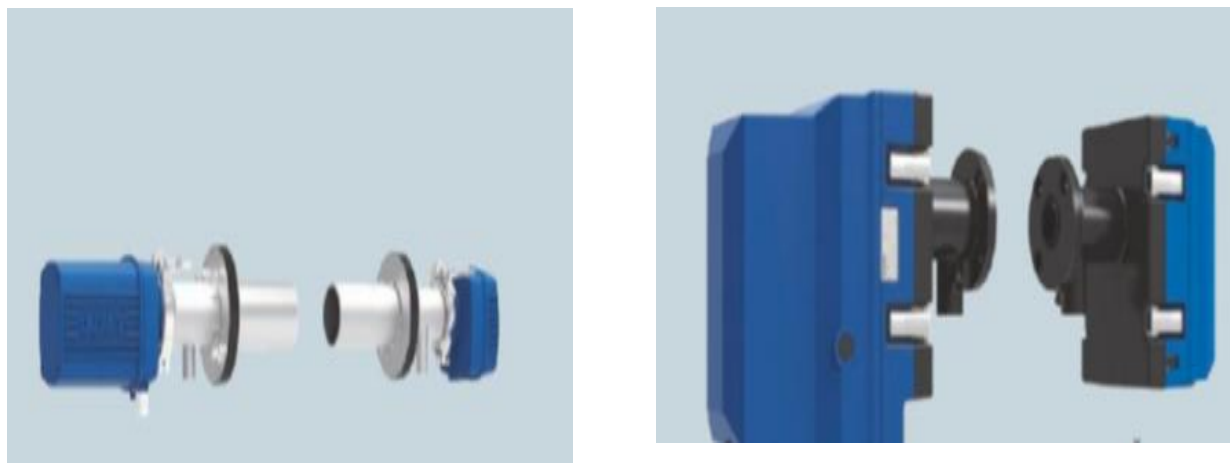


Рисунок 13 – Лазерный анализатор пыли

В системе используется принцип двухпроходного светоослабления. Система мониторинга выбросов пыли предназначена для контроля малых и средних концентраций пыли (20-50 мг/м<sup>3</sup>) при длине измерительного пути не более 5 м.

#### Выводы по разделу 2

В ходе выполнения работы рассмотрены семь основных газовых анализаторов, используемых на территории ПАО «Газпром». Данные портативные анализаторы, безусловно, имеют ряд преимуществ в использовании при идентификации ЛОС. Однако, ограниченный диапазон их измерений в качественном соотношении ЛОС (от 3 до 5) способствует необходимости использования нескольких анализаторов одновременно в конкретных точках объекта для расширения спектра ЛОС. Таким образом, в настоящее время перед службами экологического контроля в нефтегазовой отрасли совместно с НИОКР стоит задача разработки портативного газового анализатора расширенного спектра действия в области одновременного обнаружения максимального количества ЛОС.

### **3 Оценка содержания вредных веществ на территории объектов нефтегазовой отрасли с использованием средств газового анализа (переносных газоанализаторов)**

#### **3.1 Разработка универсального устройства для оценки содержания вредных веществ на территории объектов нефтегазовой отрасли с использованием средств газового анализа**

В настоящее время традиционные методы анализа воздуха, разработанные в течение нескольких десятков лет, имеют некоторые недостатки: либо приборы слишком чувствительны и, могут обнаруживать только один тип загрязнения, либо метод заключается в том, чтобы сначала улавливать загрязняющие вещества, а затем транспортировать образец в лабораторию для анализа. Хотя по сути такой способ является длительным и менее безопасным. В этом контексте весьма актуальна разработка переносного газового анализатора, обладающего определенными преимуществами мобильной аналитической техники, открывающей новые перспективы в области анализа воздуха.

В газовом анализе могут использоваться различные технологии спектроскопии с перестраиваемым диодным лазером, для проведения скрининга кислорода и оксидов химических веществ в пробах воздуха. Благодаря газовому анализу возможно проведение скрининга дымовых газов и мониторинга пыли на исследуемом объекте. Выбор правильной технологии определения ЛОС имеет решающее значение для точности, надежности и долговечности измерений, а также разработки мероприятий по минимизации их содержания в воздушной среде [41]-[42].

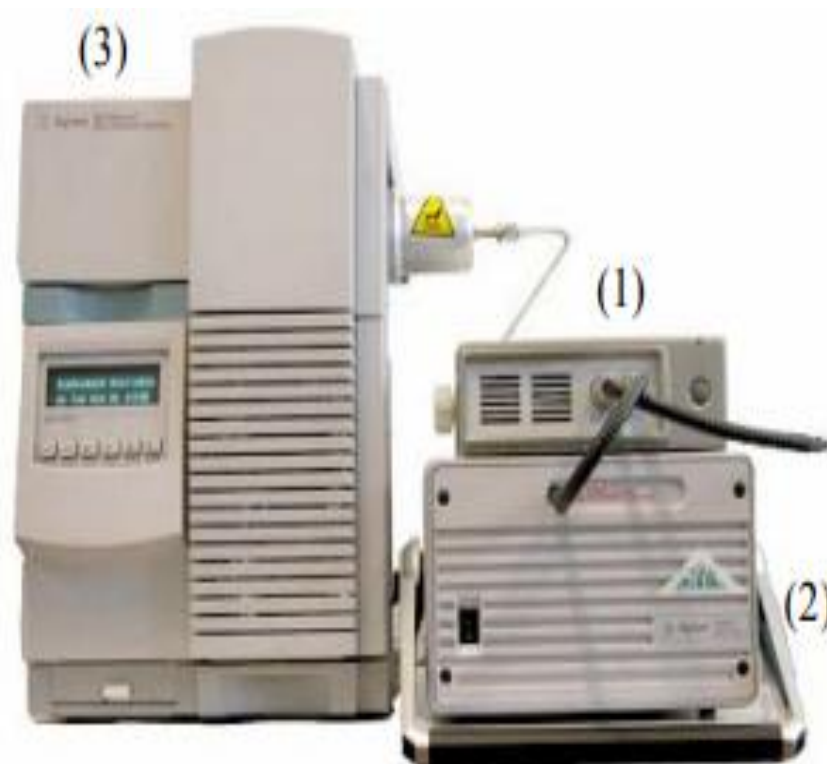
ЛОС играют центральную роль в фотохимическом загрязнении воздуха, результатом которого является образование озонового слоя Земли [44]. Отслеживание ЛОС в воздухе стало необходимостью из-за их вредного воздействия на экосистему и здоровье населения [45].

Следует отметить, что для мониторинга воздуха на территории нефтегазового комплекса требуются эффективные аналитические приборы быстрой идентификации токсичных и вредных загрязняющих веществ. Превышение предельно-допустимых концентраций таких веществ ставит под угрозу здоровье людей на рабочих местах.

