Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт энергетики/Высшая школа атомной и тепловой энергетики

Работа допущена к защите

Руководитель ОП

_____ А.В. Ившин

«15» июня 2020 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ УТИЛИЗАЦИИ ОСОБО ОПАСНЫХ И ТОКСИЧНЫХ ОТХОДОВ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

по направлению подготовки (специальности) 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Направленность (профиль) 13.04.01_01 Технология производства электрической и тепловой энергии

Выполнил
студент гр. 3241301/80101 И.Д. Налетов

Руководитель
канд. техн. наук, доцент Н.Т. Амосов

Консультант
по нормоконтролю Я.А. Владимиров

Санкт-Петербург
2020

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Институт энергетики/Высшая школа атомной и тепловой энергетики

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОП

_____ А.В. Ившин

«30» апреля 2020 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

студенту Налетову Ивану Дмитриевичу гр. 3241301/80101

1. Тема работы: Исследование энергетических и экологических проблем утилизации особо опасных и токсичных отходов жизнедеятельности человека
2. Срок сдачи студентом законченной работы: 15.06.2020.
3. Исходные данные по работе:
   - положения законов и нормативно-правовых актов, регламентирующих деятельность в отрасли обращения с отходами;
   - открытые статистические данные о количестве и типе продуцируемых особо опасных и токсичных отходов;
   - доклады о экологической ситуации в г. Санкт-Петербурге;
   - территориальные схемы обращения с отходами в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области;
4. Содержание работы (перечень подлежащих разработке вопросов):

Введение;

Глава 1. Обзор литературных источников по теме исследовательской работы;

Глава 2. Анализ энергетических и экологических проблем утилизации особо опасных и токсичных отходов жизнедеятельности человека в г. Санкт-

Глава 3. Разработка предложений по утилизации особо опасных и токсичных отходов жизнедеятельности человека в г. Санкт-Петербурге;

Основные выводы и заключительные положения;

Список использованных источников.

5. Перечень графического материала (с указанием обязательных чертежей): отсутствует.

6. Консультанты по работе: отсутствуют.

7. Дата выдачи задания: 30.04.2020 г.

Руководитель ВКР: _____ Н.Т. Амосов

Задание принял к исполнению: 30.04.2020 г.

Студент: _____ И.Д. Налетов

РЕФЕРАТ

На 95 с., 15 рисунков, 11 таблиц, 2 приложения.

ОТХОДЫ; ОБРАЩЕНИЕ С ОТХОДАМИ; УТИЛИЗАЦИЯ, ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ; ОСОБО ОПАСНЫЕ ОТХОДЫ; ТОКСИЧНЫЕ ОТХОДЫ; РАДИОАКТИВНЫЕ ОТХОДЫ; СЖИГАНИЕ ОТХОДОВ; ПИРОЛИЗ ОТХОДОВ; ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ОБРАЩЕНИИ С ОТХОДАМИ; ПЛАЗМЕННО-ПИРОЛИТИЧЕСКАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ

В данной работе выполнен поиск эффективного решения проблем утилизации особо опасных и токсичных отходов и сформулированы предложения по повышению эффективности обращения с особо опасными отходами. Основанием для исследования послужили статистические данные по количеству производимых и обрабатываемых отходов, их накопленному совокупному вреду, в том числе – по данным полигона «Красный Бор». В работе рассматриваются различные варианты и методики утилизации газообразных, твердых и жидких особо опасных отходов различного состава и морфологии, их сравнение и обоснование приоритетности плазменно-пиролитической утилизации. Предлагается энергетическая утилизация на мини-ГТЭС для газообразных отходов на примере попутного нефтепереработке газа, а также скомпонована принципиальная схема перспективной утилизационной установки для жидких и твердых отходов на основе плазменно-пиролитической установки, выпарной установки, доупаривателя и теплоутилизационного контура. В работе производится сравнительный экономический анализ реализации целесообразной концепции утилизации и обезвреживания особо опасных и токсичных отходов на примере полигона «Красный Бор».

ABSTRACT

95 pages, 15 figures, 11 tables, 2 appendices.

WASTE; WASTE MANAGEMENT; DISPOSAL, waste neutralization AND WASTE treatment; ESPECIALLY HAZARDOUS WASTE; TOXIC WASTE; RADIOACTIVE WASTE; incineration of waste; Pyrolysis of waste; THERMOPHYSICAL PROCESSES IN WASTE MANAGEMENT; PLASMA-PYROLITHIC WASTE DISPOSAL

In this work a research for an effective solution to the problems of the disposal of especially hazardous and toxic wastes has been made and suggestions for improving the efficiency of handling especially hazardous wastes have been formulated. The study is based on statistical data on the amount of waste produced and processed, it's accumulated cumulative harm, including according to the data of the «Krasny Bor» landfill. The paper considers various options and methods for the disposal of gaseous, solid and liquid highly hazardous wastes of various compositions and morphology, their comparison and justification of the priority of plasma-pyrolytic utilization. Energy utilization at mini-gas turbine power plants for gaseous wastes is proposed using the example of associated gas refining, and a schematic diagram of a promising utilization plant for liquid and solid wastes based on a plasma-pyrolytic plant, an evaporator, a residual evaporator and a heat recovery circuit has been compiled. The work provides a comparative economic analysis of the implementation of the appropriate concept for the disposal and disposal of especially hazardous and toxic wastes using the example of the «Krasny Bor» landfill.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....8

Глава 1. Обзор литературных источников по тематике исследовательской работы.....21

1.1. Хронология событий и краткая история отрасли.....21

1.2. Статистика производства особо опасных и токсичных отходов.....23

1.3. Классификация отходов.....32

1.4. Морфология и источники производства особо опасных и токсичных отходов.....33

1.5. Экономический анализ обращения с отходами.....35

1.6. Предпосылки к исследованию и поиску эффективного решения проблемы обращения с особо опасными и токсичными отходами.....36

Глава 2. Анализ энергетических и экологических проблем утилизации особо опасных и токсичных отходов жизнедеятельности человека в г. Санкт-Петербурге и постановка задачи исследования.....37

2.1. Состояние экологии и окружающей среды в г. Санкт-Петербурге.....37

2.2. Энергетические аспекты состояния отрасли обращения с особо опасными и токсичными отходами в г. Санкт-Петербурге.....44

2.3. Полигон «Красный Бор».....46

Глава 3. Разработка предложений по утилизации особо опасных и токсичных отходов жизнедеятельности человека в г. Санкт-Петербурге..56

3.1. Обращение с особо опасными и токсичными отходами.....56

3.2. Утилизация и обезвреживание особо опасных и токсичных отходов..58

3.2.1. Газообразные отходы.....59

3.2.2. Твердые отходы.....64

3.3. Экономическая оценка реализации концепции ликвидации накопленного вреда окружающей среде и полигона «Красный Бор» 81

Основные выводы и заключительные положения 83

Список использованных источников 85

Приложение 1 96

Приложение 2 99

Термины, условные обозначения и возможные сокращения

Отходы (производства и потребления) – вещества или предметы, которые образованы в процессе производства, выполнения работ, оказания услуг или в процессе потребления, которые удаляются, предназначены для удаления или подлежат удалению в соответствии с настоящим Федеральным законом.

Обращение с отходами – деятельность по сбору, накоплению, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов.

Особо опасные и токсичные отходы – отходы I-V класса опасности, воздействие которых может нанести вред окружающей природной среде и здоровью людей и животных. ООТО требуют проведения специальных мероприятий по обращению с ними – утилизации и обезвреживания, а также усиленного контроля по части обеспечения требуемых норм экологической безопасности

Утилизация отходов – использование отходов для производства товаров (продукции), выполнения работ, оказания услуг, включая повторное применение отходов, в том числе повторное применение отходов по прямому назначению (рециклинг), их возврат в производственный цикл после соответствующей подготовки (регенерация), извлечение полезных компонентов для их повторного применения (рекуперация), а также использование твердых коммунальных отходов в качестве возобновляемого источника энергии (вторичных энергетических ресурсов) после извлечения из них полезных компонентов на объектах обработки, соответствующих требованиям, предусмотренным пунктом 3 статьи 10 настоящего Федерального закона (энергетическая утилизация).

Захоронение отходов – изоляция отходов, не подлежащих дальнейшей утилизации, в специальных хранилищах в целях предотвращения попадания вредных веществ в окружающую среду.

Хранение отходов – складирование отходов в специализированных объектах сроком более чем одиннадцать месяцев в целях утилизации, обезвреживания, захоронения.

Обезвреживание отходов – уменьшение массы отходов, изменение их состава, физических и химических свойств (включая сжигание, за исключением

сжигания, связанного с использованием твердых коммунальных отходов в качестве возобновляемого источника энергии (вторичных энергетических ресурсов), и (или) обеззараживание на специализированных установках) в целях снижения негативного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую среду.

Сбор отходов – прием отходов в целях их дальнейших обработки, утилизации, обезвреживания, размещения лицом, осуществляющим их обработку, утилизацию, обезвреживание, размещение.

Твердые коммунальные отходы – отходы, образующиеся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами, а также товары, утратившие свои потребительские свойства в процессе их использования физическими лицами в жилых помещениях в целях удовлетворения личных и бытовых нужд. К твердым коммунальным отходам также относятся отходы, образующиеся в процессе деятельности юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и подобные по составу отходам, образующимся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами.

Обработка отходов – предварительная подготовка отходов к дальнейшей утилизации, включая их сортировку, разборку, очистку.

Сортировка отходов – мероприятие в рамках обращения с отходами, в рамках которого происходит разделение общего потока отходов по определенному признаку (типу, виду, классу опасности, агрегатному состоянию).

Концентрация отходов – процесс повышения удельной доли присутствия отходов и загрязняющих веществ в единичном объеме перерабатываемой продукции (применительно к жидким отходам – выпаривание воды, к твердым – сепарация).

Объекты захоронения отходов – предоставленные в пользование в установленном порядке участки недр, подземные сооружения для захоронения отходов I–V классов опасности в соответствии с законодательством Российской Федерации о недрах.

Объект хранения отходов – специально оборудованное сооружение, которое обустроено в соответствии с требованиями законодательства в области

охраны окружающей среды и законодательства в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и предназначено для долгосрочного складирования отходов в целях их последующих утилизации, обезвреживания, захоронения.

Оператор по обращению с отходами I и II классов опасности – индивидуальный предприниматель или юридическое лицо, которые обладают правом в соответствии с настоящим Федеральным законом осуществлять деятельность по обращению с отходами I и II классов опасности, полученными от иных индивидуальных предпринимателей, юридических лиц, в результате хозяйственной и (или) иной деятельности которых образуются отходы I и II классов опасности, и имеют лицензии на деятельность по сбору, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов I–IV классов опасности в отношении соответствующих видов работ с отходами I и II классов опасности.

ОСО – обращение с отходами.

ФСОСО – федеральная система обращения с отходами.

РСОСО – региональная система обращения с отходами.

ООТО – особо опасные и токсичные отходы.

ПКОО – промышленный кластер обращения с отходами.

УОО – утилизация и обезвреживание отходов.

ПДК – предельно допустимая концентрация.

НПЗР – нормативно-правовое и законодательное регулирование.

ППУ – плазменно-пиролитическая установка.

РАО – радиоактивные отходы.

ОПС – окружающая природная среда.

ФККО – федеральный классификационный каталог отходов.

Актуальность

Современный уровень развития человечества и соответствующая ему ситуация в отрасли обращения с отходами непосредственным образом отражают необходимость тщательного контроля, исследования, изучения и проработки всей методики обращения с отходами [1].

На сегодняшний день, все острее становится для человечества проблема экологической безопасности, очевидными предпосылками для которых являются: рост населения, развитие промышленности и производства, появление новых технологий и др. Особняком стоит ситуация в обращении с отходами в разрезе мер и мероприятий, направленных на их утилизацию, обезвреживание и захоронение – до недавнего времени, зачастую, они попросту отсутствовали.

Поскольку главным приоритетом и ценностью для человечества является наше всеобщее благополучие, то есть, обеспечение условий, максимально полным образом соответствующих требованиям всех и каждого, в том числе и прежде всего – здоровью, которое невозможно поддерживать без внимания на состояние экологии. Ситуация, связанная с ухудшением экологических показателей не только в густонаселенных и промышленных регионах и областях, но и во всем мире, беспокоит общественность довольно давно (надо вставить какую-то статью с опасением за экологию), однако, конкретных мер и решений в глобальных масштабах не принимается до сих пор.

Основой человеческого общества является экономика и продуцируемые ей отношения, что, к сожалению, зачастую препятствует развитию социально значимых и жизненно необходимых тенденций и технологий, поскольку они не представляют собой проекты, про которые можно сказать, что они «рентабельны». Внимание же науки и техники к вопросу обращения с отходами велико и продиктовано, прежде всего, потребностью в новых и эффективных решениях, которые бы поспособствовали решению сложившихся как экологических, так и экономических проблем, однако, когда разговор идет о способах обращения с отходами, второстепенным после экологического становится вопрос энергетической эффективности и целесообразности тех или иных мероприятий.

Согласно цели и задачам исследования, в данном работе поднимаются вопросы, связанные с обращением с отходами, энергетической и экологической эффективностью процессов в обращении с отходами, подробнее изучаются положения федерального и регионального законодательств, регулирующих обращение с отходами, а также – методики и специфика возможных способов обращения с отходами, в том числе – с особо опасными и токсичными. Оценка вышеупомянутых факторов и особенностей процесса обращения с отходами позволит по результатам работы составить более полную картину ситуации, сформулировать рекомендации и концепцию повышения экологической и энергетической эффективности ОСО.

В соответствии с целью исследования в работе решаются следующие задачи: анализ сложившейся в г. Санкт-Петербурге экологической ситуации на основе актуальных статистических данных; сравнительная характеристика особо опасных и токсичных отходов, образующихся в городе, и оценка их энергетического потенциала; рассмотрение текущей ситуации в сфере обращения с особо опасными и токсичными отходами; обоснование объективной необходимости поиска и внедрения новых решений в данной сфере; рассмотрение альтернативных методик утилизации отходов с получением энергии либо их переработки во вторичные энергетические ресурсы; оценка предполагаемого эффекта от реализации рассмотренных проектов.

Степень разработанности темы

Вопрос обращения с особо опасными и токсичными отходами получил развитие в последние 20 лет. Особое внимание к вопросу обращения с отходами в России проявлено в 2018 году, в результате чего в декабре 2019 года вышли обширные поправки к ФЗ №89 «Об отходах производства и потребления», включая четкие трактовки для различных видов деятельности, связанных с обращением с отходами, в том числе с особо опасными и токсичными.

Законодательство

Законодательное регулирование обращения с отходами в Российской Федерации осуществляется в соответствии с:

- Федеральным законом №89 «Об отходах производства и потребления» (от 22 мая 1998 года, с изменениями на 27 декабря 2019) (определяет цели и основные принципы государственной политики в области обращения с отходами. Законом регламентируются также правовые основы определения терминологии, нормирование, государственный учет и отчетность в области обращения с отходами, правовые основы экологического контроля) [2];
- Федеральным законом №96 «Об охране атмосферного воздуха» (от 2 апреля 1999 года, с изменениями на 26 июля 2019) (регламентирует требования к предотвращению вредного воздействия на атмосферный воздух отходов производства и потребления при их хранении, захоронении и обезвреживании (ст. 18)) [3];
- Федеральным законом №52 «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (от 30 марта 1999 года, с изменениями на 26 июля 2019) (регламентирует санитарные требования (ст.22) к сбору, накоплению, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов производства и потребления) [4];
- Федеральным законом №7 «Об охране окружающей среды» (от 20 декабря 2001 года, с изменениями на 27 декабря 2019) [5];
- Уголовный кодекс Российской Федерации (от 24 мая 1996 года, с изменениями на 18 февраля 2020) (ответственность за производство запрещенных видов опасных отходов, транспортировку, хранение, захоронение, использование или иное обращение радиоактивных, бактериологических, химических веществ и отходов с нарушением установленных правил) [6];
- СанПиН 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы» (нормативные правовые акты, устанавливающие санитарно-эпидемиологические требования (в том числе критерии безопасности и (или) безвредности факторов среды обитания для человека, гигиенические и иные нормативы), несоблюдение которых создает угрозу жизни или здоровью человека, а также угрозу возникновения и распространения заболеваний) [7];

- другими федеральными и региональными законами, нормативными актами, постановлениями Правительства РФ и регионов (приложение 1).

Литература

Вопрос обращения с отходами, в том числе с особо опасными и токсичными, в разное время и в разной степени поднимался в следующих трудах:

- «Утилизация промышленных отходов», Пальгунов П.П., Сумароков М.В., 1990 г.: авторы уделяют особое внимание безопасности окружающей среды, поднимают проблему утилизации жидких промышленных отходов и многообразие способов обращения с особо опасными и токсичными отходами [8];
- «Переработка промышленных отходов», Бобович Б.Б., 1999 г.: автор тщательно рассматривает различные виды отходов и варианты обращения с ними, в том числе – переработку и утилизацию [9];
- «Газификация твердого топлива». Учебное пособие / А.С. Алешина, В.В. Сергеев, Санкт-Петербург, 2010 г.: в работе приведены основы газификации твердого топлива и отходов, представлены физико-технические характеристики растительной биомассы и органических отходов, рассмотрены существующие технологии и аппараты газификации как растительной биомассы, так и угля, представлены технологические схемы установок с газогенераторами различного типа, рассмотрены действующие газогенераторные электростанции и представлены их технические характеристики [10];
- «Экология городской среды». Учебное пособие / Э.В. Сазонов, Москва, 2019 г.: в учебном пособии приведены основные источники загрязнения города как среды обитания человека, описана его экологическая модель. Даны классификация загрязнителей и критерии оценки качества окружающей природной среды. Представлены основные мероприятия, позволяющие предотвратить или уменьшить загрязнение атмосферы и водных объектов города, грунтов и почв городских территорий. Рассмотрены вопросы правового законодательства и нормативной базы регулирования городской среды, мониторинга состояния атмосферы, управления твердыми бытовыми отходами [11];

- «Утилизация отходов производства и потребления» Поташников Ю.М., 2004 г.: в работе изложены химические и физико-химические основы процессов утилизации и обезвреживания большинства из наиболее значимых с экологической и экономической точек зрения видов промышленных и бытовых отходов, включенных в Федеральный классификационный каталог отходов в концептуальном плане опирается на Федеральный закон об отходах производства и потребления, особое внимание уделено отношениям и противоречиям между экономикой, энергетикой и экологией, которые в настоящее время диктуют выбор и использование не самых рациональных методов утилизации отходов, препятствуют внедрению современных технологий, созданию экологичных природоохранных систем [12];
- «Утилизация и переработка твёрдых бытовых отходов: учебное пособие» / А. С. Клинков, П. С. Беляев, В. Г. Однолько, М. В. Соколов, П. В. Макеев, И. В. Шашков, 2015 г.: в работе рассмотрены современное состояние и перспективы развития вторичной переработки и утилизации тары и упаковки, твёрдых бытовых отходов, бытовой техники, отходов растительного сырья, показан опыт внедрения системы раздельного сбора, последующей сортировки, переработки во вторичное сырьё в России и за рубежом, получение и применение биоразлагаемых пластиков в производстве, особое внимание уделено технологическим схемам вторичной переработки упаковочных материалов [13];
- Учебное пособие к специальному курсу "Обращение с отходами производства и потребления" / П.А. Курынцева, С.Ю. Селивановская, 2018 г.: в работе представлена законодательная база в области обращения с отходами, приведены примеры расчета классов опасности отходов, заполнения статистической отчетности в области экологии [14];
- «Исследование энергетических и экологических аспектов проблемы утилизации бытовых отходов жизнедеятельности населения г. Санкт-Петербург». Диссертация магистра (13.04.01_01). Д.А. Сабурова, Санкт-Петербург, 2016 г.: в работе решаются следующие задачи: анализ сложившейся в г. Санкт-

Петербурге экологической ситуации на основе актуальных статистических данных; сравнительная характеристика отходов, образующихся в городе, и оценка их энергетического потенциала; рассмотрение текущей ситуации в сфере обращения с отходами; обоснование объективной необходимости поиска и внедрения новых решений в данной сфере; рассмотрение альтернативных методик утилизации отходов с получением энергии либо их переработки во вторичные энергетические ресурсы; оценка предполагаемого эффекта от реализации рассмотренных проектов [15];

- и других трудах.

Принимая во внимание вышеизложенные труды и документы можно заключить, что данная тематика затрагивалась, частично освещена и изучена, однако, до сих пор не сформировался четкий и универсальный способ обращения с особо опасными и токсичными отходами, а также отсутствует методика оценки эффективности данного процесса. Таким образом, необходимо провести работу по анализу текущей ситуации в отрасли, существующих способов обращения с отходами и сравнению их эффективностей (как энергетической, так и экологической, экономической эффективностью, в сравнении). Для обеспечения полноценности решения проблемы обращения с особо опасными и токсичными отходами необходимо изучить и сравнить существующие методы их утилизации, на основании чего определить наиболее эффективный и подходящий для утилизации особо опасных и токсичных отходов метод.

Цель и задачи работы

Цель работы: проработка перспективы организации процесса экологически безопасного и энергетически эффективного обращения с особо опасными и токсичными отходами.

Задачи работы:

- рассмотрение аналогичных работ и истории развития тематики;
- анализ существующего состояния отрасли обращения с особо опасными и токсичными отходами (ООТО);
- разработка новой методики оценки эффективности процесса обращения с особо опасными и токсичными отходами;
- формирование перспективного способа обращения с особо опасными и токсичными отходами.

Научная новизна работы

Ранее в работах по тематике, связанной с особо опасными и токсичными отходами, а также в регламентирующих деятельность отрасли нормативно-правовых и законодательных актах, в том числе в Федеральных Законах, не была сформулирована методика оценки эффективности осуществления обращения с данными типами отходов, порядок, нормативы, а также не были проработаны возможные и перспективные пути реализации способов утилизации и обезвреживания ООТО.

Теоретическая и практическая значимость

В результате выполнения работы сформулированы следующие положения, отражающие ее значимость:

- собран портфель регулирующих документов и определен порядок функционирования системы обращения с отходами;
- выявлены основные проблемы отрасли и проблемные места с повышенной опасностью по части ООТО
- собраны данные по количеству и качеству ООТО, а также информация по патогенам и показателям загрязненности;
- определены возможные и перспективные методы утилизации ООТО;

- разработаны предложения по эффективной утилизации ООТО и элементы методики обращения с ООТО
- сформулированы цели на дальнейшие исследования, в том числе – задачи для эксперимента.

Методология и методы исследования

Исследование включает в себя теоретическую часть на основе общенаучных и всеобщих методов, а именно это – эмпирические, теоретические, количественные и качественные, основными элементами которых являются:

- анализ литературы и законодательства по тематике исследования;
- изучение текущей ситуации в отрасли обращения с особо опасными и токсичными отходами из открытых источников;
- выявление основных проблем в отрасли обращения с отходами, преимущественно – энергетических и экологических, на основе анализа литературы и открытых источников;
- проработка вопроса применимости существующих методов утилизации отходов на примерах из общей практики;
- формирование заключения, рекомендаций и предложений на основе проработанного материала и изученных данных.

Основные результаты научно-исследовательской работы

Научно-исследовательская деятельность по вопросу обращения с особо опасными и токсичными отходами активно ведется с 2017 года, результаты и основные достижения изложены в следующих публикациях:

1. И.Д. Налетов, Н.Т. Амосов. Влияние процесса утилизации твердых бытовых отходов на окружающую среду / Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием. Институт энергетики и транспортных систем. Ч. 1. – СПб. : Изд-во Политехн. Ун-та, 2017 г. [1];
2. Налетов И.Д. Утилизация и переработка отходов в рамках повышения энергоэффективности нефтегазодобывающей промышленности / Булатовские чтения. 2018 г. [16];

3. Налетов И.Д., Новикова О.В., Амосов Н.Т. Создание промышленного кластера обращения с отходами // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием. Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018 г. [17];

4. Налетов И.Д., Новикова О.В., Амосов Н.Т. Создание промышленного кластера обращения с отходами, его перспективы и преимущества//Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием. 19-24 ноября 2018 г. Лучшие доклады. -СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2018 г. [18];

5. Налетов И.Д. Повышение энергоэффективности и снижение эмиссии нефтеперерабатывающего комплекса за счет утилизации попутного нефтепереработке газа / В сборнике: Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире Материалы XX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием), 26-27 апреля 2018 г.. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». 2018. С. 143-145 [19];

6. Налетов И.Д. Энергообеспечение и повышение энергоэффективности лесохозяйственного сектора / В сборнике: Повышение эффективности лесного комплекса Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2018 г. [20];

7. Налетов И.Д., Хабарова М.А., Суворова В.С., Новикова О.В. Внедрение промышленного кластера в систему обращения с отходами / В сборнике: Современные технологии и экономика энергетики. материалы Международной научно-практической конференции. 2019 г. [21];

8. Налетов И.Д., Суворова В.С., Новикова О.В. Экономическая целесообразность реализации промышленного кластера обращения с отходами / В сборнике: Современные технологии и экономика энергетики материалы Международной научно-практической конференции. 2019 г. [22];

9. Налетов И.Д. Промышленный кластер обращения с отходами и его связь с лесным комплексом / В сборнике: Повышение эффективности лесного комплекса материалы Пятой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. 2019 г. [23];

10. Налетов И.Д., Амосов Н.Т., Новикова О.В. Экономический аспект обращения с особо опасными и токсичными отходами полигона "Красный Бор" / В сборнике: Неделя науки СПбПУ Материалы научной конференции с международным участием. Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли. В 3-х частях. 2019 г. [24];

11. Налетов И.Д., Амосов Н.Т. Методика обезвреживания и утилизации особо опасных и токсичных отходов полигона «Красный бор» / В сборнике: Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. Институт энергетики. В 2-х частях. 2019 г. [25];

12. Налетов И.Д. Повышение энергоэффективности и экологичности нефтегазовой отрасли посредством утилизации особо опасных и токсичных отходов на примере попутного нефтепереработке газа / Булатовские чтения. 2020 [26];

13. Налетов И.Д., Амосов Н.Т. Повышение энергоэффективности и снижение эмиссии нефтеперерабатывающего комплекса путем утилизации попутного нефтепереработке газа / В сборнике: Современные технологии и экономика энергетики материалы III-й Международной научно-практической конференции. 2020 г. [27];

14. Налетов И.Д., Амосов Н.Т. Законодательное и нормативно-правовое регулирование обращения с особо опасными и токсичными отходами / В сборнике: Современные технологии и экономика энергетики материалы III-й Международной научно-практической конференции. 2020 г. [28].

Глава 1. Обзор литературных источников по тематике исследовательской работы

1.1. Хронология событий и краткая история отрасли

Любое исследование должно опираться на историю развития предмета, отчего необходимо детально проанализировать и разобрать историю обращения с отходами, примем интервал для исследования – порядка 100 лет, то есть рассмотрим историю обращения с отходами со времен СССР, двигаясь к современности и России.

В СССР обращение с отходами в целом было налажено и функционировало продуктивно, так, например:

- макулатура – школах и на предприятиях действовали нормативы по сбору макулатуры и лучшие отмечались и поощрялись;
- металл – подвергался переработке, переплавке и вторичному использованию, драгметаллы были подвержены жесткому учету;
- биологические отходы или «биосырье» – использовалось в качестве сырья и перерабатывалось в удобрения и корма на нужды колхозов;
- стеклотара – использовалась по прямому назначению, не перерабатывалась, как зачастую практикуется сейчас, а мылась и пускалась в дальнейший оборот – сбор бутылок (бутылки для молока, кефира, соков и прочего были унифицированы) был особо широко распространен и на этом можно было зарабатывать.

В целом, начиная со второй половины 20-го века, обращение с отходами представлялось не только необходимым перечнем мероприятий, призванным бороться с загрязнением окружающей среды и минимизировать вред жизни и здоровью людей, но и рассматривалось в качестве мер по рациональному использованию природных ресурсов и энергии.

С распадом Советского Союза ситуация в отрасли обращения с отходами резко изменилась, об отходах в то время не задумывались. Наступил упадок отрасли обращения с отходами в России, она не пережила деления СССР и не справилась с наплывом множества новых видов отходов.

В 1991 году Государственная система вторичных ресурсов России была ликвидирована, Министерство экономического развития России не рассматривало более вторичные ресурсы важной составляющей всеобщего блага: расформировано более 500 предприятий, закрыты более 6000 приемных пунктов по заготовке и переработке вторичного сырья от населения и сокращены десятки тысяч человек.

С этого момента вся отрасль обращения с отходами функционирует по принципу «сбор – захоронение», без промежуточных этапов (сортировка, переработка, утилизация, обезвреживание), что привело к образованию порядка 11 тысяч свалок мусора по всей России.

Только ближе к концу десятилетия, 22 мая 1998 года принимается Федеральный закон №89 «Об отходах производства и потребления», закрепляющий порядок обращения с отходами, в том числе с особо опасными и токсичными (отметим, что ранее, как в СССР, так и в России, единственным способом обращения с особо опасными и токсичными отходами было захоронение на специальных полигонах, которые за время своей эксплуатации превратились в источники потенциальной опасности для жизни и здоровья людей и безопасности окружающей среды), ответственность производителя (обязательство возврата упаковки и ее утилизации или экологические сборы), основные отраслевые понятия и термины, контролирующие и ответственные органы власти, нормативы и прочее. Несмотря на вступление в силу №89–ФЗ, реально работать он начнет только через почти 10 лет.