Промышленные предприятия все более часто ориентируются на дешевые и доступные системы идентификации химических соединений в различных средах. Текущая тенденция заключается в попытке сокращения времени анализа за счет упрощения процесса отбора проб воздушной среды и разработки устройств для идентификации ЛОС в конкретной точке местности. В этом случае полевой анализатор должен соответствовать ряду критериев, включая скорость анализа, малый вес, компактность и мгновенность определения химических соединений [43].

Микрохроматограф - это быстрый и эффективный газоанализатор, который обеспечивает разделение различных компонентов газовой смеси менее чем за три минуты с помощью метода газовой хроматографии [46]. Детектор ГХ представляет собой неразрушающий микрокатарометр, соединенный с квадрупольным масс-спектрометром, который представляет возможность идентификации каждого отдельного соединения воздушной среды. Соединение двух приборов (ГХ и масс-спектрометра), основанных на совершенно разных аналитических принципах и работающих на основе одного и того же образца позволяет идентифицировать в воздушной среде от 5-10 ЛОС.

Разработанный вместе с научно-образовательным центром Химия и химическая технология Амурского государственного университета анализатор получен в результате соединения предконцентратора ( $\mu$ -TD), газового микрохроматографа с детектором катетометра ( $\mu$ -CG) и масс-спектрометра (SM) (рисунок 14).



1 -  $\mu$ -TD Airsense Analytics; 2 - микрохроматограф 3000 Agilent; 3 - масс-спектрометр Agilent 5973)) для работы на территории нефтегазового комплекса

Рисунок 14 - Портативный анализатор (соединение  $\mu$ -TD /  $\mu$ -CG / SM)

На первом этапе проведения анализа портативный анализатор позволяет проводить идентификацию следов летучих продуктов. Подсчет соединений, присутствующих в анализируемой газовой смеси, возможен с помощью метода сепарационной хроматографии, который располагается в детекторе катетометра. .

ГХ  $\mu$ -TD/ $\mu$ -CG/SM - это переносной анализатор, предназначенный для использования в полевых условиях, то есть в любой точке пространства. Анализатор позволяет в течение нескольких минут идентифицировать широкий спектр ЛОС. Полученный результат является как качественным, так и количественным. Связь двух аналитических приборов  $\mu$ -TD/ $\mu$ -CG/SM дает возможность проводить идентификацию на месте, без необходимости транспортировки образцов в лабораторию [48]. Портативное промышленное

оборудование в виде двух модифицированных приборов: микрохроматографа ( $\mu$ -CG) и масс-спектрометра (МС) может служить альтернативой компактного анализатора для обнаружения ЛОС.

Разработанный анализатор является прибором, соединяющим предконцентратор ( $\mu$ -TD) фазового микрохроматографа газа с детектором катетометра ( $\mu$ -CG) и масс-спектрометром (MS) [45].

На рисунке 15 представлен анализатор (соединение  $\mu$ -TD /  $\mu$ -CG / SM) [28] для работы в лабораторных условиях, который также выполняет решающую функцию способствуя установлению быстрого и надежного результата опыта образцов воздуха в лаборатории.



1 -  $\mu$ -TD Airsense Analytics; 2 - микрохроматограф 3000 Agilent; 3 - масс-спектрометр Agilent 5973

Рисунок 15 - Анализатор (соединение  $\mu$ -TD /  $\mu$ -CG / SM) для работы в лаборатории

Алгоритм работы разработанного портативного анализатора состоит из следующих стадий: образцы воздушной среды получают с помощью поршневого насоса из трубок с отобранными пробами, которые используются в термодесорбере  $\mu$ -TD. Размеры трубки из нержавеющей стали или стекла имеют внешний диаметр 6,3 мм, 5 мм внутренний диаметр и

длина трубки 90 мм. Масса адсорбента составляет примерно 200 мг. Образцы отбираются при комнатной температуре около 20 °С, из потока газа, циркулирующего в передающей линии. Объем образца воздушной среды составляет 0,75 до 1,20 литра [28]. После отбора образцов происходит анализ полного погружения проб воздуха в колонку хроматографа [48].

Чувствительный элемент колонки реагирует на ЛОС, присутствующих в воздухе в количественном и качественном соотношении при помощи пиков.

Газовый анализ в портативном анализаторе возможен благодаря разделительной хроматографии. Детектор катетометр позволяет количественно определять отдельные виды органических соединений. Анализатор позволяет за несколько минут провести анализ на месте в очень широком диапазоне. Полученный результат обладает качественными и количественными характеристиками.

Таким образом, соединение  $\mu$ -TD и  $\mu$ -CG / SM дает возможность объединить в полевых условиях элементы, которые способствуют установлению быстрой и полной диагностики, не требуя транспортировки образца. Связывание  $\mu$ -TD /  $\mu$ -CG / MS позволяет проследить эволюцию концентраций различных соединений, присутствующих в анализируемом воздухе в течение времени всего технологического цикла нефтегазовой отрасли. Связь  $\mu$ -TD /  $\mu$ -CG / SM также позволяет изучить влияние различных циклов производства на образование и выброс загрязняющих веществ в атмосферу [55].

В ходе проведения исследований по теме магистерской диссертации на территории ПАО «Газпром» г. Свободного в результате пробных запусков технологических линий была проведена апробация разработанного портативного анализатора. Образцы подвергались анализу с помощью газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией (аппарат 6890 GC/5973 MSD Agilent). Используемая хроматографическая колонка имела стационарную фазу (модель HP5-MS; длина - 30 мм; внутренний диаметр



0,25 мм; толщина фазы - 0,25 мкм). Предел обнаружения, полученный для ЛОС с помощью масс-спектрометра, составляет от 10 до 12 грамм в одном кубическом метре воздуха. Анализ происходит в режиме «полного сканирования» идентификации ЛОС [49].

Отбор проб на носителе Tenax TA™ осуществляется путем динамического отбора в различных участках выбранной местности. Затем полученный продукт экстрагировали термодесорбцией и полностью вводили в хроматографическую колонку. Результат количественного анализа воздушной среды на территории ПАО «Газпром» г. Свободного представлен на рисунке 16.