Примерно в 2010 году наступает «острый мусорный кризис», другими словами – обстановка в обращении с отходами заходит в тупик, вызванный переполнением существующих полигонов для захоронения отходов, отсутствия на полигонах специальных систем, поддерживающих уровень экологической безопасности и снижающий вред окружающей среде и здоровью человека (системы сбора фильтрата, очистки грунтовых вод или их изоляции, сбора свалочного газа или его утилизации (в том числе – энергетической)) [29].

Тяжелые времена требуют агрессивных мер и радикальных действий:

- 2013 год – принимается Комплексная стратегия обращения с ТКО;
- 2014 год – комплекс поправок к №89– ФЗ – №458–ФЗ;
- закрываются крупные полигоны захоронения отходов, в том числе особо опасных и токсичных (возникают стихийные заболевания у местного населения вблизи полигонов, точек скопления отходов и их захоронения; загрязняются грунтовые воды, патогены попадают в питьевые источники, которые становятся непригодными для использования и лишают водоснабжения города и предприятия, сельскохозяйственные секторы; широко распространяется ветрами неприятный ядовитый запах, в том числе свалочный газ).
- 2019 год – вводятся поправки и дополнения к №89– ФЗ и прочим нормативно-правовым актам, уточняющие статус отходов, мероприятия по обращению с ними, классификацию, территориальные схемы обращения с отходами и другие положения, которые призваны поспособствовать перспективному решению проблемы отходов.

Важно, что выше не уточнялся статус особо опасных и токсичных отходов, которые требуют наибольшего внимания и участия, причиной тому является то, что подход, реализуемый в прошлом веке в СССР и России по сей день остается неизменным – захоронение на специальных полигонах, без каких-либо мероприятий по утилизации, обезвреживанию и переработке, что являет собой рекурсивный перечень мероприятий, не позволяющих решить существующие проблемы.

1.2. Статистика производства особо опасных и токсичных отходов

Вопрос обращения с особо опасными и токсичными отходами с течением времени становится все-более острым. Развитие технологий и, как следствие, появление новых материалов приводит к увеличению не только количества отходов, но и их качества – все больший перечень отходов можно отнести к особо опасным: на 2020 год на душу населения приходится производство порядка 400 кг/год (в среднем от 1 до 1,5 кг отходов в день), то есть в России в год образуется 58,7 млн тонн (при населении России в 146 748 590 человек) отходов различной морфологии и классов опасности, из которых до 500000 тонн – особо опасные и токсичные [30].

На сегодняшний день в России существуют сотни полигонов, крупнейший и самый печально знаменитый в России и мире – «Красный Бор» – полигон для захоронения и размещения особо опасных и токсичных отходов промышленности и населения Санкт-Петербурга и Ленинградской области (на рис. 1.2.1 представлена фотосъемка с высоты «птичьего полета», видны бассейны захоронения жидких и твердых токсичных отходов) [31].

Рис.1.2.1 – Полигон «Красный Бор»

Статистики по производству особо опасных и токсичных отходов в России как таковой не существует, поскольку долгое время не существовало требований по контролю и отчетности объемов продуцируемых отходов, отсюда публикуемые данные, по заявлениям природоохранных организаций, не соответствуют действительности и непригодны для получения достоверных показателей.

Таким образом, на одного человека в России приходится порядка 3,5 кг особо опасных и токсичных отходов в год (официально). Перерабатывается и утилизируется из них – не более 1%, что характеризует практикуемый подход к отрасли обращения с отходами как малоэффективный [32-35].

К 2019 году в России на одном только полигоне для особо опасных и токсичных отходов «Красный Бор» накоплено более 2 млн тонн отходов, что эквивалентно 80000 железнодорожных вагонов (при усредненной массе одного в 25 тонн) – то есть это состав длиной в 1200 км, и эта цифра продолжает расти, так как альтернативного решения данной проблемы нет, потому закрытый полигон продолжает принимать отходы.

ООТО – очень неоднозначное понятие, ведь нет точного перечня и признаков, по которым можно определить полный набор всевозможных составных компонентов.

Существует классификация отходов по классам опасности, она представлена в таблице 1.2.1.

Помимо условной классификации отходов по их природе и составу, для точного определения класса опасности конкретного типа отходов нужно применить специальную методику, определенную Приказом Министерства природы Российской Федерации №536 [36], утверждающую правила определения классов опасности отходов: все отходы I-IV классов должны иметь паспорт с определенным уровнем опасности по двум показателям – расчетному и экспериментальному. Сама процедура классификации отходов прописана в СанПин 2.1.7.1386-03 [37] и обязывает вести четкий учет, а также оформлять заявки в Росприроднадзор в случае, если классифицируемые отходы не относятся к иному, уже существующему виду, так как его необходимо внести в ФККО и обозначить в нормах и правилах. Что касается непосредственно классификации, проходит она в два этапа:

I. Расчетный метод

Классификация по классам опасности выполняется по определенным параметрам, так отнесение к классу опасности отхода осуществляется по индексу опасности для окружающей природной среды, с учетом состава и индексов для компонентов отхода, концентрации элементов и коэффициента уровня опасности элемента.

$$K = K_1 + K_2 + \ldots + K_n,$$

где K – индекс уровня опасности отхода для ОПС,

K_i – $K_1, K_2, \ldots, K_n$ – индексы уровня опасности для каждого элемента отхода для ОПС,

$$K_i = \frac{C_i}{W_i},$$

где C_i – концентрации элементов или масса токсичного вещества,

W_i – коэффициент уровня опасности для ОПС (относительный показатель, численно равен количеству компонента – мг/кг).

Количество и качество особо опасных и токсичных элементов в составе отходов определяется из:

- технических условий;
- проектной документации;
- стандартов и технических регламентов.

II. Экспериментальный метод

Экспериментальный метод представляет собой биотестирование вытяжки воды на текст-объектах.

Поскольку процесс определения класса опасности принято проводить обоими методами, проводя между ними параллель, необходимо обеспечивать подтверждение расчета экспериментом.

Эксперименты проводят в специализированных лабораториях в случае, когда:

- количество и качество элементов состава не представляется возможным определить;
- необходимо уточнение результата, при необходимости по инициативе заинтересованной стороны.

Результаты определения класса опасности отходов приводятся в соответствие следующим образом, например:

- расчет показал 5 класс опасности,
- эксперимент призван подтвердить полученный результат:
  - если результат положительный – отходу присвоят 5 класс опасности;

- если результат отрицательный – отходу присвоят 4 класс опасности.

- производится заключение и выставляется итоговый класс опасности с внесением его в паспорт отходов.

Аналогично с точностью до наоборот происходит определение класса опасности отходов в случае, когда первичное определение выполнено экспериментальным методом, а расчетный выполняется для подтверждения полученного результата. Итоговым классом опасности выставляется наиболее опасный из полученных.

Паспорт отходов – документ, подтверждающий происхождение отходов, их категорию и состав, дающий организации (оператору обращения с отходами) право осуществлять обращение с отходами – собирать, сортировать, транспортировать, хранить, утилизировать, перерабатывать, обезвреживать или захоранивать). Паспорт отходов выдается Росприроднадзором по результатам проведенных исследований в лицензированных и сертифицированных по их стандартам лабораторий. Оформление паспорта опирается на законодательные акты [38].

Что касается отходов I-IV классов опасности, паспорт также выдается в соответствии с основанием о данных по составу и свойствах этих отходов, а также в зависимости от данных по оценке уровня опасности и степени негативного воздействия отходов на окружающую природную среду, жизнь и здоровье людей и животных.

Чаще всего к особо опасным и токсичным относят отходы I-IV класса опасности, так как обращение с отходами V класса опасности не представляет большой опасности, однако, возможна организация обращения и с отходами V класса опасности по методике обращения с особо опасными.

Таблица 1.2.1

Описание классов опасности отходов, эффекты воздействия и примеры

Класс опасности	Уровень вреда	Описание	Эффект	Пример
I	Очень высокий	Чрезвычайно опасные отходы	Непоправимый вред экологии, восстановительный период – отсутствует	Трансформаторы, крезол, термометры, барометры, манометры, приборы, минеральные масла, дифенильные вещества, терфенилы, конденсаторы, элементы гальваники, ртутьсодержащие изделия; особо токсичные вещества: соединения ртути, гальванические отходы, содержащие хром (6-вал.), кадмий, свинец, цианиды, ядохимикаты
II	Высокий	Высокоопасные отходы	Сильное повреждение экологии, возвращение к исходному состоянию после прекращения воздействия – не менее 30 лет	Свинцовые аккумуляторы, батареи, отходы нефтепродуктов после рафинирования, освинцованный кабель, отходы свинцовых солей и медного хлорида в твердом состоянии, свинцовые опилки, кислоты серы, свинецсодержащие изделия

Класс опасности	Уровень вреда	Описание	Эффект	Пример
III	Средний	Умеренно опасные отходы	Существенное повреждение экологии, возвращение к исходному состоянию после прекращения воздействия – не менее 10 лет	Очистной шлам нефтепроводов и нефтяных емкостей, ацетон, моторные масла, пыль от цемента, дизельное топливо, материал обтирки, помет уток/кур/гусей, свиной навоз, отработанные фильтры топливные и масляные; осадки после обработки жидких промышленных отходов, состоящих, в основном, из неорганических соединений: отходы гальванических производств, отходы обезжиривания металлов, отходы, содержащие жидкое стекло, отходы бумажной полиграфической промышленности, нейтрализованные цианистые отходы и пр., осадки после обработки жидких промышленных отходов, содержащих, в основном, органические соединения: эмульсии и эмульсолы, отходы

Класс опасности	Уровень вреда	Описание	Эффект	Пример
				производства фенола и ацетона, отходы лакокрасочной продукции, отходы производства каучука, отходы производства пластмасс, отходы хим.фарм. промышленности, отходы бытовой химии, отходы производства спиртов, отходы масложировой продукции, отходы электротехнической промышленности, загрязненные растворители
IV	Низкий	Малоопасные отходы	Повреждение экологии, возвращение к исходному состоянию после прекращения воздействия – не менее 3 лет	Бытовой мусор, битумные и асфальтные отходы, картонные и бумажные остатки, рубероид, перьевые остатки, навоз, нефтесодержащие изделия; твердые промышленные отходы: грунты, содержащие нефтепродукты, прочие загрязненные грунты, шины, затвердевшие лаки, краски, мастики, строительные отходы

Класс опасности	Уровень вреда	Описание	Эффект	Пример
V	Очень низкий	Практически неопасные отходы	Вреда экологии почти нет	Деревянная стружка, опилки, отходы пищи, скорлупа, предметы из керамики, зола, обломки кирпича, упаковки из древесины, пластик, резинотехнические изделия, металл

Обращение с ООТО I-V классов опасности осуществляет Федеральный оператор по обращению с отходами, который определяется Правительством Российской Федерации с учетом предложений компаний-производителей отходов, согласованных с уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти [39]: «…определить федеральным оператором по обращению с отходами I и II классов опасности федеральное государственное унитарное предприятие "Предприятие по обращению с радиоактивными отходами "РосРАО".».

Функции Федерального оператора в отношении ООТО – деятельность по:

- сбору;
- транспортировке;
- обработке;
- утилизации;
- обезвреживанию;
- размещению;
- контролю за состоянием
- контролю за попаданием в атмосферу, грунт и грунтовые воды;
- контролю за соответствием мероприятий Федеральной схеме обращения с ООТО I-V классов опасности.

1.3. Классификация отходов

Отходы так или иначе классифицируются по-разному и для дальнейшей проработки важно однозначно установить, какие принципы разделения существуют и какие отходы будут относиться к ООТО.

Общая классификация и кодирование отходов в Российской Федерации выполняется в соответствии с Федеральным классификационным каталогом отходов (ФККО) [40, 41], где подробно разделяются всевозможные наименования отходов, в том числе – с пометками по классам опасности.

Прежде всего, отходы классифицируют в соответствии с ФККО:

- по признакам, характеризующим безопасность обработки отходов:

- по составу составляющих компонентов, пригодных для повторного использования;
  - переработка невозможна и отходы подлежат либо уничтожению, либо захоронению в невозможном для нанесения вреда природе виде;
  - вторичное использование мусора в качестве сырья возможно;
- по происхождению мусора;
  - органические остатки переработки продукции;
  - отходы минералов и руд;
  - отходы химической промышленности;
  - коммунальный мусор и бытовые отходы;
- по агрегатному состоянию отходов;
  - твердые (твердые бытовые отходы – ТБО, твердые коммунальные отходы – ТКО);
  - жидкие;
  - газы;
  - сыпучие отходы, геле- и пастообразные материалы;

- по классам опасности:
  - I-III – промышленность;
  - III-IV – строительство;
  - IV-V – коммунально-бытовое хозяйство.

1.4. Морфология и источники производства особо опасных и токсичных отходов

Необходимость инвентаризации отходов и морфологического их состава обусловлена, прежде всего, требованиями нормативно-правовой документации, в соответствии с которыми предъявляются определенные ограничения к некоторым видам отходов, в особенности – особо опасным и токсичным. Ввиду серьезности данного вопроса, особое внимание уделяется соблюдению правил, норм и требований, однако, данный процесс усложняется, поскольку реальную инвентаризацию на практике на полигонах особо опасных и токсичных отходов, а также в центрах утилизации некоторых из них, не выполняли, а огромное многообразие

аккумулированных за время работы полигона отходов не позволяет произвести инвентаризацию достаточно точно и безопасно.

Очевидным аспектом существующих сложностей и проблем в обращении с особо опасными и токсичными отходами представляет собой перечень веществ, содержащихся в них, так называемых патогенов, приведенный укрупненный список возможных патогенов, входящих в состав ООТО, представлен в приложении 2.

Особо опасные и токсичные отходы – отходы I-V класса опасности, воздействие которых может нанести вред окружающей природной среде и здоровью людей и животных. ООТО требуют проведения специальных мероприятий по обращению с ними – утилизации и обезвреживания, а также усиленного контроля по части обеспечения требуемых норм экологической безопасности.

Отсутствие инвентаризационных данных по морфологии и составу особо опасных и токсичных отходов обусловлено рядом причин:

- полигоны захоронения особо опасных и токсичных отходов закладывались еще в СССР, ввиду чего часть информации о поступающих отходах не была оцифрована и не сохранилась в документах;
- четкого и жесткого учета принимаемых на хранение отходов не велось;
- анализ и проверка принимаемых на полигоны отходов не выполнялись в полном объеме, который необходим для столь разнообразных веществ и соединений;
- ввиду отсутствия разделения все захораниваемые отходы так или иначе могли взаимодействовать между собой, что приводит к образованию бесчисленного множества вариаций и соединений;
- высокий уровень опасности отходов не позволяет осуществлять привычным способом инвентаризацию и исследование искомых.

Принимая во внимание вышеупомянутый фактор и тот факт, что точного инвентаризационного состава особо опасных и токсичных отходов на том или

ином полигоне нет, рассмотрим обобщенный список возможных компонентов в смеси особо опасных и токсичных отходов (приложение 2).

Важно отметить, что большую часть от общего количества ООТО составляют газообразные и жидкие отходы, причем газообразные отходы, как правило, не подвергаются сбору для последующего захоронения, складирования или переработки, а напрямую утилизируются (см. п. 3.2.1).

1.5. Экономический анализ обращения с отходами

Обращение с отходами, особо опасными и токсичными – экономически затратное предприятие, что становится проблемой в отрасли, поскольку источник финансирования зачастую сложно определить, а обратного эффекта в виде экономических благ от данной отрасли деятельности нет.

Наиболее широко применяемый в России способ обращения как с особо опасными и токсичными отходами, так и с отходами в целом – захоронение практически полной массы отходов, без сортировки, сепарации, переработки, утилизации и обезвреживания – этот способ самый дешевый и простой.

Обращение с особо опасными и токсичными отходами регламентируется жестче, потому большее внимание уделяется происходящему в этом секторе отрасли: производятся мероприятия по специальной подготовке полигонов, выборе места и ландшафтному моделированию для сдерживания распространения патогенов – один только процесс подготовки и захоронения ООТО обходится в 35000 рублей за тонну, без учета затрат на продолжительное хранение отходов, нейтрализацию опасные выделений и т.д. Подчеркнем, что данные вложения и действия лишь позволяют бороться с последствиями существования ООТО, но не решают проблемы их наличия.

Зачастую, говоря об отходах, упоминают технологии, связанные с их непосредственным сжиганием на мусоросжигающих заводах, однако, реализация данного подхода невозможна, когда речь идет об ООТО ввиду их сложного состава и запредельного уровня вредности, более точное описание данного метода представлено в п.3.2.2.

1.6. Предпосылки к исследованию и поиску эффективного решения проблемы обращения с особо опасными и токсичными отходами

Принимая во внимание информацию, представленную в главе 1, с учетом законодательства, регулирующего обращение с отходами, в особенности – особо опасными и токсичными, целесообразно сформировать помимо федеральных и региональных операторов обращения с отходами – организацию, осуществляющую контроль и руководство за деятельностью операторов, а также регламентирующих однозначно и четко единую политику обращения с отходами – Федеральную систему обращения с отходами (ФСОСО), а также ее региональные отделения – Региональная система обращения с отходами (РСОСО). Подразделение единой системы – ФСОСО – на региональные компоненты – РСОСО – важный элемент работы всей отрасли обращения с отходами, который, с одной стороны, позволит принести общие положения в подход и облегчит как их соблюдение, так и контроль за выполнением требований, с другой стороны – обеспечит возможность более предметного подхода к обращению с отходами с учетом региональных особенностей (географических, морфологических, химических, антропологических) и создаст возможности для повышения эффективности мероприятий по обращению с отходами.

Особо опасные и токсичные отходы непригодны для безучастного захоронения и полигонирования, иначе – это повлечет существенные экономические издержки и поставит под угрозу безопасность экологии и жизни.

Трудности в обращении с особо опасными отходами, невозможность применения широко используемых технологий и подходов к составляющим их веществам, а также нарастающий энергетический кризис – все это приводит к необходимости поиска эффективного энергетически и экологически решения обращения с особо опасными и токсичными отходами, которое бы позволило разрешить проблему ООТО, а не откладывать ее или проводить только сдерживающие мероприятия, поддерживающие безопасную эксплуатацию объектов захоронения особо опасных и токсичных отходов.

Глава 2. Анализ энергетических и экологических проблем утилизации особо опасных и токсичных отходов жизнедеятельности человека в г. Санкт-Петербурге и постановка задачи исследования

2.1. Состояние экологии и окружающей среды в г. Санкт-Петербурге

Санкт-Петербург – второй по численности населения город России, крупнейший научный и культурный центр, энергетический центр страны, в котором сосредоточены ведущие высшие учебные заведения, научно-исследовательские и опытно-конструкторские предприятия, все это не только накладывает определенную ответственность, но и обуславливает высокий уровень загрязнения окружающей среды, вследствие которого население города и близлежащих регионов испытывают на себе негативные воздействия загрязняющих веществ.

Темпы роста населения г. Санкт-Петербурга представлены на рис. 2.1.1.

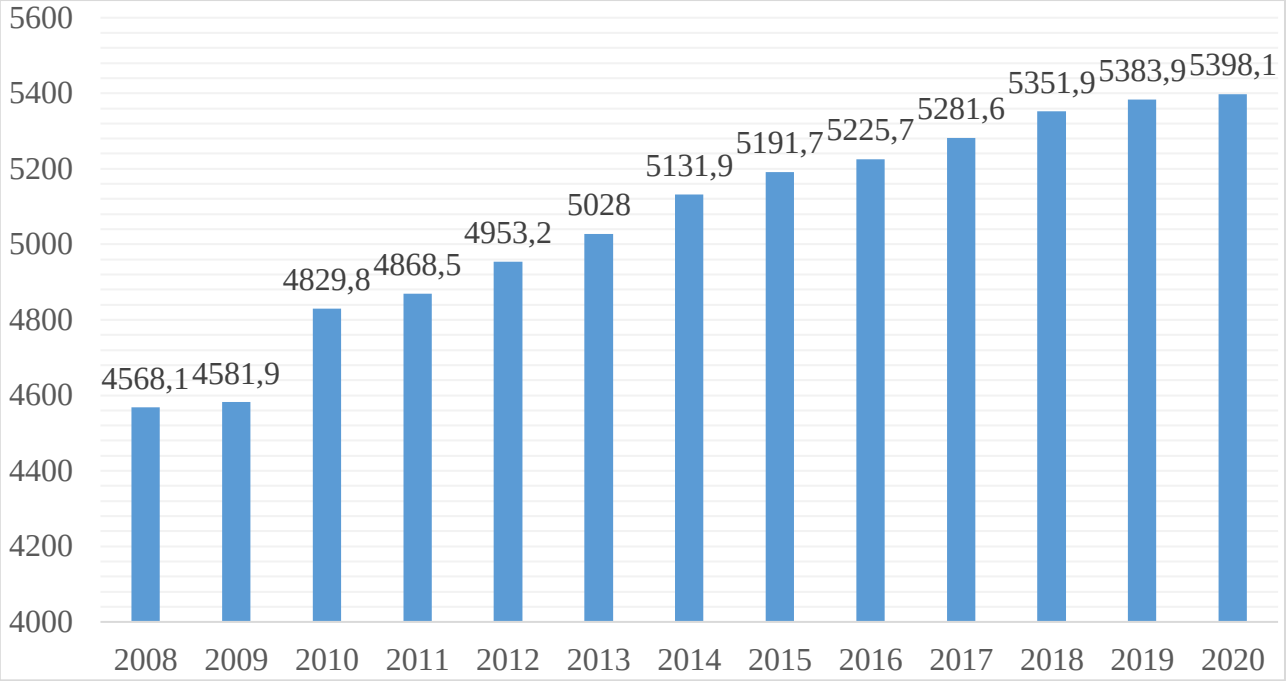

Рис. 2.1.1 – Общая численность населения г. Санкт-Петербурга (тыс. чел.) [42]

Широкий спектр загрязняющих атмосферу веществ представляют:

- стойкие органические загрязнители (ДДТ, ПХД, ГХБ, ПХДД, ПХДФ, формальдегиды и другие) [43];
- взвешенные частицы (механическая пыль, летучая зола, промышленная сажа и возгоны);

- тяжелые металлы (ртуть, свинец, кадмий, цинк и другие);
- газообразные вещества (оксид и двуокись углерода, диоксид серы, оксид азота, озон, тысячи разнообразных соединений углеводородов и другие);
- специфические примеси (аммиак, хлор, фтор и другие).

О состоянии окружающей среды можно судить по значениям показателей присутствия загрязнителей в атмосфере, почве, воде, а также по среднегодовым показателям концентрации основных загрязняющих веществ в целом по населенному пункту или региону. Некоторые данные по среднегодовой концентрации основных загрязняющих веществ в Санкт-Петербурге приведены в таблице 2.1.1.

Непосредственно количественная оценка качества и уровня загрязнения окружающей среды (атмосферного воздуха):

- осуществляется в соответствии с действующими на территории Российской Федерации гигиеническими нормативами о предельно допустимых концентрациях загрязняющих веществ в окружающей среде (атмосферном воздухе), в частности – в населенных пунктах: «предельно допустимая максимальная разовая концентрация ($ПДК_{м.р.}$) для оценки данных 20-минутного осреднения и предельно допустимая среднесуточная концентрация ($ПДК_{с.с.}$) для оценки концентраций в периодах осреднения от суток до года.»;
- осуществляется с применением установленных Росгидрометцентром, по которым выполняется сравнительная оценка состояния окружающей среды (атмосферного воздуха) относительно усредненного показателя загрязнения по городам и России;
- взвешенными частицами осуществляется в соответствии с действующими на территории Российской Федерации гигиеническими нормативами о предельно допустимых концентрациях взвешенных частиц PM10 и PM2,5 [44] в окружающей среде (атмосферном воздухе), в частности – в населенных пунктах: «предельно допустимая максимальная разовая концентрация, предельно допустимая среднегодовая концентрация (ПДКс.г.).».

Как видно из таблицы 2.1.1, динамика изменения среднегодовых показателей по уровню концентрации загрязнителей окружающей среды (атмосферного

воздуха) показывает незначительные колебания и слабый спад при поддержании в целом удовлетворительного уровня загрязнений. Данные в таблице представлены в десятичных долях от ПДК по каждому из загрязняющих веществ.

Таблица 2.1.1

Динамика изменения среднегодовых показателей по концентрации загрязнителей в г. Санкт-Петербурге с 2001 по 2018 год [45-53]

Год	Диоксид азота	Оксид азота	Оксид углерода	Диоксид серы	PM_{10}**
2001	0,7	0,5	0,3	0,2	–
2002	0,9	0,8	0,3	0,3	–
2003	1,1	0,7	0,3	0,3	–
2004	1,3	0,8	0,3	0,3	–
2005	1,2	0,7	0,3	0,3	–
2006	1,4	0,6	0,3	0,4	0,8
2007	1,3	0,7	0,2	0,4	1,1
2008	0,9	0,5	0,2	0,2	0,7
2009	0,9	0,5	0,2	0,2	0,5
2010	1,0	0,5	0,2	0,2	0,6
2011	0,9	0,5	0,1	0,2	0,5
2012	1,0	0,5	0,2	0,2	0,6
2013	1,0	0,4	0,1	0,1	0,5
2014	0,9	0,4	0,1	0,1	0,5
2015	0,8	0,4	0,1	0,1	0,4
2016	0,9	0,4	0,1	0,1	0,3
2017	0,8	0,3	0,1	0,1	0,2
2018	0,9	0,3	0,1	0,1	0,2

Предельно допустимые концентрации опасных веществ в почвах, грунтовых и подземных водах и атмосфере регламентируются соответствующими документами [54-66], тем самым значительно ограничивая возможный перечень мероприятий по утилизации и обезвреживанию ООТО.

Классический способ термической утилизации – сжигание – представлен на примере принципиальной схему типового мусоросжигающего завода (МСЗ) (рис. 2.1.2) [67]. Цивилизованный подход к утилизации отходов представляется зачастую именно посредством реализации данного комплекса мероприятий.

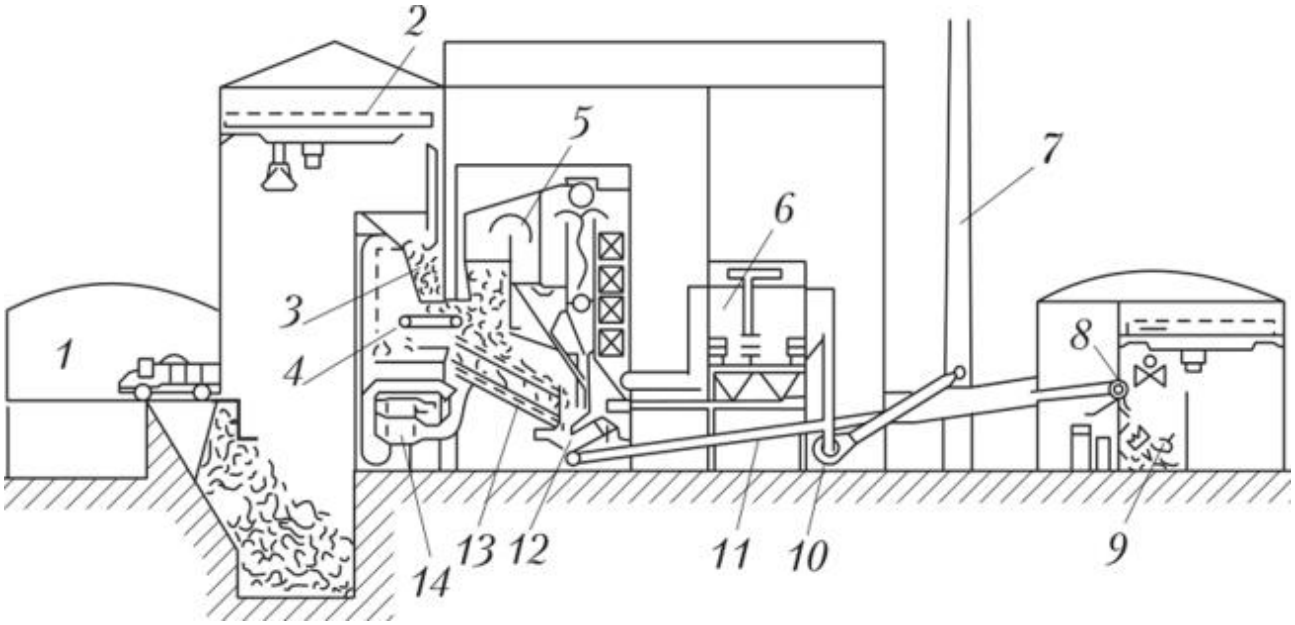

Рис. 2.1.2. Принципиальная схема мусоросжигающего завода (МСЗ)

Оператор по обращению с отходами (региональный или федеральный) осуществляет деятельность по первичному сбору и сортировке потока отходов, после чего доставляет их на МСЗ (1), отходы аккумулируются в специально оборудованном приемном отделении с бункером, откуда посредством периодической загрузки с использованием мостового крана с грейфером (2) отходы поступают в приемный бункер котлоагрегата (3) и под собственным весом продвигаются на питатель топки (4). В топке котла-утилизатора (5) происходит процесс горения отходов на колосниковой решетке с топочным устройством (13), тягодутьевое устройства с вентиляторами (14) обеспечивает подачу воздуха на колосниковую решетку и в топку котлоагрегата. Подвижные колосники колосниковой решетки совершают возвратно-поступательные движения, в результате чего с каждых ходом колосников слой отходов перемещается, разрыхляется и возгорается за счет поступления горящих отходов сверху и образованию новых очагов нижнего возгорания.