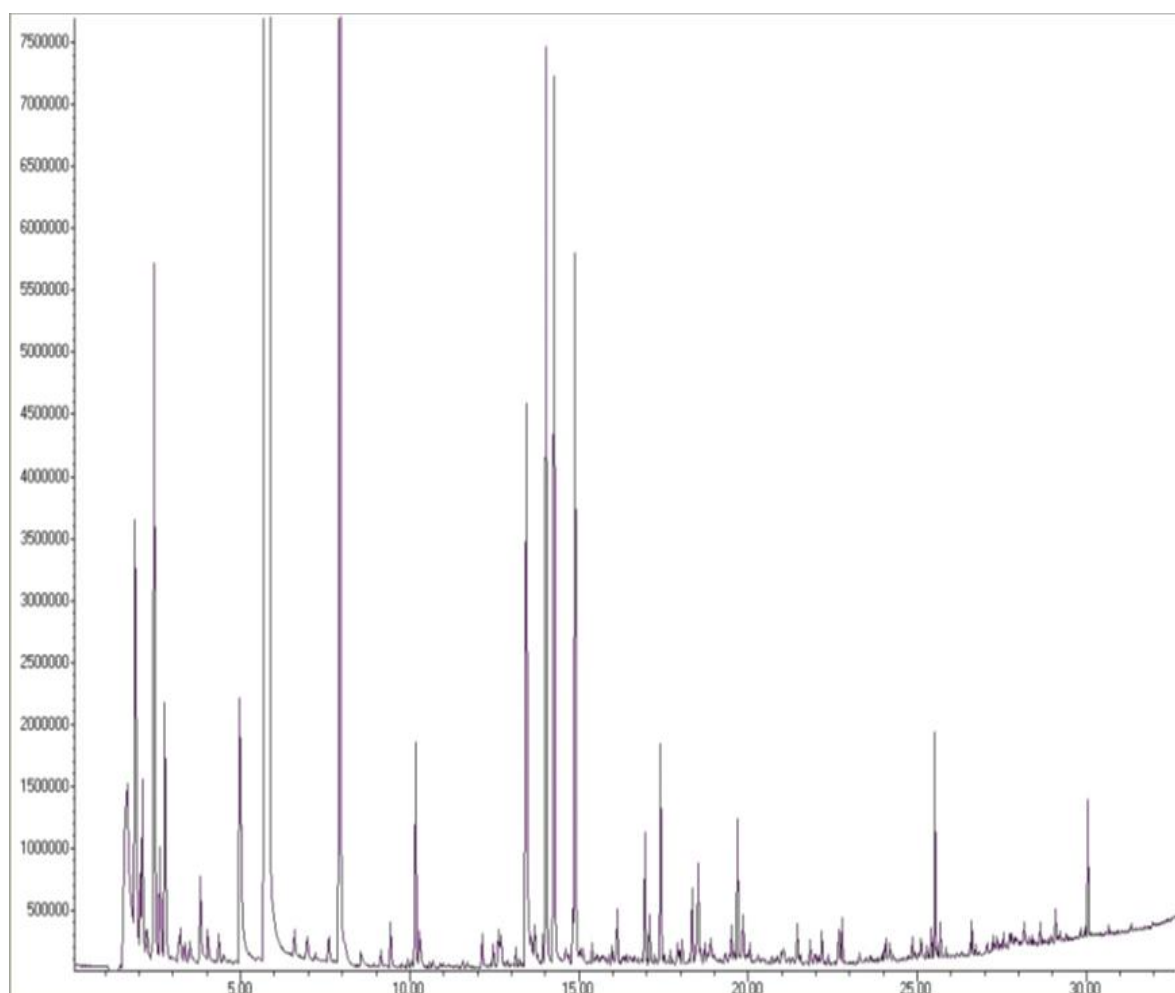


Рисунок 16 - Результат количественного анализа воздушной среды на территории на территории ПАО «Газпром» (содержание ацетона)

Пики, представленные на рисунке 16 соответствуют присутствию в воздушной среде ацетона. Другие продукты, менее летучие соединения были идентифицированы в воздушной среде (дихлорбензол и фенол), однако их концентрация существенно ниже концентрации ацетона.

Таким образом, пример иллюстрирует сложность исследуемой матрицы и возможности перечня аналитической лабораторной техники. Зная объем отбираемого газа и примерную концентрацию соединений в смеси, можно вывести теоретически фиксированное количество продукта, необходимое для проведения исследований при помощи использования калибровочных кривых. На том же в принципе, для каждого образца можно рассчитать концентрацию ЛОС, определяемую по количеству измеряемого продукта и объем образца [49].

Связь  $\mu$ -TD/ $\mu$ -CG/SM выполняет определенную функцию: способствует быстрой и надежной количественной и качественной диагностике содержания ЛОС в воздушной среде.

Образцы получают с помощью объемного насоса из пробоотборных трубок, аналогичных тем, которые используются с термодесорбером  $\mu$ -TD. Размеры труб из нержавеющей стали или стекла составляют 6,3 мм (1/4 дюйма) наружного диаметра, 5 мм внутреннего диаметра и 90 мм в длину. Масса адсорбента составляет около 200 мг Tenax TA™, размер частиц 60/80 мкм, удерживается с помощью сит из нержавеющей стали и колпачков из стекловаты. Отбор проб производится при комнатной температуре около 20 °С из воздушной среды на территории нефтегазового комплекса. Расход проб составляет от 50 до 150 мл. мин<sup>-1</sup>, а объем проб составляет от 0,75 до 1,20 литра. Термодесорбцию проводят с перефокусировкой во вторичной ловушке, охлажденной эффектом Пелетье [26].

Связь  $\mu$ -TD/ $\mu$ -CG/SM позволяет отслеживать изменения концентраций различных соединений, присутствующих в анализируемом воздухе. Анализатор позволяет непрерывно характеризовать выбросы загрязняющих

веществ. Связь  $\mu$ -TD/ $\mu$ -CG/SM также позволяет исследовать влияние различных производственных циклов завода на концентрацию выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Исследование состояния воздушной среды при помощи разработанного переносного газового анализатора имеет определенные преимущества: гигиена и безопасность в использовании, контроль технологических процессов, качественная и количественная идентификация ЛОС. Анализатор также возможно применять для скрининга воздушной среды в прилегающих жилых районах [50].

Проведенные исследования позволили установить, что концентрации ЛОС в атмосфере вокруг анализируемых участков Амурского газоперерабатывающего комплекса очень чувствительны к сезонным изменениям. Это наблюдение основано на том факте, что обнаруженное содержание ЛОС было выше летом, чем осенью или весной, что следует рассматривать как результат увеличения испарения ЛОС при более высокой температуре.

Для легколетучих соединений, таких как бензол и толуол, более низкая температура и безветренная погода в холодные месяцы года приводит к их высокой концентрации в указанный период. Например, при долгосрочных оценках ЛОС из-за сезонных колебаний их количество определяется с учетом метеорологических параметров и фотохимических реакций их взаимодействия.

Средняя концентрация общих ЛОС, определенных на территории Амурского газоперерабатывающего завода составляла  $297 \pm 372$  частей на миллиард, и основной вклад вносили алканы, на долю которых приходилось 87,5 % от общего количества ЛОС.

Содержание ЛОС Амурского газоперерабатывающего завода, установленная в ходе проведения испытаний показана на рисунке 17.