На поверхностях нагрева котла-утилизатора топочные газы отдают теплоту и вырабатывается пар, пригодный для дальнейшего использования как для энергетического, так и технологического. Дымовые газы утилизируемых отходов проходят через систему фильтром и циклонов (6) для очистки от опасных загрязнителей и удаляются через дымовую трубу (7) с помощью дымососа (10), тогда как образовавшийся неутилизируемый остаток – шлак – удаляется из лежки специальными скребковыми устройствами в гасильную ванну (12), откуда, благодаря особенностям конструкции, шлак пересыпается на шлаковый конвейер (11) и подается на дробилку и электромагнитный сепаратор (8). Конечный этап – складирование шлака в заводском бункере временного хранения (9), после чего шлак подвергают захоронению.

Температуры в зоне горения отходов составляют 500–600 °С, чего недостаточно для обеспечения нейтрализации патогенов и загрязнителей из ООТО. Так, непосредственное сжигание ООТО является потенциальной угрозой для безопасности окружающей среды и экологии, поскольку при протекании данных процессов из соединений и веществ в составе ООТО выделяются опасные для жизни и здоровья патогены и ядовитые вещества. Важно отметить, что продукты распада могут быть разными, поскольку ООТО как в твердом, так и в жидком состоянии имеют неоднородный и различный состав, таким образом, круг возможных технологий и мероприятий по обращению с ООТО сужается до тех, которые в состоянии обеспечить достаточно агрессивные условия, расщепляющие все патогенные соединения до простейших и нейтрализующие их.

Жизнедеятельность населения и функционирование промышленных предприятий обуславливают появление различных отходов, что требует обратной реакции в виде деятельности по ликвидации последствий и обращению с отходами, то есть требует выполнения базовых задач по управлению коммунальной инфраструктурой города.

В таблице 2.1.2 представлены обработанные данные по объемам образованных отходов производства и потребления, по количеству использованных,

обезвреженных, захороненных и переданных на хранение отходов, а также количество вовлеченных во вторичное использование и переработку отходов по классам опасности для г. Санкт-Петербурга по данным Департамента Федеральной службы по надзору в сфере природопользования по Северо-Западному федеральному округу за 2018 год.

Сравнительный анализ представленных в таблице 2.1.2 данных и их сравнение с показателями образования отходов и обращения с ними в г. Санкт-Петербурге в 2017 году показывает тенденцию к росту общего количества образованных отходов производства и потребления (29,2%), снижению общего количества использованных и обезвреживаемых отходов (30,64%), равно как и количества захороненных и переданных на хранение (42,2%), в то же время фиксируется рост количества отходов, вовлеченных во вторичное использование (17,19%), а амплитуда изменений коррелирует с представленной ниже динамикой – приращение вторично используемых в 1,396 млн тонн против убыли 1,461 млн тонн использованных, обезвреженных, захороненных и хранимых.

Важно отметить, что, исходя из данных таблицы 2.1.2, наиболее опасные отходы не подвергаются захоронению и хранению, однако, в том же документе – докладе от экологической ситуации в Санкт-Петербурге – не приводится никаких комментариев относительно характера реализуемых мероприятий по утилизации, обезвреживанию и вторичной переработке, аналогичная ситуация и с наиболее многочисленной группой отходов V класса опасности, что совершенно не согласуется с общеизвестными фактами катастрофически обострившейся ситуации с полигонами ТКО в окрестностях города.

Таблица 2.1.2

Показатели производства и обращения с отходами в Санкт-Петербурге в 2018 году

Показатели	Ед. изм.	Всего	Класса опасности				
			I	II	III	IV	V
Объем образованных отходов производства	млн тонн	10,672	0,000333	0,000438	0,0265	1,571	9,076
Объем образованных отходов потребления	млн тонн						
Количество использованных и обезвреженных отходов	млн тонн	2,837	0,000681	0,00014	0,034	0,894	1,907
Количество захороненных отходов	млн тонн	0,237	0	0	0	0,186	0,051
Количество переданных на хранение отходов	млн тонн	0,085	0	0	0,000008	0,0544	0,0306
Количество отходов, вовлеченных во вторичное использование	млн тонн	9,516	0,00043	0,00077	0,0347	0,829	8,651

Незначительную с точки зрения общего объема долю производимых отходов производства и потребления составляют особо опасные и токсичные отходы, однако их уровень опасности является определяющим в данном вопросе. В таблице 2.1.3 приведена укрупненная статистика поступающих в систему обращения с отходами особо опасных и токсичных.

Таблица 2.1.3

Статистика по сбору ООТО от населения Санкт-Петербурга в 2014-2017 годах

Виды отходов	2014	2015	2016	2017
Ртутные лампы, тонн	24,1	33	46,1	34,1
Термометры и др. ртутные приборы, тонн	3	3,8	2,2	1,5
Батарейки и аккумуляторы, тонн	23	29,7	49,7	76,4
Оргтехника, компьютерная и бытовая техника, тонн	33,9	29,7	40,3	37,5
Лекарственные препараты и медицинские отходы, тонн	4,2	3,9	5,5	6,1
Металлическая ртуть, тонн	0,1	0,1	0,03	1,7
Химические отходы, тонн	5,6	8,1	14,4	13,4
Покрышки и резинотехнические изделия, тонн	38,7	78,3	127,7	130,5
Отработанные масла и смазки, тонн	1,1	1,7	3	2,3
Всего, тонн	133,7	188,3	288,93	303,5

В Докладе [53] отсутствуют статистические данные по сбору особо опасных и токсичных отходов от населения Санкт-Петербурга в 2018 году, из-за чего актуализированную динамику получить невозможно, однако, исходя из имеющихся в таблице данных, суммарный отпуск населением опасных отходов растет и обостряется актуальность поиска эффективных решений по утилизации.

2.2. Энергетические аспекты состояния отрасли обращения с особо опасными и токсичными отходами в г. Санкт-Петербурге

Особо опасные и токсичные отходы, вне зависимости от их агрегатного состояния, являют собой соединения, обладающие высокой энергетической цен-

ностью (теплотворной способностью). Величина энергетической ценности (теплотворной способности) ООТО зависит от их состава как морфологического, так и химического. Несмотря на очевидно большой потенциал энергетического использования особо опасных отходов, реализация их в качестве топлива невозможна, потому целесообразно интегрировать с систему обращения с особо опасными и токсичными отходами технологии, позволяющие генерировать пирогаз.

Таблица№ 2.2.1

Сравнение теплотворной способности традиционных и распространенных топлив и пирогаза

Вид топлива	Ед. изм.	Удельная теплота сгорания	
		ккал	МДж
Дизельное топливо	1 л	10300	43,12
Мазут	1 л	9700	40,61
Нефть	1 л	10500	44,00
Бензин	1 л	10500	44,00
Газ природный	1 $м^3$	8000	33,50
Водород	1 $м^3$	28700	120,00
Газ сжиженный	1 кг	10800	45,20
Уголь каменный	1 кг	6450	27,00
Уголь бурый	1 кг	3100	12,98
Антрацит	1 кг	6700	28,05
Торф	1 кг	2900	12,10
Пиролизный газ (пирогаз)	1 $м^3$	7800-9500	32,65-39,78

Энергетическая оценка и оценка энергетической ценности обращения с ООТО как показатель продуктивности реализуемых мероприятий и действий дает непредвзятую количественную оценку неиспользуемых и потенциально доступных мощностей. Для оценки энергетического потенциала особо опасных и токсичных отходов приводится таблица 2.2.1 с показателями теплотворной способности некоторых топлив и приблизительным диапазоном возможных значений теплотворной способности пиролизного газа.

При реализации возможности генерации пирогаза при утилизации особо опасных и токсичных отходов появится возможность коммерциализации данной деятельности и получения прибыли, которая покроет часть эксплуатационных и капитальных затрат и сделает проект рентабельным. Вопрос экономики неразрывно связан с энергетикой и экологией и решение, которое должно быть принято в отношении утилизации ООТО – объективная позиция, которая должна в первую очередь удовлетворять требования по экологической безопасности и целесообразности, после чего необходимо достичь максимальной эффективности процесса при относительно невысокой стоимости его реализации.

2.3. Полигон «Красный Бор»

«Красный Бор» – полигон (ПКБ) (рис. 2.3.1) для размещения (хранения и захоронения) особо опасных и токсичных отходов производства и потребления I – V классов опасности, находящийся в Ленинградской области в 30 км от центра Санкт-Петербурга, единственный в своем роде на территории Северо-Западного федерального округа Российской Федерации.

Рис. 2.3.1. Снимок со спутника полигона «Красный Бор»

Несмотря на то, что полигонам, предназначенным для ООТО не полагается функционировать дольше 25 лет, ПКБ проработал с 1969 по 2014 год (45 лет) и аккумулировал более 2 млн тонн отходов различной морфологии и химического состава с территории всей России и части Прибалтики на площади в 73 га

(рис. 2.3.2). Сегодня ПКБ – экологическая угроза не только для Санкт-Петербурга и Ленинградской области, но и для всего Северо-Западного региона России и части Европы.

Рис. 2.3.2. Открытый бассейн (карта–котлован) с жидкими отходами

На ПКБ в разное время происходили происшествия (разливы, пожары (рис. 2.3.2), выбросы и др.), фиксируются регулярные нарушения по содержаниям опасных веществ в грунтовых вода, атмосферном воздухе, почвах.

Рис. 2.3.2. Открытый пожар на ПКБ в 2014 году

Место расположения ПКБ выбрано из соображения горно-геологических, ландшафтных и техногенных условий:

- геологические критерии:
  - залежи мощной толщи сверхплотных водоупорных пород – синих глин (рис. 2.3.3);
  - малая мощность четвертичных отложений;
  - напорный характер подземных вод;

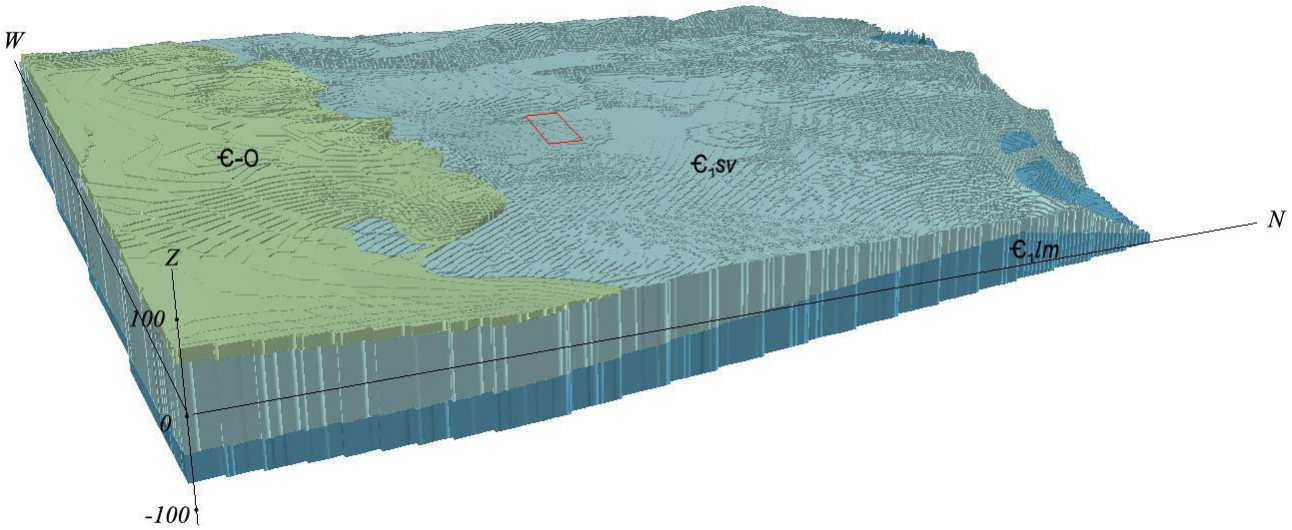

Рис. 2.3.3. Карта распределения пласта кембрийских синих глин ПКБ

- ландшафтные и техногенные критерии:
  - незатопляемость территории;
  - отсутствие эксплуатируемых для водоснабжения водоемов в зоне расположения полигона;
  - удаленность от населенных пунктов (1-1,5 км).

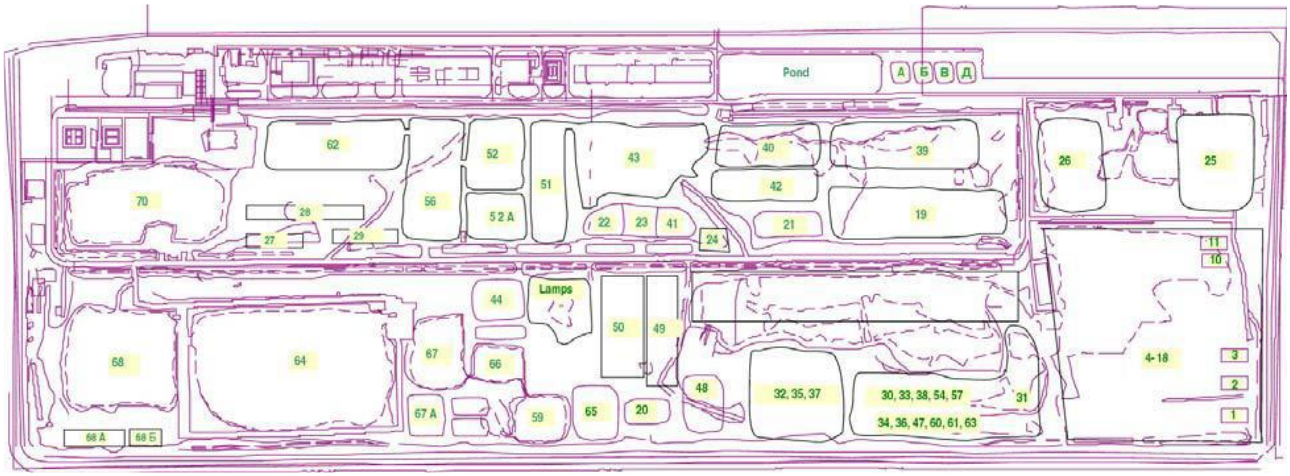

Рис. 2.3.4. Карта-схема ПКБ с разделением на карты-котлованы

ПКБ – это разделенная на 70 карт-котлованов территория (рис. 2.3.4), в каждом из которых в разное время размещались твердые, жидкие и пастообразные отходы. На сегодняшний день 65 карт-котлованов законсервированы, то есть с ними проведен ряд мероприятий по рекультивации и закрытию, однако, содержащиеся в них отходы не утилизированы и все еще продолжают оказывать негативное воздействие на окружающую среду. Остальные 5 карт-котлованов с более чем 700 тыс. $м^3$ ООТО продолжают эксплуатироваться и содержаться (рис. 2.3.5).

Рис. 2.3.5. ПКБ сегодня с накрытыми понтонами открытыми картами

Детали проектирования и строительства, а также особенности и последовательность эксплуатации и рекультивации не приводятся в связи с тем, что данная информация не относится к тематике исследования, однако имеет значение в вопросе подготовки полигона к дальнейшим мероприятиям по утилизации ООТО и ликвидации накопленного совокупного вреда, более подробные данные изложены в документах, регламентирующих эксплуатацию данного объекта, в них также приводится уточненная информация про ПКБ [68].

Усредненный по видам морфологический состав захороненных в разное время на полигоне «Красный Бор» особо опасных и токсичных отходов представлен в таблице 2.3.1. Помимо указанных в таблице регионов, источниками ООТО был Северо-Запад России и часть стран Прибалтики, СНГ, а также других регионов.

Таблица 2.3.1

Усредненный морфологический состав поступавших на ПКБ отходов из г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области

№ п/п	Вид отходов	Город	Область	Всего
1.	Органические			66161,45
1.1.	Жидкие			31102,42
1.1.1.	Концентрированные	2226,17	333,86	2560,03
1.1.2.	Обводненные	13998,13	1608,60	15606,73
1.1.3.	Галогенсодержащие	2987,00	194,20	3181,20
1.1.4.	Солесодержащие	8302,05	549,00	8851,05
1.1.5.	Прочие	895,61	7,80	903,41
1.2.	Пастообразные	13445,82	1373,70	14819,52
1.3.	Твердые			20239,51
1.3.1.	Нефтешлам	11648,95	932,10	12581,05
1.3.2.	Замазученный грунт, земля	1751,91	192,80	1944,71
1.3.3.	Полимерные материалы	5035,00	156,26	5191,26
1.3.4.	Опилки	190,34	166,90	357,24
1.3.5.	Ветошь	134,16	31,10	165,26
2.	Неорганические			25856,52
2.1.	Жидкие			13410,37
2.1.1.	Щелочные	5588,91	286,25	5875,16
2.1.2.	Нейтральные	4240,49	368,60	4609,09
2.1.3.	Кислые	2713,72	212,40	2926,12
2.2.	Пастообразные			5851,66
2.2.1.	Щелочные	4299,39	566,13	4865,52
2.2.2.	Нейтральные	181,94	242,49	424,43
2.2.3.	Кислые	561,70		561,70
2.3.	Твердые			5641,23
2.3.1.	Щелочные	3574,59	1177,90	4752,49

№ п/п	Вид отходов	Город	Область	Всего
2.3.2.	Нейтральные	424,94	463,80	888,74
2.4.	Аммонийсодержащие	251,70	17,85	269,55
2.5.	Содержащие 6-валентный хром	482,06	4,75	486,81
2.6.	Циансодержащие	99,58	97,32	196,90
3.	Особотоксичные			2476,86
3.1.	Ртутьсодержащие	103,82	3,00	106,82
3.2.	Кадмийсодержащие	768,00	150,00	918,00
3.3.	Прочие	213,46	1238,58	1452,04
	Итого	84119,44	10375,39	94494,83

Основными веществами, угрожающими окружающей среде, являются: кадмий, бенз(а)пирен, свинец, медь, никель, хлорорганические пестициды, полихлорированные бифенилы. Загрязнение от этих и прочих веществ создает ситуацию на территории ПКБ такую, что:

- 57% от площади территории ПКБ относится к допустимой (предельной) категории загрязнения;
- 43% – к опасной и чрезвычайно опасной категории загрязнения.

Сегодня на ПКБ проводится ряд мероприятий, призванных обеспечить экологическую безопасность и минимизировать последствия захоронения ООТО [69]:

- укрытие карт–котлованов специальной понтонной площадкой с геомембранным экраном (рис. 2.3.6) с целью организации защиты от атмосферных выпадений, снижения объема испарений и риска возгорания;
- создание комплекса очистных сооружений с целью снижения уровня жидкости в картах-котлованах и их осушения, очистки поверхностных стоков и дренажной системы;
- очистка и облагораживание обводного и внутренних каналов системы дренажа атмосферных осадков и поверхностных стоков для увеличения их пропускной способности, ликвидации возможности вторичного загрязнения и подтопления ПКБ;

- модернизация и реконструкция системы безопасности для обеспечения предупредительных действий по несанкционированному проникновению и умышленному причинению вреда, террористического акта, факта хищения токсичных отходов;
- широкая программа по информированию общественности, привлечению внимания к проблеме ПКБ, ООТО и вопросу их утилизации.

Рис. 2.3.6. Геомембранный экран на понтонном основании

Исходя из вышеизложенного, картина текущего состояния ПКБ ясна, проведены мероприятия для минимизации возможного ущерба окружающей среде, активно ведется поиск перспективных решений для дальнейшего развития событий, связанных с накопленными ООТО ПКБ [70-73].

Открытым остается вопрос о траектории дальнейших действий и общей концепции ликвидации накопленных ООТО, которая должна учитывать возможные пути поступления загрязнений в окружающую среду(наиболее значимым для ПКБ является загрязнение водных ресурсов и почв, в меньше степени – атмосферного воздуха) и объемы загрязнения и их состав (то есть технологический метод реализации процесса).

Помимо накопленного массива отходов в 2 млн тонн, в результате их длительного захоронения (загрязнение перекрывающих отходы грунтов) и рекультивации большей части карт-котлованов (загрязнение вмещающих отходы грунтов) суммарный объем накопленного вреда составляет порядка 5 млн тонн, то есть чрезвычайно большой объем, что требует использования не просто установки (установок) по утилизации и обезвреживанию, а целого завода с производительностью в сотни тонн в год, способного переработать отходы, которые характеризуются чрезвычайно сложным химическим составом ввиду их многолетнего хранения и смешения.

Для определения стратегии развития вопроса сформированы две основные концепции реализации дальнейшего обращения с ООТО ПКБ [74]:

1. извлечение + переработка;
2. консервация с частичной переработкой + иммобилизацией.

Извлечение + переработка

Суть концепции непосредственно в том, что необходимо строительство завода для создания мощностей, которые бы позволили переработать 5 млн тонн вредных веществ различной морфологии и состава, а также поэтапная выгрузка загрязняющих и загрязненных веществ из карт-котлованов полигона для утилизации и обезвреживания.

Преимущества концепции:

- это позволит решить вопрос потенциальной опасности и в целом обращения с ООТО ПКБ полностью и не возвращаться к нему впредь, отказаться от каких-либо дальнейших эксплуатационных издержек и задач;
- высвободится внушительная территория самого полигона и близлежащие территории станут пригодными для более комфортного и безопасного проживания, также снимется уровень опасности для г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области, равно как и для Северо-Запада России и части Европы;
- появятся новые рабочие места;

- будет создан прецедент эффективной системы обращения с ООТО и мощности для дальнейшей утилизации и обезвреживания производимых отходов;
- возможность капитализации и монетизации обращения с ООТО в случае технологической возможности отпуска полезной продукции.

Недостатки концепции:

- необходимо спроектировать и построить завод, пригодный для осуществления вменяемой ему деятельности по утилизации не менее 5 млн тонн загрязненных веществ в течение 30–50 лет;
- возможны инциденты с выбросами токсинов в окружающую среду;
- не исчезает необходимость проведения текущих мероприятий и организации безаварийной и безопасной эксплуатации ПКБ;
- колоссальные капитальные затраты.

Консервация с частичной переработкой + иммобилизацией

Суть концепции предполагает утилизацию и обезвреживание части отходов – самых потенциально опасных и токсичных и тех, которые находятся в открытых картах, для остальных же предназначаются мероприятия по иммобилизации и дальнейшей консервации в стойких кембрийских глинах – естественной изолирующей капсуле, способной выдержать данную нагрузку, и с использованием специальных экранов.

Преимущества концепции:

- срок осуществления значительно меньше – до 5-7 лет;
- значительно меньшие капитальные затраты;
- меньший риск возникновения инцидентов с выбросами;
- на порядок меньшая стоимость осуществления работ;
- меньшее воздействие на окружающую среду.

Недостатки концепции:

- решение проблемы неполное, то есть риск возникновения инцидентов и потенциальная опасность законсервированных отходов продолжит существовать на долгосрочную перспективу;

- необходим мониторинг и регулярное проведение эксплуатационных поддерживающих мероприятий на долгосрочную перспективу;
- отсутствие перспектив для монетизации процесса;
- отчуждение территорий на долгосрочную перспективу;
- долгосрочные эксплуатационные затраты.

Резюмируя описание и некоторые аспекты предполагаемых концепций, целесообразна реализация концепции консервации с частичной переработкой и иммобилизацией по причине того, что данный комплекс методов демонстрирует отчасти более эффективное соотношение экономических затрат и экологического эффекта, с другой стороны – реализация первой концепции затруднительна ввиду практической неисполнимости полной выемки содержимого карт-котлованов. Предполагаемый метод утилизации и обезвреживания ООТО – литификация, однако, данный метод чувствителен к составу отходов и неприменим к особо опасным и токсичным, ввиду чего необходима интеграция в систему более эффективной технологии, которая бы удовлетворяла требованиям по безопасности окружающей среды, пропускной способности и степени переработки [75].

Глава 3. Разработка предложений по утилизации особо опасных и токсичных отходов жизнедеятельности человека в г. Санкт-Петербурге

3.1. Обращение с особо опасными и токсичными отходами

В настоящее время существует широкий перечень возможных технологий и методов обращения с отходами, которые принципиально различаются и имеют определенный индивидуальный список достоинств и недостатков, однако, применительно к ООТО далеко не все подходят из соображений безопасности и по технологическим особенностям процессов.

Особо опасные и токсичные отходы могут подвергаться различным мероприятиям по обращению, в зависимости от определенных параметров, региона, типа отходов и их вредности, так реализуется перечень следующих подходов, представленных в таблице 3.1.1. Принципиальная позиция в выборе пути реализации обращения с ООТО – обеспечение безопасного процесса, второстепенная – продуктивность и экономическая и энергетическая выгода.

Таблица 3.1.1

Мероприятия по обращению с особо опасными и токсичными отходами

Мероприятие	Суть	Применимость
Сбор	Организация процесса точечного сбора ООТО на местах их производства или на месте дальнейшего обращения	Да, обязательно
Хранение	Складирование на специальных объектах с целью дальнейших мероприятий по обращению с отходами (сроком более 11 месяцев)	Да, допустимо
Сортировка	Разделение собранных отходов по типу, виду, классу опасности, агрегатному состоянию	Да, обязательно
Утилизация	Использование отходов в качестве сырья для: • производства;	Да, обязательно

Мероприятие	Суть	Применимость
	• оказания услуг; • рекуперации; • рециклинга; • регенерации; • энергетическая утилизация	
Захоронение	Конечный этап утилизации отходов – изоляция непригодных к дальнейшей утилизации отходов с целью недопущения попадания вредных веществ в окружающую среду	Да, допустимо
Обезвреживание	Уменьшение массы, изменение состава и физико-химических свойств отходов для снижения негативного влияния на окружающую среду (кроме мероприятий, относящихся к утилизации)	Да, допустимо

Примечания:

1. Сбор ООТО – процедура, которая должна соответствовать требованиям, предъявляемым к операторам ОСО, обязательным образом требуется к исполнению на всех предприятиях и учреждениях, производящих ООТО, а также в специально установленных местах – для сбора ООТО от населения;

2. Сортировка ООТО – может и должна выполняться в соответствии с реализуемой программой мероприятий ОСО в регионе, рекомендуется выполнение многоступенчатой сортировки;

3. Утилизация ООТО – применяется с условием детального подхода к ООТО по типу, виду, классу опасности и агрегатному состоянию;

4. Захоронение ООТО – преимущественно для прошедших процедуру утилизации ООТО, либо для неутилизируемых ООТО;

5. Обезвреживание ООТО – целесообразно для повышения эффективности функционирования системы ОСО.

Непосредственно в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области реализуется преимущественно захоронение ООТО без предварительной обработки, т.е. сортировки, утилизации, обезвреживания. В вопросе выбора пути реализации обращения с отходами в России очевиден консервативный подход, потому захоронение – самый простой и дешевый способ, однако, не соответствующий в полной мере принципам экологической безопасности и энергоэффективности.

Детальное сравнение методов утилизации и обезвреживания отходов проводить нецелесообразно ввиду общего высокого уровня опасности реализации данных путей решения вопроса обращения с ООТО, потому мусоросжигание (известный, получивший достаточно широкое распространение метод, суть которого в непосредственном сжигании отходов в специализированных котлах с последующим обезвреживанием, сепарацией шлаков, рециклингом и захоронением – цепочка может быть разной) для данного типа отходов неприменимо.

3.2. Утилизация и обезвреживание особо опасных и токсичных отходов

Утилизация и обезвреживание отходов – ключевой процесс всего обращения с отходами, поскольку именно от проводимых на данном этапе мероприятий зависит, каким будет эффект:

- это может быть сдерживание потенциальной угрозы максимально доступными и простыми способами (по большей части – реализуемая сегодня стратегия в обращении с ООТО);
- это может быть сугубо предметный подход – индивидуальная обработка (источник ООТО сам занимается ликвидацией последствий своей деятельности);
- это может быть универсальный подход, позволяющий достигать желаемого результата в промышленных масштабах, концентрируя проводимые мероприятия на определенной территории.

Первый путь являет собой рекурсивный подход, перекладывающий ответственность на будущее, не решая проблему здесь и сейчас. Допустима реализация подобных мер в случае определенных затруднений, вызванных бедствиями или авариями, но только в формате временной меры.

Второй путь чреват осложнениями в части контроля за соблюдением требований по ПДК опасных веществ в окружающей среде и недобросовестным исполнением возложенных обязанностей со стороны промышленных предприятий.

Несмотря на очевидные риски, связанные с транспортировкой и повышением удельной концентрации особо опасных и токсичных отходов и их производных на определенной территории, третий путь при должном уровне проработки позволяет обеспечивать высокий уровень экологической безопасности и энергетической эффективности.

Принимая во внимание все плюсы и минусы, очевидным становится то, что единственного пути реализации обращения с ООТО недостаточно для эффективной деятельности отрасли. Далее рассмотрим методы утилизации ООТО подробнее.

3.2.1. Газообразные отходы

Газообразные отходы в промышленности широко представлены:

- газовые выбросы промышленных печей и вентиляционных установок, сушилок;
- различные отходящие газы технологических установок (продукты сгорания (дымовые газы) парогенераторов и печей);
- газы, обладающие сильным запахом, содержащие дисперсные твердые частицы (пыль) или жидкие частицы в виде тумана, а также газы с содержанием, HCl, HF, паров органических веществ и др.;
- попутные нефтегазодобыче и нефтепереработке газы;
- паровоздушные смеси, загрязненные токсичными примесями.

Если с дисперсными загрязнениями, дымовыми газами и хлорофтористыми соединениями есть отработанные технологии по их улавливанию и отделению, то попутные нефтегазодобыче и нефтепереработке газы – серьезная проблема отрасли из-за из сложного и непостоянного состава – именно на примере такого газа рассмотрим утилизацию газообразных ООТО.