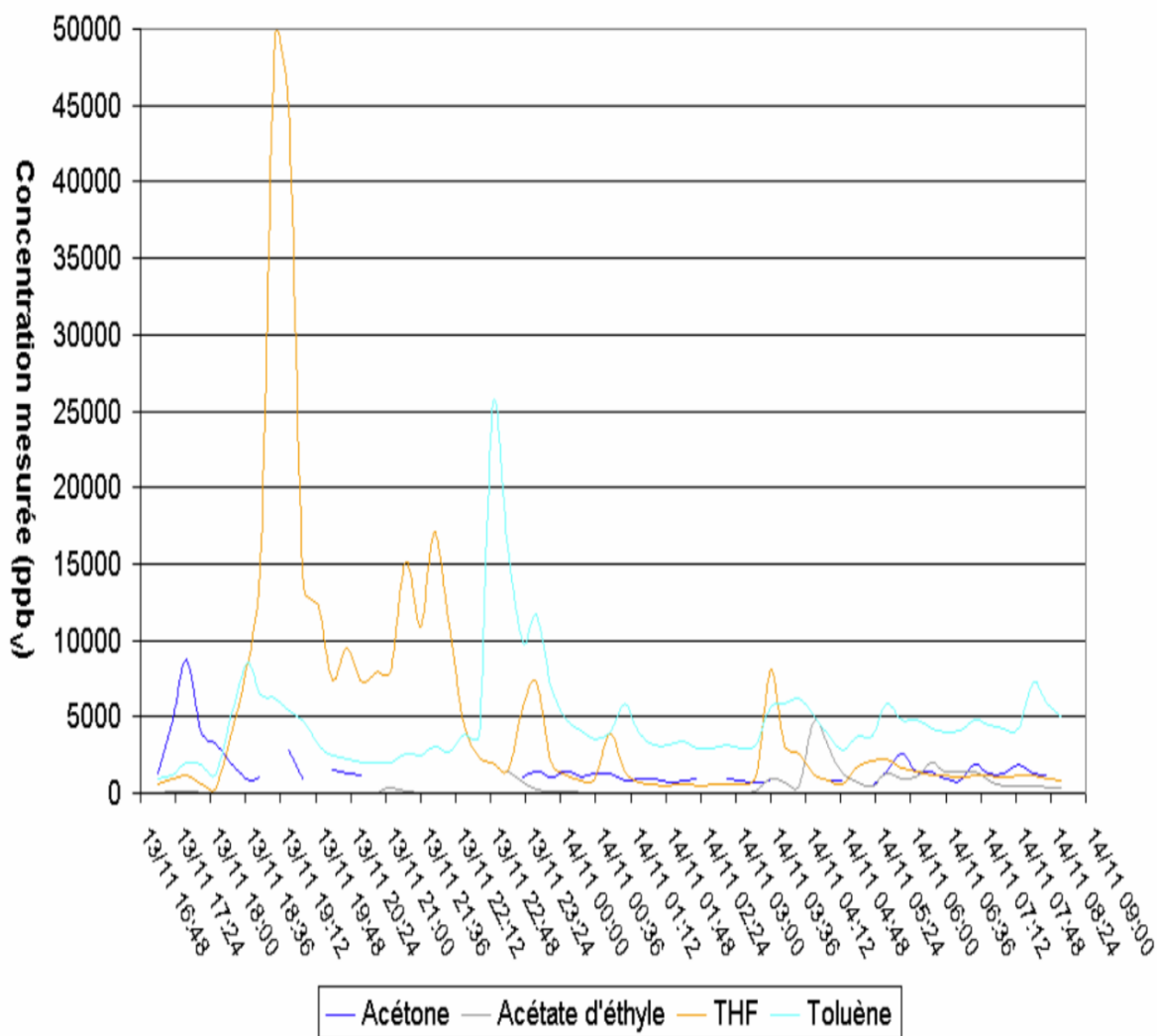


Рисунок 17 – Содержание ЛОС ПАО «Газпром» (синий цвет - ацетон, серый цвет - ацетат дифенил, желтый цвет-тетрагидрофуран, голубой цвет - толуол)

Согласно методам эквивалентной концентрации пропилена и методам максимальной приращенной реакционной способности алканы были определены как наиболее важные группы летучих органических соединений с точки зрения последующего перехода в озоновый слой воздушной среды.

Пять идентифицированных источников ЛОС демонстрировали различные суточные режимы из-за их разных режимов выбросов и влияния метеорологических параметров. Доминирующее содержание ЛОС на исследуемой территории ПАО «Газпром» составляли: ацетон, ацетат дифенил, тетрагидрофуран, толуол. Анализ положительной матричной

факторизации показал, что среднегодовые процессы переработки природного газа, испарение топлива, работы вспомогательных элементов технологического цикла за 2021-2022 гг. при анализе ЛОС на территории ПАО «Газпром» составили  $62,6 \pm 3,04$ ,  $21,5 \pm 0,99$ ,  $10,9 \pm 1,57$ ,  $3,8 \pm 0,50$  и  $1,3 \pm 0,69$  % соответственно. В этой связи немаловажным аспектом остается разработка комплекса мероприятий по снижению содержания ЛОС в воздушной среде на территории нефтегазового комплекса.

### **3.2 Анализ и оценка эффективности мероприятий по повышению экологической безопасности функционирования предприятия с точки зрения контроля содержания вредных веществ**

Известно, что переносимые по воздуху ЛОС оказывают сильное и неблагоприятное воздействие на здоровье человека и окружающую среду, способствуя образованию тропосферного озона. ЛОС могут улетучиваться на различных этапах переработки сырой нефти, от добычи до переработки, поэтому нефтедобывающая промышленность признана одним из основных источников выброса ЛОС в окружающую среду. Выбросы нефтегазовых заводов различаются в зависимости от вида деятельности. Резервуарные парки и технологические зоны кажутся крупнейшими источниками выбросов, при этом химические соединения класса алканов составляют наибольшую их часть.

Выбросы ЛОС можно уменьшить, внося изменения в технологические процессы. Так, сокращение пробега транспортных средств, приобретение экологически чистых материалов и повышение энергоэффективности является важнейшими современными направлениями в сфере обеспечения экологической безопасности.

Методы сокращения во многом зависят от конкретного процесса и использования ЛОС. В процессе производственного экологического

контроля атмосферного воздуха регулярному контролю подлежат следующие параметры и характеристики:

- технологические процессы и оборудование, связанные с образованием загрязняющих веществ;
- стационарные (организованные и неорганизованные) источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферу;
- передвижные источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферу;
- установки очистки отходящих газов;
- уровень загрязнения атмосферного воздуха в зоне влияния производственных объектов (на границе санитарно-защитных зон и ближайшей жилой застройки);
- твердые частицы и озон (основные компоненты смога), образующиеся в результате реакции других загрязняющих веществ в атмосфере. Кроме того, твердые частицы выбрасываются непосредственно в выхлопные газы бензиновых и дизельных автомобилей.

Перечень контролируемых загрязняющих веществ, периодичность контроля, схема размещения пунктов контроля должны быть определены на основании параметров и категорий источников выбросов, регламентируемых «Проектами нормативов предельно допустимых выбросов» и «Проектами обоснования размеров СЗЗ», согласованными в установленном порядке. При начале работы с контролем ЛОС для всех нефтеперерабатывающих заводов рекомендуется следующее:

- измерение общих выбросов ЛОС завода;
- использование онлайн и автоматизированных технологий контроля и утилизации выбросов;

- определение состава шлейфа с помощью современных средств газового анализа в частности разработанного переносного газового анализатора;
- поиск утечек / техническое обслуживание.

Если рассматривать более детально снижение ЛОС на территории нефтяного и газового комплекса, то часто встречаемые химические соединения возможно сократить несколькими различными способами:

- окись углерода и NOx - за счет установки в выхлопных газах двигателей каталитических нейтрализаторов (для преобразования монооксида углерода в двуокись углерода) и улавливателей NOx (для удаления NOx);
- оксиды серы (SOx, в основном диоксид серы, SO<sub>2</sub>) образуются главным образом при сжигании ископаемого топлива (особенно угля) в электростанциях и других промышленных объектах, нефтеперерабатывающие и перерабатывающие заводы также должны улавливать серу из нефти и газа, сокращая выбросы SOx при сжигании.

Таким образом, разработанный переносной газовый анализатор для портативного использования на территории нефтегазового комплекса имеет ряд преимуществ: одновременное обнаружение от 5-10 ЛОС; возможность портативного и стационарного его использования; небольшая погрешность в измерении. Данное устройство апробировано на территории ПАО «Газпром». В воздушной среде нефтегазового комплекса обнаружены ацетон, ацетат дифенил, тетрагидрофуран, толуол.

Оценка эффективности мероприятий может проводится по нескольким направлениям: социальная эффективность, экономическая эффективность [5]. Для расчета показателей экономической эффективности предлагаемых мероприятий необходимо предварительно составить план финансового обеспечения и смету (таблица 6).

Таблица 6 – План финансового обеспечения мероприятия

Наименование мероприятия	Основание	Стоимость, руб.	Срок реализации	Ответственный
Приобретение портативного газового анализатора для контроля состояния воздушной среды на территории нефтегазового комплекса	План мероприятий по улучшению контроля состояния воздушной среды на территории нефтегазового комплекса	2213520	1 кв. 2025 г.	Главный инженер

Таким образом, для приобретения портативного газового анализатора на предприятие, которые планируют его использование в процессе своей производственной деятельности потребуется 2213520 тысяч рублей. Смета расходов для приобретения портативного газового анализатора представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Смета расходов на мероприятие

Наименование рабочей зоны	Портативное устройство	Соединительные элементы	ИТОГО
Стоимость оборудования, руб.	2 213 520	120325	2 333 845
Стоимость доставки, руб.	40000	8000	48000
Стоимость монтажных работ, руб.	45744	75532	121276
Итоговая стоимость оснащения, руб.	2 299264	203857	2 503121

Основным инструментом, который поможет организации ответить на вопрос целесообразно ли проведения мероприятия и принять правильное решение, является расчет экономического эффекта. Экономический эффект от реализации мероприятия – это конечный результат, который возникает после реализации мероприятий и приводит к улучшению безопасности в организации либо позволяет минимизировать возможный ущерб:



$$\mathcal{E}_r = Y - Z, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}_r$  – годовой экономический эффект, руб.;

$Y$  – величина годового ущерба, потерь организации (например, от производственного травматизма), руб.;

$Z$  – затраты на реализацию мероприятия, руб.

Произведем расчет экономического эффекта от реализации предлагаемых мероприятий по годам:

$$\mathcal{E}_{r1} = 1236581 - 520640 = 715941$$

$$\mathcal{E}_{r2} = 1236581 - 275040 = 961541$$

$$\mathcal{E}_{r3} = 1236581 - 345040 = 891541$$

$$\mathcal{E}_{r4} = 1236581 - 231040 = 1005541$$

$$\mathcal{E}_{r5} = 1236581 - 235040 = 1001541$$

Основной целью расчета экономического эффекта является определение эффективности.

Эффективность - одна из характеристик качества мероприятия, которая отражает соотношение затрат и результатов внедрения с экономической точки зрения:

$$\mathcal{E} = \frac{Y}{Z}, \quad (2)$$

где  $\mathcal{E}$  – экономическая эффективность мероприятия.

Произведем расчет эффективности реализации предлагаемых мероприятий по годам:

$$\mathcal{E}_1 = \frac{1236581}{520610} = 2,375$$

$$\mathcal{E}_2 = \frac{1236581}{275040} = 4,496$$

$$\mathcal{E}_3 = \frac{1236581}{345040} = 3,583$$

$$\mathcal{E}_4 = \frac{1236581}{231040} = 5,352$$

$$\mathcal{E}_5 = \frac{1236581}{235040} = 5,261$$

Чистый экономический эффект сальдо денежного потока за расчетный период, то есть превышение стоимостных оценок конечных экономических результатов над совокупными затратами трудовых, материальных, финансовых и прочих ресурсов за расчётный период и рассчитывается по формуле:

$$\text{ЧЭЭ} = \sum \mathcal{E}_t - \mathcal{Z}_t, \quad (3)$$

где  $\mathcal{E}_t$  – результаты (эффекты, предотвращенный ущерб), достигнутые на  $t$ -ом шаге расчета;

$\mathcal{Z}_t$  – затраты, осуществляемые на этом шаге, включая капитальные вложения.

$$\text{ЧЭЭ}_1 = 715971 - 520610 = 195361$$

$$\text{ЧЭЭ}_2 = 961541 - 275040 = 686501$$

$$\text{ЧЭЭ}_3 = 891541 - 345040 = 546501$$

$$\text{ЧЭЭ}_4 = 1005541 - 231040 = 774501$$

$$\text{ЧЭЭ}_5 = 1001541 - 235040 = 766501$$

Таблица 8 – Интегральные показатели эффективности мероприятия

Наименование показателей	Значение показателей по годам, тыс. д. е.				
	1	2	3	4	5
Капитальные вложения	500600	250000	320000	210000	210000
Ежегодные затраты	20000	25000	25000	25000	25000
Амортизация	40	40	40	40	40
Эффект	2,375	4,496	3,583	5,352	5,261
ЧЭЭ	195361	686501	546501	774501	766501
Коэффициент дисконтирования	0,8097	0,6556	0,5309	0,4299	0,3481

Величина предотвращенного экономического ущерба от загрязнения среды:

$$\Pi = Y_1 - Y_2, \quad (4)$$

где  $\Pi$  – величина предотвращенного годового экономического ущерба от загрязнения среды;

$Y_1$  – ущерб от загрязнения окружающей среды до проведения мероприятий;

$Y_2$  – ущерб от загрязнения окружающей среды после проведения мероприятий.

Экономическая оценка ущерба от выбросов годовых объемов вредных веществ в природную среду (атмосферу, воду, землю) для отдельного источника до и после осуществления мероприятия:

$$Y = \gamma \cdot \sigma \cdot f \cdot M, \quad (5)$$

где  $\gamma$  – множитель, определяемый как удельный ущерб от выброса (сброса) вредных веществ, тыс. руб/усл. т;

$\sigma$  – показатель опасности загрязнения атмосферного воздуха над территориями различных типов;

$f$  – поправка, учитывающая характер рассеяния примеси в атмосфере, усл. т/год;

$M$  – приведенная масса годового выброса загрязнений из источника в природную среду, усл. т/год.