Нефтяная промышленность в России является одной из крупнейших отраслей экономики. Глобальный рост энергопотребления, тенденции по охране окружающей среды и политика ресурсосбережения требуют повышения энергоэффективности в промышленности. Снижение нецелевых затрат, потерь с выбросами в окружающую среду и вред экологии, использование всех возможных источников энергии – один из вариантов решения назревающих проблем в связи с высоким уровнем загрязнения атмосферы и низкой энергоэффективностью в связи с кризисом энергетических ресурсов.

Процессы нефтедобычи и нефтепереработки непосредственным образом связаны с высвобождением горючих газов, которые не являются целевым продуктом, отчего возникает необходимость утилизации особо опасного побочного продукта производства. Традиционная методика утилизации попутного газа заключается в непосредственном сжигании газа в факелах, в некоторых случаях – после предварительной очистки, если таковая необходима, что затратно и трудоемко. В условиях сложившейся политики повышения энергоэффективности производства, снижения потерь в виде неиспользованных потенциалов и ресурсов, а также в рамках борьбы за сохранение окружающей среды и повышение экологической стабильности и безопасности, реализация концепции утилизации попутных газов с выходом полезной энергии представляется перспективной и многообещающей, а учитывая тот факт, что нефтепереработка – производство непрерывное, установка по энергетической утилизации попутного газа будет покрывать долю собственных нужд предприятия, поэтому электроэнергия, продуцируемая на малых ГТЭС, не уходит в электрическую сеть.

Итак, решение проблемы образования газообразных ООТО в виде попутного нефтегазодобыче и нефтепереработке газа требует сформировать концепцию его утилизации, оценить перспективы и целесообразность промышленного использования мини-ГТЭС на попутном газе, рассчитать потенциальный и оценить экономический эффект, вычислить его низшую теплоту сгорания (по результатам химического анализа); обосновать целесообразность утилизации попутного газа в рамках малой энергетики и обращения с ООТО.

На примере ряда проектов сооружения ГТЭС на попутном нефтедобыче газе можно оценить масштабы требуемых затрат, территорий под строительство, продуктивность работы станции, потенциальную продолжительность работы с учетом запасов газа в месторождениях и удельную стоимость 1 кВт производимой энергии. В случае сжигания газа, попутного нефтепереработке, запасы и потенциальный выход газа – не ограничены, что подчеркивает рентабельность и экономическую привлекательность проекта.

Анализ попутного газа нефтеперерабатывающего предприятия (таблица 3.2.1) дает возможность осуществить первичную оценку его свойств и перспективы использования в качестве топлива для эффективной утилизации.

Таблица 3.2.1

Результаты анализа попутного нефтепереработке газа
(усредненные за квартал в период с 01.01.2018 по 30.03.2018 г.)

Определяемый компонент	Ед. изм.	Результат анализа
Водород (H_2)	моляр-ная доля, %	33,1
Метан (CH_4)		54,3
Этан (C_2H_6)		5,2
Этилен (C_2H_4)		0,00995
Пропан (C_3H_8)		4,02
Пропилен (C_3H_6)		0,00497
Изо-бутан (i-C_4H_{10})		2,12
Н-бутан (n-C_4H_{10})		0,826
Бутилен (C_4H_8)		0,0149
Изо-пентан (i-C_5H_{12})		0,205

Определяемый компонент	Ед. изм.	Результат анализа
Н-пентан (n-C_5H_{12})		0,0828
Пентен (C_5H_{10})		0,00482
Сумма гексанов (C_6H_{14}), гептанов (C_7H_{16}), октанов (C_8H_{18}) и нонанов (C_9H_{20})		0,0877
Сероводород (H_2S)		0,0231
Плотность абс. при 20 ºС и 101325 кПа	кг/м^3	0,613
Теплота сгорания низшая	ккал/м^3	7632

Расчет низшей теплоты сгорания рассматриваемого газа проведем по формуле 3.2.1.1, таким образом: $Q_н$ = 7594 ккал/м^3 (природный газ – 8000 ккал/м^3), что удовлетворяет минимальным требованиям по ГОСТ 5542-87 [76]. Опираясь на высокую точность анализа, подчеркнем, что расчет низшей теплоты сгорания позволяет получить данные с неопределенностью в 0,5% и может рассматриваться в качестве критерия при оценке качества газа.

$$Q_н = \sum_{i=1}^{n} Q_{нi} C_i \qquad (3.2.1.1)$$ [77],

где: $Q_{нi}$ – низшая теплота сгорания i-го компонента газа, C_i – доля i-го компонента в газе (таблица 3.2.2).

Таблица 3.2.2

Низшая теплота сгорания компонентов природного газа (при 20ºС 101,325 кПа)

$Q_{нi}$	Компонент										
	H_2	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	H_2S	C_6H_{14}	C_7H_{16}	C_8H_{18}	C_9H_{20}
ккал/м^3	2400	7980	14300	20670	27235	34400	5200	38540	44630	50690	57030

Максимальная разовая ПДК сероводорода в смеси с алициклическими предельными углеводородами, согласно ГОСТ 22387.2-2014 [78], не должна превышать 3 мг/м^3, тогда как для анализируемого газа (смеси газов) составляет 328 мг/м^3, это обуславливает необходимость серьезных мероприятий по очистке и

подготовке к утилизации, что также способствует снижению коррозионной активности газа при транспортировке, переработке и использовании [79]. По мнению автора, самым перспективным способом очистки является физическая адсорбция, которая позволяет проводить глубокую очистку газа от сероорганических соединений и легко реализуется на практике. Альтернативным способом снижения концентрации сероводорода и тяжелых углеводородов является подмешивание к попутному газу дизельного топлива и/или топливного газа, что снизит также негативное влияние на состояние оборудования и значительно увеличит межремонтный пробег и эффективность работы установки.

Помимо прочего, сжигание попутного газа в факелах влечет за собой наложение материальных санкций на предприятия, среди которых порядка 80% составляют нефтеперерабатывающие и нефтедобывающие [80]. Также взимается плата в виде штрафа за превышение ПДК ряда веществ в окружающей среде и эмиссии вредных и ядовитых составляющих (сероводород, меркаптаны и др.).

В этой связи, установка и эксплуатация газовых турбин, спроектированных на работу на попутном нефтяном газе (в том числе – разбавленном топливным газом), в составе мини-ГТЭС – возможность утилизации попутных газов с непосредственной выработкой электроэнергии. Использование более привычных для отечественной энергетики паровых котлов для сжигания и преобразования энергии не рассматривается, поскольку сооружение и обслуживание всей необходимой инфраструктуры (химводоподготовка, система оборотного водоснабжения, воздушное хозяйство) и самого котла – колоссальные капитальные затраты и огромные площади.

Под мини-ГТЭС следует понимать газотурбинные электростанции малой мощности (от 100 кВт и до 25 МВт единичной мощности агрегатов), они обладают высокими КПД и маневренностью, небольшими габаритами и могут работать как на природном газе, так и на дизеле, керосине и попутном нефтяном газе.

Один нефтеперерабатывающий завод средней мощности вполне может обеспечить мини-ГТЭС мощностью порядка 20 МВт топливом, тогда как это покроет пятую часть собственных нужд предприятия по электроэнергии [81].

Химический анализ попутного нефтепереработке газа и расчеты на его основе показали количественно его энергетическую ценность, а комплексный подход к подготовке и утилизации газа в рамках развития малой энергетики в форме мини-ГТЭС на базе нефтеперерабатывающих предприятий позволит генерировать электроэнергию на нужды предприятия, сокращая тем самым расходы на собственные нужды, исключая необходимость оплаты штрафов за нецелевое использование и ненадлежащее обращение с побочными продуктами нефтепереработки и минимизируя эмиссию патогенов и ядовитых веществ в окружающую среду, что повышает экологическую безопасность в районе деятельности предприятия и снижает уровень загрязнения атмосферы.

3.2.2. Твердые отходы

Применительно к твердым отходам традиционно поднимается вопрос утилизации посредством сжигания или пиролиза, однако, учитывая характер утилизируемого продукта, реализация данных методик непосредственно – потенциально опасна, они неприменимы.

Сжигание

Сжигание отходов на мусоросжигающих заводах могло бы быть самым распространённым, удобным, универсальным и рентабельным способом утилизации как ООТО, так и ТКО и ТБО, однако, при сжигании последних образуются в значительном количестве токсичные газы – диоксины, фураны и т.д., требующие серьёзной системы очистки уходящих газов, и крайне токсичные вещества типа бенз(а)пирена, что до особо опасных с неизвестным точно химическим составом – непозволительно подвергать их утилизации данным методом, это необоснованный риск и угроза безопасности окружающей природной среде, а анализировать весь поток поступающих отходов не представляется возможным. В таблице 3.2.3 представлены некоторые положения, касающиеся непосредственного сжигания отходов.

Таблица 3.2.3

Некоторые аспекты процесса утилизации ООТО методом сжигания

Достоинства	Недостатки
Высокий уровень обеззараживания и обезвреживания отходов	Режим процесса сжигания отходов и их горение непостоянно и в температурной зоне ~800 °С (низкотемпературное сжигание) происходит выделение загрязняющих веществ и мелкодисперсных частиц, система очистки многократно увеличивает капитальные вложения
Гомогенизация и снижение исходной массы отходов в 4 раза, объема – в 10 раз	Не соответствует стратегии повышения уровня энергетической эффективности производства и приводит к уничтожению значительной части пригодного к вторичному использованию сырья
Сокращение расходов на транспортировку (МСЗ можно строить чаще, чем полигоны)	Особенности как химического, так и морфологического состава усложняют реализацию процесса и требуют обязательной сепарации
Возможность реализации энергетической утилизации	Продуктивность работы энергетического оборудования, использующего в качестве топлива отходы при энергетической утилизации посредством сжигания – нестабильна, поскольку варьируется состав и теплотворная способность топлива ввиду непостоянства состава

Достоинства	Недостатки
	Любые модернизационные решения, призванные решить вышеперечисленные проблемы, делают данный способ утилизации нерентабельным

Таким образом, технология сжигания отходов не дает желаемого эффекта, создает высокий уровень риска безопасности окружающей среды, высокие капитальные затраты, что в совокупности препятствует широкому внедрению, несмотря на существующие преимущества и простоту технологии.

Пиролиз

Данный процесс сегодня становится все чаще предметов дискуссии, ведь его применимость очень широка благодаря особенностям протекания физико-химических и термических процессов. Пиролитический процесс происходит при недостатке или без доступа кислорода и представляет собой термическую деструкцию, которая позволяет расщепить исходные продукты (преимущественно – органические соединения) и обеспечивает химическую необратимость и рекомбинацию продуктов расщепления (стабильных веществ) – пиролизного газа, твердого углеродистого остатка и жидких углеводородных соединений в виде смол. Концентрация продуктов, их состав и качество зависят, прежде всего, от исходного морфологического и химического состава отходов и параметров пиролитического процесса [82].

Технология позволяет значительно сократить объем отходов за счет высокой плотности конечного продукта; обеспечивает легкость транспортировки и хранения конечного продукта; продуцирует синтез-газ, что значительно упрощает реализацию энергетической утилизации отходов и генерации электрической и тепловой энергии; практически не сопровождается выбросами в окружающую среду; ввиду отсутствия патогенных выбросов в окружающую среду, пиролизная утилизация не облагается штрафами и санкциями; в ходе пиролиза не уничтожаются полезные вещества, содержащиеся в тех или иных отходах, а они

могут быть использованы с получением определенной выгоды; строительство и глобальное распространение пиролиза стимулирует локализацию производства отечественного оборудования, что соответствует реализуемой политике импортозамещения.

Пиролиз – непростой и многоступенчатый процесс, классифицируемый по температурному режиму процесса, которые, соответственно, также различаются соотношением и наполнением выходных продуктов: низкотемпературный (НТП) (до 500 °С), среднетемпературный (500-800 °С) и высокотемпературный (ВТП) (свыше 800 °С) [83].

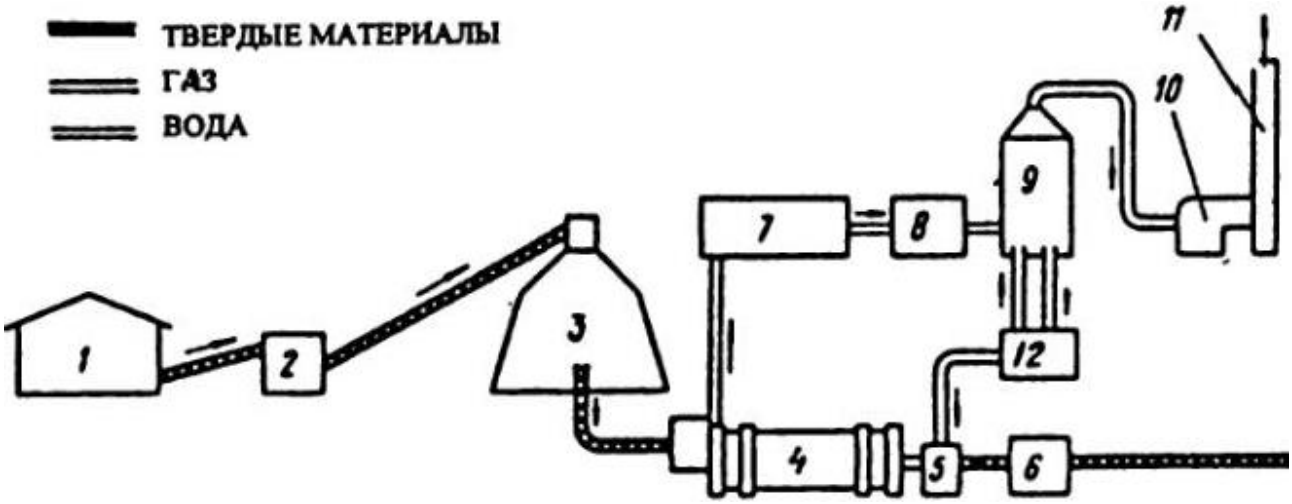

Рис. 3.2.2.1 – Технологическая схема установки термической обработки отходов методом НТП фирмы «Монсанто» – «Ландгард» [9]

На рис. 3.2.2.1 представлены технологическая схема установки, реализующей технологию НТП. Отходы направляются из бункера (1) в дробилку (2) по двум виброжелобам, после чего поступают в бункер дробленых отходов (3) и непрерывно подаются во вращающуюся печь (4). Перемещение отходов в печи осуществляется за счет того, что она установлена с небольшим наклоном, термическая защита печи выполняется за счет футеровки стенок. В противоток пиролизируемым отходам в печи движутся обогреваемые газы, а ввиду эндотермичности процесса в печи подается дополнительное топливо.

Непиролизируемые остатки (твердый остаток и смолы) поступают в шлаковую ванну (5), расположенную в конце печи, в которой реализуется непрерывная циркуляция воды из скруббера (9), выполняющего функцию фильтра для очистки уходящих газов. Шлак после ванны подается на магнитный сепаратор (6), после чего на выходе охлажденный и освобожденный от металлов твердый остаток представляет собой стеклосодержащее темное вещество.