Так как на территории ПАО «Гахпром» были идентифицированы ацетон, ацетат дифенил, тетрагидрофуран и толуол экономическую оценку ущерба до проведения мероприятий проводили для этих веществ.

$$Y_1 = 280,5 \cdot 4 \cdot 3,4 \cdot 3225 = 12302730$$

$$Y_2 = 280,5 \cdot 4 \cdot 3,4 \cdot 2885 = 11005698$$

$$Y_3 = 280,5 \cdot 4 \cdot 3,4 \cdot 1789 = 6824677,2$$

$$Y_4 = 280,5 \cdot 4 \cdot 3,4 \cdot 2489 = 9495037,2$$

Ущерб от загрязнения окружающей среды после проведения мероприятий с учетом сокращения идентифицированных веществ в 2 раза составил:

$$Y_1 = 280,5 \cdot 4 \cdot 3,4 \cdot 1612,5 = 6151365$$

$$Y_2 = 280,5 \cdot 4 \cdot 3,4 \cdot 1442,5 = 5502849$$

$$Y_3 = 280,5 \cdot 4 \cdot 3,4 \cdot 894,5 = 3412338,6$$

$$Y_4 = 280,5 \cdot 4 \cdot 3,4 \cdot 1244,5 = 4747518,6$$

Величина предотвращенного экономического ущерба от загрязнения среды составит:

$$\Pi_1 = 12302730 - 6151365 = 6151365$$

$$\Pi_2 = 11005698 - 5502849 = 5502849$$

$$\Pi_3 = 6824677,2 - 3412338,6 = 3412338,6$$

$$\Pi_4 = 9495037,2 - 4747518,6 = 4747518,6$$

Приведенные затраты предлагаемых мероприятий составляют:

$$Z = C + E_n \cdot K, \quad (6)$$

где  $C$  – текущие расходы на эксплуатацию сооружения или устройства, руб.;

$E_n$  – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений средозащитного назначения;

$K$  – инвестиции на приобретение и установку очистных устройств, руб.

$$З = 2333845 + 0,12 \cdot 169276 = 2354158,12$$

Годовой экономический эффект от проведения природоохранных мероприятий, способствующих снижению загрязнения природной среды в районе источника:

$$\mathcal{E} = \Pi - З, \quad (7)$$

где  $З$  – величина приведенных затрат на проведение природоохранных мероприятий, руб.

$$\mathcal{E} = 19814071,2 - 2354158,12 = 17459913,08,$$

Общая (абсолютная) экономическая эффективность средозащитных затрат:

$$\mathcal{E}_3 = \mathcal{E} / З, \quad (8)$$

$$\mathcal{E}_3 = 17459913,08 / 2354158,12 = 7,42$$

Общая (абсолютная) экономическая эффективность инвестиций в природоохранные мероприятия:

$$\mathcal{E}_k = (\mathcal{E} - C) / K, \quad (9)$$

$$\mathcal{E}_k = (17459913,08 - 2333845) / 169276 = 89,4$$

Таким образом, экономическая эффективность предложенных мероприятий по идентификации и снижению выбросов ЛОС в воздушную среду на территории нефтегазового комплекса составит 89,4 %, что еще раз подчеркивает актуальность и перспективность предложенных мероприятий.

### Выводы по разделу 3

Разработан переносной газовый анализатор для контроля состояния воздушной среды на территории ПАО «Газпром» г. Свободный. Работа прибора основана на соединении приборов микрохроматографа Agilent 3000 и масс-спектрометра Agilent 5973. Прибором идентифицированы одновременно пять ЛОС: ацетон, ацетат дифенил, тетрагидрофуран, толуол. Предложены мероприятия по контролю состояния воздушной среды на территории ПАО «Газпром», которые заключаются в измерении общих выбросов ЛОС завода; использование онлайн и автоматизированных технологий контроля и утилизации выбросов; определение состава шлейфа с помощью современных средств газового анализа, в частности разработанного переносного газового анализатора; поиск утечек и современное техническое обслуживание всех элементов технологического цикла. Экономическая эффективность предложенных мероприятий по идентификации и снижению выбросов ЛОС в воздушную среду на территории нефтегазового комплекса составит 89,4 %,

## Заключение

Основы государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 года определили стандарты, направленные на сокращение выбросов ЛОС в атмосферу. Для мониторинга воздушной среды необходимы высокопроизводительные аналитические инструменты в виде портативных приборов с большим диапазоном измерений. Классический метод определения ЛОС в воздухе основан на заборе исследуемого материала в так называемых «полевых условиях» на открытом воздухе. Использование лабораторного инструментария во время забора имеет ряд недостатков, который, заключается в необходимости транспортировки образца, увеличивая риски изменения качественного состава, а также продолжительность анализа.

Определение концентраций ЛОС в воздухе до сих пор остается одной из главных задач, стоящих перед службами экологического мониторинга. Методы анализа при помощи газовых анализаторов воздуха способны дать результат, имеют ряд преимуществ по сравнению с классическими методами лабораторного анализа. Рассмотренные портативные в работе анализаторы, безусловно, имеют ряд преимуществ в использовании при идентификации ЛОС. Однако, ограниченный диапазон их измерений в качественном соотношении ЛОС (от 3 до 5) способствует необходимости использования нескольких анализаторов одновременно в конкретных точках объекта для расширения спектра ЛОС.

В разделе 1 рассмотрены особенности технологического процесса нефтегазового и химического комплекса и его влияние на состояние окружающей среды еще раз подчеркивают важность интеграции уже существующих направлений в области экологической безопасности с системой экологического менеджмента. Установлено, что для регулярного контроля выбросов на территории нефтегазового и химического комплекса необходимо использование современного аналитического оборудования,



обладающего явными преимуществами уже существующих средств контроля.

В разделе 2 представлены семь основных газовых анализаторов, используемых на территории ПАО «Газпром». Установлено, что данные портативные анализаторы имеют ограниченный диапазон измерений качественного состава ЛОС (от 3 до 5), что безусловно ставит задачу разработки портативного газового анализатора расширенного спектра действия в области обнаружения максимального количества ЛОС.

В разделе 3 разработан переносной газовый анализатор для контроля состояния воздушной среды ПАО «Газпром», работа которого основана на соединении приборов микрохроматографа Agilent 3000 и масс-спектрометр Agilent 5973. На территории предприятия идентифицированы ацетон, ацетат дифенил, тетрагидрофуран, толуол. Предложены мероприятия по контролю состояния воздушной среды на территории ПАО «Газпром». Экономическая эффективность предложенных мероприятий по идентификации и снижению выбросов ЛОС в воздушную среду на территории нефтегазового комплекса составит 89,4 %.

В ходе выполнения задач диссертационного исследования были получены следующие результаты:

- проанализированы основные аспекты охраны окружающей среды в нефтегазовом комплексе и выявлены основные выбросы ЛОС в воздушную среду (монооксид углерода, оксиды азота, оксиды серы, озон, свинец и другие);
- разработан переносной газовый анализатор для портативного использования на территории нефтегазового комплекса, основу которого составляют анализатор (соединение  $\mu$ -TD /  $\mu$ -CG / SM микрохроматографа Agilent 3000 и масс-спектрометра Agilent 5973);
- на территории нефтегазового комплекса (в исследуемом участке) при помощи разработанного переносного газового анализатора были обнаружены ацетон, ацетат дифенил, тетрагидрофуран, толуол;

- разработаны комплексные мероприятия по контролю состояния воздушной среды на территории нефтегазового комплекса: использование онлайн и автоматизированных технологий контроля и утилизации выбросов; определение состава шлейфа с помощью современных средств газового анализа; поиск утечек / техническое обслуживание;
- экономическая эффективность предложенных мероприятий по идентификации и снижению выбросов ЛОС в воздушную среду на территории нефтегазового комплекса составит 89,4 %.

Таким образом, выдвинутая в работе гипотеза подтверждена: если использовать переносной газовый хроматограф (разработанный нами портативный газовый анализатор) для идентификации ЛОС на территории нефтегазового комплекса, то повысится скрининг и возможность координации процесса выброса ЛОС в воздушную среду.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Абдрахманов Н. Х., Егоров А.М. Система постоянного контроля концентрации паров углеводородов в воздухе рабочей зоны // Безопасность труда в промышленности. 2017. № 10. С. 18-21.
2. Будников Б. О., Наполов О.Б. Охрана окружающей среды на объектах нефтегазового комплекса // Газовая промышленность. 2008. № 12 (625). С. 83.
3. Белов Л.М., Городничев В.А., Добрица Д.Б., Козинцев В.И. Сравнение методов обработки сигналов лазерного оптико-акустического анализатора для многокомпонентного анализа газовых смесей // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Приборостроение. 1998. № 3(31). С. 30-38.
4. Бикбаев Э. Р. Конструктивные особенности и свойства газовых сенсоров / Э. Р. Бикбаев // Научные высказывания. 2021. № 5(5). С. 23-25.
5. Горина Л.Н. Государственная итоговая аттестация магистра по направлению подготовки [Текст] «Техносферная безопасность». - Тольятти: изд-во ТГУ. 2016. – 267 с.
6. ГОСТ ISO 14001-2016 Национальный стандарт РФ. Системы экологического менеджмента. [Электронный ресурс]: URL <https://docs.cntd.ru/document/1200134681> (дата обращения 01.11. 2022).
7. Гилева Л. Н., Егорова, Н.В. Исследование и оценка воздействия объектов нефтегазового комплекса на окружающую природную среду северных территорий в целях предотвращения и снижения неблагоприятных техногенных последствий // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2019. № 1. С. 121-132.
8. Емельянчиков В. И., Елисеенко Ю.Ю. Развитие мониторинга промышленных выбросов стационарных источников загрязнения атмосферы. // Экологические системы и приборы. 2013. № 10. С. 3-8.

9. Имамутдинов З. М. Особенности правового регулирования охраны окружающей среды в нефтегазовом комплексе // Студенческий. 2020. № 41-3(127). С. 52-53.

10. Исаев Л., Москалев Д., Челибанов В. Лазерные анализаторы для контроля газовых выбросов // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2008. № S2. С. 35.

11. Илясов, Л. В. Автоматический трансфузионный анализатор концентрации водорода в многокомпонентных газовых средах / Л. В. Илясов // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2021. – № 2(10). – С. 70-76. – DOI 10.46573/2658-5030-2021-70-76. – EDN LBIVN.

12. Красников А. В., Максименко В.С. Освоение арктических нефтегазовых ресурсов российскими компаниями как инструмент инновационного импортозамещения // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2017. Т. 7. № 6А. С. 41-51.

13. Контроль воздушной среды на предприятиях нефтяной промышленности ИБТВ 1-087-81 [Электронный ресурс]: Отраслевая инструкция по утв. Министерством нефтяной промышленности (ред. от 23 октября 1981 г.) URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200088795> (дата обращения 01.06.2021).

14. Каменских С. В. Охрана окружающей природной среды на объектах нефтегазового комплекса Европейского Севера России: учеб. пособие для подгот. бакалавров, магистров и дипломир. специалистов по направлению 130500 "Нефтегазовое дело. УГТУ). – Ухта : Ухтин. гос. техн. ун-т, 2005. 203 с.

15. Методические указания по оформлению выпускных квалификационных работ по программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры. Тольятти: ТГУ. 2020. 39 с.

16. Мазеев В. А. К вопросу об оптимальных характеристиках фотоприемного устройства для трассового газового анализатора // Радиотехника и электроника. 2009. Т. 54. № 8. С. 1015-1019.

17. Мищенко Е. В. Устройство анализа газовой смеси в системе безопасности / Е. В. Мищенко // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. 2015. № 5-2. С. 80-84.

18. О промышленной безопасности опасных производственных объектов [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ (ред. от 11.06.2021). URL: <https://legalacts.ru/doc/federalnyi-zakon-ot-21071997-n-116-fz-o/> (дата обращения 01.11. 2022).

19. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 24.11.2014). URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34823/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/).

20. Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года: сайт. – 2021. – URL:<https://base.garant.ru/70169264/>. (дата обращения: 06.04.2021).

21. Поляков Р. Ю. Использование современных робототехнических средств для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха. // Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2020. 161 с.

22. Пискарев А. Н., Желтухина В.И. Мониторинг экологического состояния атмосферного воздуха г.Белгород // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК: Материалы Международной студенческой научной конференции, Майский, 24–25 февраля 2021 года. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2021. С. 117.

23. Постановление Правительства РФ от 03.03.2017 N 255 (ред. от 17.08.2020) «Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду» (вместе с "Правилами исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду»)

24. Падавалов Ю. А. Экология нефтегазового производства. М.: Инфа-Инженерия, 2010. 416 с.
25. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности [Электронный ресурс]: Приказ от 15 декабря 2020 года № 534. URL: (дата обращения 01.06.2022).
26. Убуката М. Новый газовый хромато-масс-спектрометр JMS-T200GC AccuTOF GCx с времяпролетным масс-анализатором высокого разрешения // Аналитика. 2017. № 1(32). С. 66-70.
27. Фролова Н.А., Козырь А.В. Анализ возможных аварийных ситуаций или отказов технических систем на участках выгрузки и хранения нефтепродуктов // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: материалы VII междун. науч.-практ. конф. Изд-во: Амирит, 2020. С. 225–227.
28. Фролова Н. А. Использование переносного газового анализатора в нефтегазовой отрасли // Экология и безопасность жизнедеятельности: Сборник статей XXI Международной научно-практической конференции, Пенза, 13–14 декабря 2021 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. С. 211-215.
29. Фролова Н. А., А.В. Козырь Анализ возможных аварийных ситуаций или отказов технических систем на участках выгрузки и хранения нефтепродуктов // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: Материалы VII Международной научно-практической конференции, Саратов, 17–19 марта 2020 года. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит". 2020. С. 225-228.
30. Юсупбеков Н. Р., Гулямов Ш. М., Банденок Е. Ю. Многокомпонентный газоанализатор электрохимического типа для селективного определения токсичных компонентов в газовых смесях // Промышленные АСУ и контроллеры. 2012. № 2. С. 42-44.
31. Angell, J.B.; Terry, S.C.; Barth, P.W. Silicon micromechanical devices. Scientific American 1983, April, 44-55.

32. Baltussen, Erik; Janssen, Hans-Gerd; Sandra, Pat; Cramers, Carel A. A new method for sorptive enrichment of gaseous samples: application in air analysis and natural gas characterization. *J. High Resol. Chromatogr.* 1997, 20, 385-393.
33. Bruneau, C.; Soyer, N.; Brault, A.; Kerfanto, M. Thermal degradation of tri-n-butyl phosphate // *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 1981. pp 71-81.
34. Burroughs, G. E.; Woodfin W. J. On-site screening for benzene in complex environments. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1995, 56, 874-882.
35. Bohatka, S.; Langer, G.; Szilagyi, J.; Berecz, I. Gas concentration determination in fermentors with quadrupole mass spectrometer. *Int. J. Mass Spectrom. Ion. Phys.* 1983, 48, 277.
36. Capuano A., Creasy Kenneth E. Method for detecting a vapor of an alkyl ester of phosphoric acid in ambient air // *United States Patent. US 5342786.* 1994. pp 14-16.
37. Ciccioilli, P. VOCs and air pollution, in H. J. Th. Bloemer and J. Burn (eds), *Chemistry and Analysis of Volatile Organic Compounds in the Environment*, Blackie Academic & Professional 1992. 23-174.
38. De Lijser, Mulder P., Louw, R. Thermal and acid catalysed conversion of organic phosphorous compounds. *Chemosphere* 1993. 27(5). pp. 773-778.
39. Di Benedetto, D.; Breuil, P.; Marchand, J. C. Automatic analysis of BTX in ambient air using UV spectrophotometry in comparison with analysis using gas chromatography. *World Clean Air & Environment Congress and Exhibition*, 12th, Seoul, Republic of Korea Aug. 26-31 2001. 1096-1100.
40. Eiceman, G. A.; Nazarov, E. G.; Takjikov, B.; Miller, R.A. Monitoring Volatile Organic Compounds in Ambient Air Inside and Outside Buildings using a Radio-Frequency Based Ion Mobility Analyzer with a Micro-Machined Drift Tube. *Field Analytical Chemistry and Technology.* 2000. 4(6) .297-308.

41. Hicks, J. B.; Winegar, E. D.; Sim, C. S. The application of FTIR remote sensing for indoor air quality monitoring. Proceedings of IAQ '92: Environments for People, San Francisco, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, USA 1992, 251-256.
42. Higgins, C.E.; Baldwin, W.H. The thermal decomposition of tributyl phosphate // *Org. Chem.* 1961. pp. 846-850.
43. Holkeboer, D. H.; Karandy, T. L.; Currier, F. C.; Frees, L. C.; Ellefson, R. E. Miniature quadrupole residual gas analyser for process monitoring at milliTorr pressures. *J. Vac. Sci. Technol.* 1998, 16, 1157-1162.
44. Kalman, Eva-Lotta; Lofvendahl, Anders; Winqvist, F.; Lundstrom, I. Classification of complex gas mixtures from automotive leather using an electronic nose. *Analytica Chimica Acta* 2000, 403(1-2), 31-38.
45. Kornienko, O.; Reilly, P. T. A.; Whitten, W. B.; Ramsey, J. M. Micro ion trap mass spectrometry. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 1999, 13, 50-53.
46. Marshall, T. L.; Chaffin, C. T.; Hammaker, R. M.; Fateley, W. G. An introduction to open-path FT-IR atmospheric monitoring. *Environmental Science and Technology* 1994, 28(5), 224A-232A.
47. Makas, A.L.; Troshkov, M.L. Field gas chromatography-mass spectrometry for analysis.// *Journal of Chromatography.* pp. 55-61.
48. Miller, R.; Eiceman, G. A.; Nazarov, E. G. A MEMS Field Asymmetric-Ion Mobility Spectrometer (FA-IMS) for Chemical Warfare Agent Detection. Draper Report no. P-3779 2000
49. Muehlberger, F.; Zimmermann, R.; Kettrup, A. A mobile mass spectrometer for comprehensive on-line analysis of trace and bulk components of complex gas mixtures: parallel application of the laser-based ionization methods VUV single-photon ionization, resonant multiphoton ionization, and laser-induced electron impact ionisation. *Analytical Chemistry* 2001. 73(15). 3590-3604.
50. Nicholas, P. Process and environmental monitoring using mass spectrometry. *Spectroscopy* 1991. 6(9). 36-40. 42-5.



51. Overton, E. B.; Carney, K. R.; Dharmasena, H. P.; Stewart, M. T.; Ehrmann, U. A new portable micro gas chromatograph for environmental analysis. *Field Screening Methods for Hazardous Wastes and Toxic Chemicals, Proceedings of an International Symposium, Las Vegas, USA, Feb. 22-24. 1995.* 1. 207-212.

52. Tuan, H. T.; Janssen, H.-G.; Cramers, C. A.; Mussche, P.; Lips, J.; Wilson, N.; Handley, A. Novel preconcentration technique for on-line coupling to high-speed narrow-bore capillary gas chromatography: sample enrichment by equilibrium (ab)sorption. II. Coupling to a portable micro gas chromatograph. *Journal of Chromatography A* 1997 .pp 187–195.

53. Hafner, Klaus; Zimmermann, Ralf; Rohwer, Egmont R.; Dorfner, Ralph; Kettrup, Antonius A Capillary-Based Supersonic Jet Inlet System for Resonance-Enhanced Laser Ionization Mass Spectrometry: Principle and First On-line Process Analytical Applications. *Analytical Chemistry* 2001. 73(17). 4171-4180.

54. Spangler, G. E.; Carrico, J. P.; Campbell, D. N. Recent advances in ion mobility spectrometry for explosives vapor detection. *J. Test. Evaluat.* 1985. 13. 234-240.

55. Warneke, C.; van der Veen, C.; Luxembourg, S.; de Gouw, J. A.; Kok, A. Measurements of benzene and toluene in ambient air using proton-transfer-reaction mass spectrometry: calibration, humidity dependence, and field intercomparison. *International Journal of Mass Spectrometry* 2001. 207(3). 167-182.