Пиролизный газ полностью сгорает в футерованной камере (7) при подаче дополнительно воздуха. Выделяющаяся в процессе пиролиза отходов и сжигания пиролизного газа теплота используется в парогенераторе (8) для производства пара. Отходящий газ после охлаждения в парогенераторе, проходя скруббер, посредством дымососа (10) через дымовую трубу (11) отводится в атмосферу и рассеивается. Используемая в скруббере и шлаковой ванне вода проходит очистку в специальной установке (12).

Несмотря на достаточно простое устройство и экологичность процесса, данный вариант технологии не может быть применим к ООТО, прежде всего, из-за низкого температурного режима, который не позволяет уничтожать опасные соединения.

Некоторые преимущества имеет процесс высокотемпературного пиролиза и позволяет более глубоко и интенсивно преобразовывать исходный продукт, так повышается скорость реакции и темпы ее роста, что обусловлено увеличением температуры протекания процесса, это в свою очередь позволяет произвести более полное выделение летучих продуктов и сократить количество твердого остатка.

Важной особенностью процесса высокотемпературного пиролиза является основной элемент пиролитической установки – реактор, внешне напоминающий шахтную печь (на рис. 3.2.2.2). Ввиду особенности технологии протекающего процесса, реактор – массивная конструкция, в котором периодически загружаемые в горловину (1) верхней части отходы (8) поступательно под действием собственной массы и силы тяжести двигаются сквозь шахту, условно разделенную на три части/зоны: сушки (7), пиролиза (6), сгорания и плавления (4).

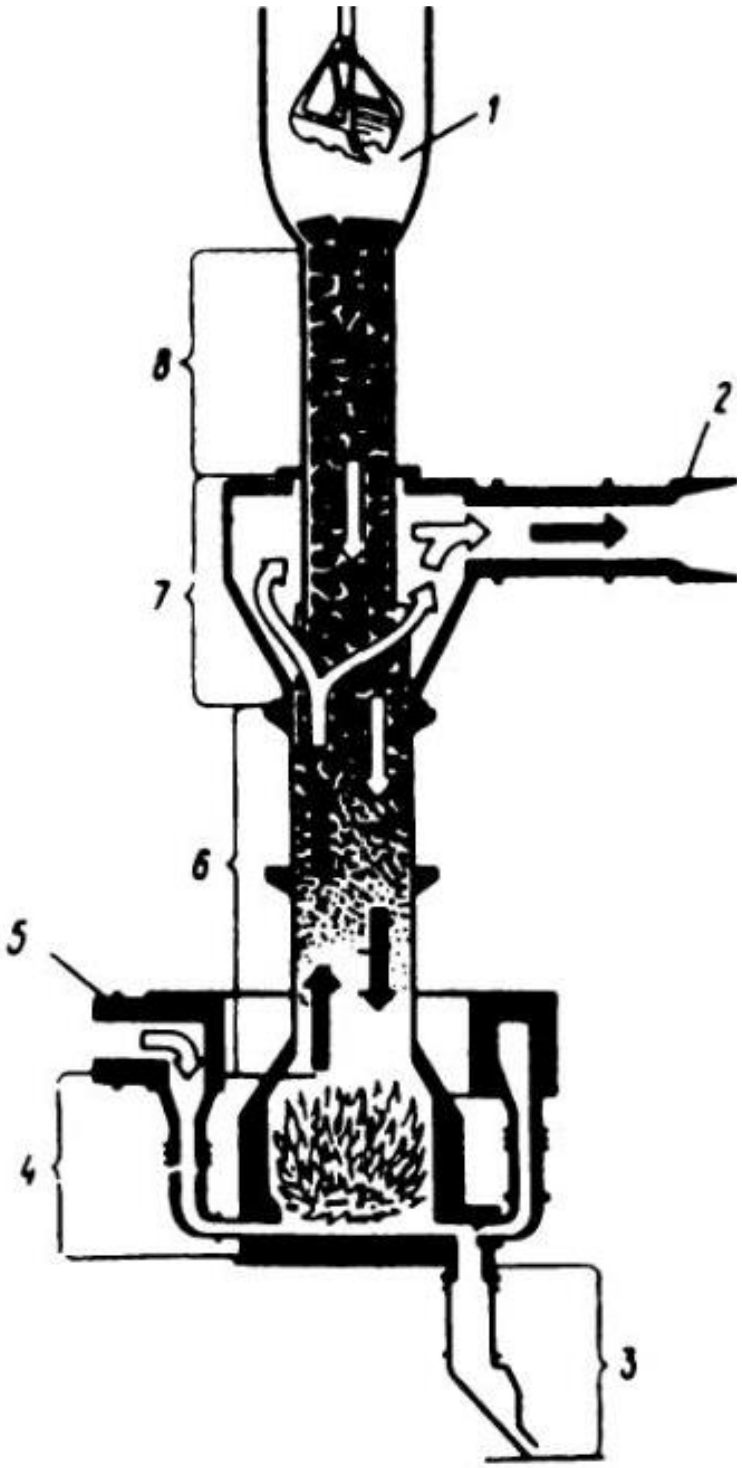

Рис. 3.2.2.2 – Реактор установки для высокотемпературного пиролиза [9]

Благодаря вертикальной конструкции, горючие газы из нижней зоны (сгорания и плавления) поднимаются и отдают теплоту в зонах сушки и пиролиза, тогда как через специальный канал (5) происходит подача горячего воздуха в зону горения.

Недостаток воздуха в зоне пиролиза реализуется также посредством использования особенностей конструкции, так отходы перекрывают собой сечение

шахты и препятствуют подсосу воздуха в зону пиролиза, пока присутствуют в зоне сушки и отдают там влагу. В зоне пиролиза происходит выделение углерода и инертного материала, которые отводятся через специальный канал (3), а также образование горючего (пиролизного) газа, который поднимается и улавливается специальным кольцеобразным каналом (2), где вместе с паром (образовался в зоне сушки) отсасываются вентилятором.

Средняя теплота сгорания непрерывно продуцируемого пиролизного газа, основными компонентами которого являются водород, оксид углерода и метан, составляет, в зависимости от состава отходов и организации процесса, порядка 6680–10450 кДж/м^3. Пиролизный газ, в отличие от природного, не содержит соединений серы и азота. Углеродистый остаток и кокс, получаемый в результате пиролиза, может быть пригоден к дальнейшему использованию.

Главные достоинства пиролиза: экологическая чистота (снижение более чем в 2 раза эмиссии вредных компонентов, в сравнении с традиционной термической обработкой отходов), универсальность (пиролизный газ может быть как сразу сжигаться, так и резервироваться и храниться, транспортироваться), снижение объемов не подлежащего обезвреживанию материала (доля непиролизируемого остатка невелика) и другие.

Как НТП, так и ВТП могут быть реализованы и посредством использования других конструкция реактора или наполнением элементов принципиальной схемы, что может привести к повышению доли отвода пиролизного газа либо к увеличению степени его чистоты, также можно регулировать степень пиролизации отходов температурным режимом и агрессивностью условий, однако, даже ВТП не обеспечивает достаточного уровня разложения ООТО, таким образом, применение данного метода невозможно.

Плазменный способ утилизации отходов

Плазменная или плазмохимическая технология используется для утилизации и переработки высокотоксичных отходов, что также совмещает обезвреживание особо опасных компонентов и производство ценных товарных продуктов.

Принципиальное преимущество данного способа – это, очевидно, температурный уровень, который при плазменной утилизации может быть выше 4000 °С.

Процесс плазменной утилизации происходит в плазменной печи или плазмотроне, где за счет энергии электрической дуги при такой температуре любые отходы, даже кислород, расщепляются до электронов, ионов и радикалов. Степень разложения токсичных отходов достигает 99,99995%.

Ряд сложностей, связанных с плазмохимической технологией, и высокие затраты энергии обуславливают тот факт, что широкое ее применение целесообразно проводить только для тех отходов и веществ, утилизация и обезвреживание которых невозможна иными огневыми или термическими способами.

На рис. 3.2.2.3 представлена одна из возможных типовых компоновок плазмотрона и отражен принцип его работы. Для осуществления протекания процесса в полость плазмотрона (1) подается специальный плазмообразующий газ (водород, азотоводородная смесь и др.) и нагревается электрической дугой до температуры 4000–5000 °С, электроэнергия подается от источника (4). Образующаяся плазма (низкотемпературная) поступает через сопло плазмотрона в плазмохимический реактор (2), где твердые отходы, а через форсунки подаются жидкие отходы.

В реакторе происходит испарение отходов и их термическое разложение (высокотемпературный пиролиз) с получением соединений углеводородов, соединений с водородом и технического углерода (сажи). В закалочном устройстве (3) происходит скоростная закалка, охлаждение и очистка от сажи, после чего газ пригоден для использования. Себестоимость конечных продуктов, получаемых на выходе после плазмохимического процесса низкая из-за того, что исходное сырье – неутилизируемые отходы, а сам цикл с высокой степенью окупаемости.

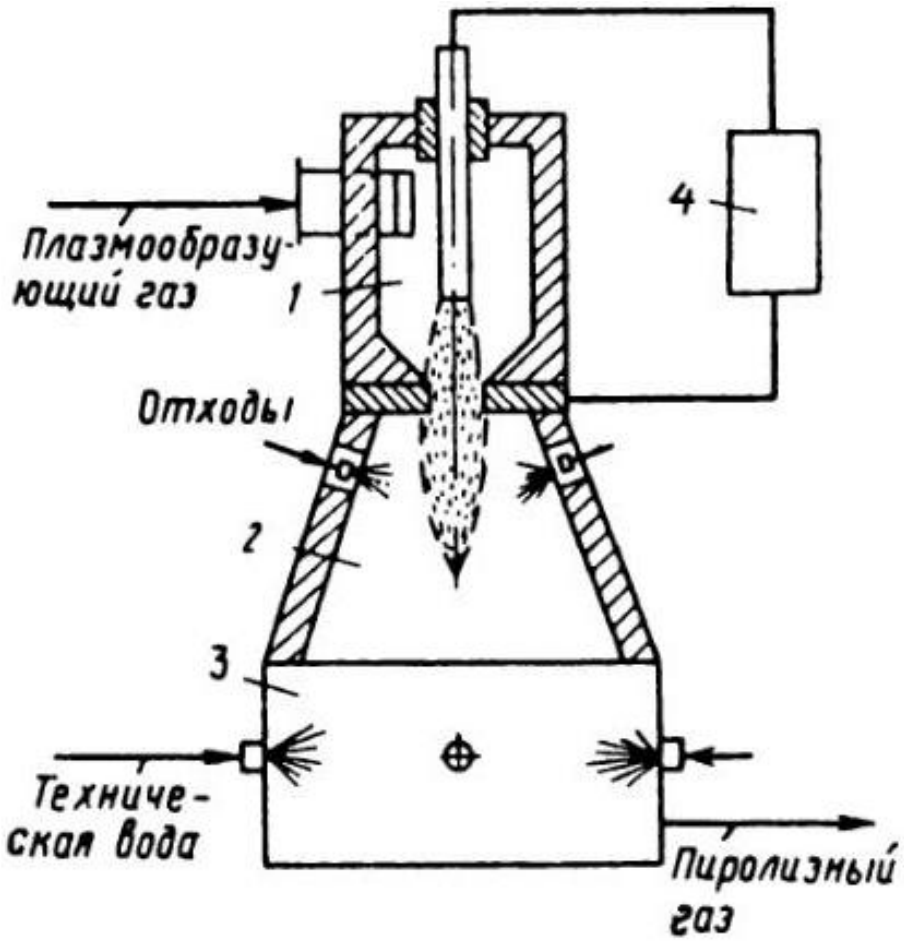

Рис. 3.2.2.3 – Схема устройства плазменного агрегата [9]

Очевидные первостепенные преимущество плазменной технологии позволяют выделить ее, как перспективный способ утилизации, однако, в подобной компоновке промышленные масштабы утилизации твердых отходов затруднительны и малорентабельны, отчего данный способ теряет свою универсальность, что также является одним из определяющий факторов.

Плазменно-пиролитический способ утилизации отходов

Необходимость интеграции в систему ОСО радикальной системы утилизации ООТО требует более эффективного решения. Общепринятые технологии, нашедшие определенное распространение и востребованность, не удовлетворяют тем жестким и обязательным требованиям, которые предъявляются к технологии утилизации ООТО и конечных продуктам, а разнообразие ООТО как морфологическое, так и химическое, делает невозможным индивидуальный подход.

Ввиду повышенной степени опасности, проведение каких-либо мероприятий по обращению с ООТО сопровождается предварительной их подготовкой, а также послеутилизационным захоронением, что в случае недостаточного разложения требует также дополнительной изоляции посредством цементирования зольного остатка или его консервации. Такие технологии и решения, позволяющие первично справиться с ООТО и угрозой, исходящей от них, не предусматривают существенных изменений и стабилизации физико-химических свойств ООТО, откладывая проблему на определенный срок.

Необходима универсальная установка для обеспечения возможности утилизации смешанных отходов различного состава, агрегатного состояния, типа и вида, технологический процесс которой позволяет нейтрализовать опасные вещества в составе отходов – плазменно-пиролитическая установка (ППУ) шахтной компоновки предназначена именно для таких целей, продукт переработки пригоден для длительного захоронения, причем выдерживает свою химическую и физическую стойкость без дополнительных мероприятий и, что важно, не содержит органических материалов, это также способствует прочности продукта.

Примером реализации технологии, удовлетворяющей многочисленным требованиям вопроса обращения с отходами, является установка «Плутон» разработки ГУП МосНПО «Радон», предназначена она для сжигания твердых радиоактивных отходов и отходов сложной морфологии в одну стадию с высоким коэффициентом сокращения объема продукта и выделением стеклоподобного плавленого шлака, пригодного для безопасного захоронения. На рис. 3.2.2.4 представлен разрез и устройство плазменно-пиролитической установки [84, 85].

Отходы периодически поступают через узел загрузки (1) в установку и подвергаются высокотемпературному пиролизу в вертикальной шахте установки (2) (печи шахтного типа) в условиях недостатка кислорода, плавятся (3) в окислительной среде за счет поступающих горячих газов, нагревающих рабочую массу до температур порядка 2500 °С, от узла с интегрированными дуговыми плазмотронами постоянного тока (5), позволяющими поднять температуру в ак-

тивной зоне плазменной части установки до 4000–5000 °С. Выделяющихся в процессе пиролиза пиролизный газ улавливается специальным откном для выхода пирогаза (7), а образующийся в процессе шлак через узел слива (6) поступает в бокс приема шлака (4). Плавленый шлак по виду напоминает стекловидный слиток с градиентом цветов и неоднородной структурой, фактически – это базальтоподобный монолит, принципиальной и укрупненно состоящий из:

- оксида алюминия ~ 28% массы;
- оксида кремния ~ 56% массы;
- оксида натрия ~ 2,5% ÷11% массы.

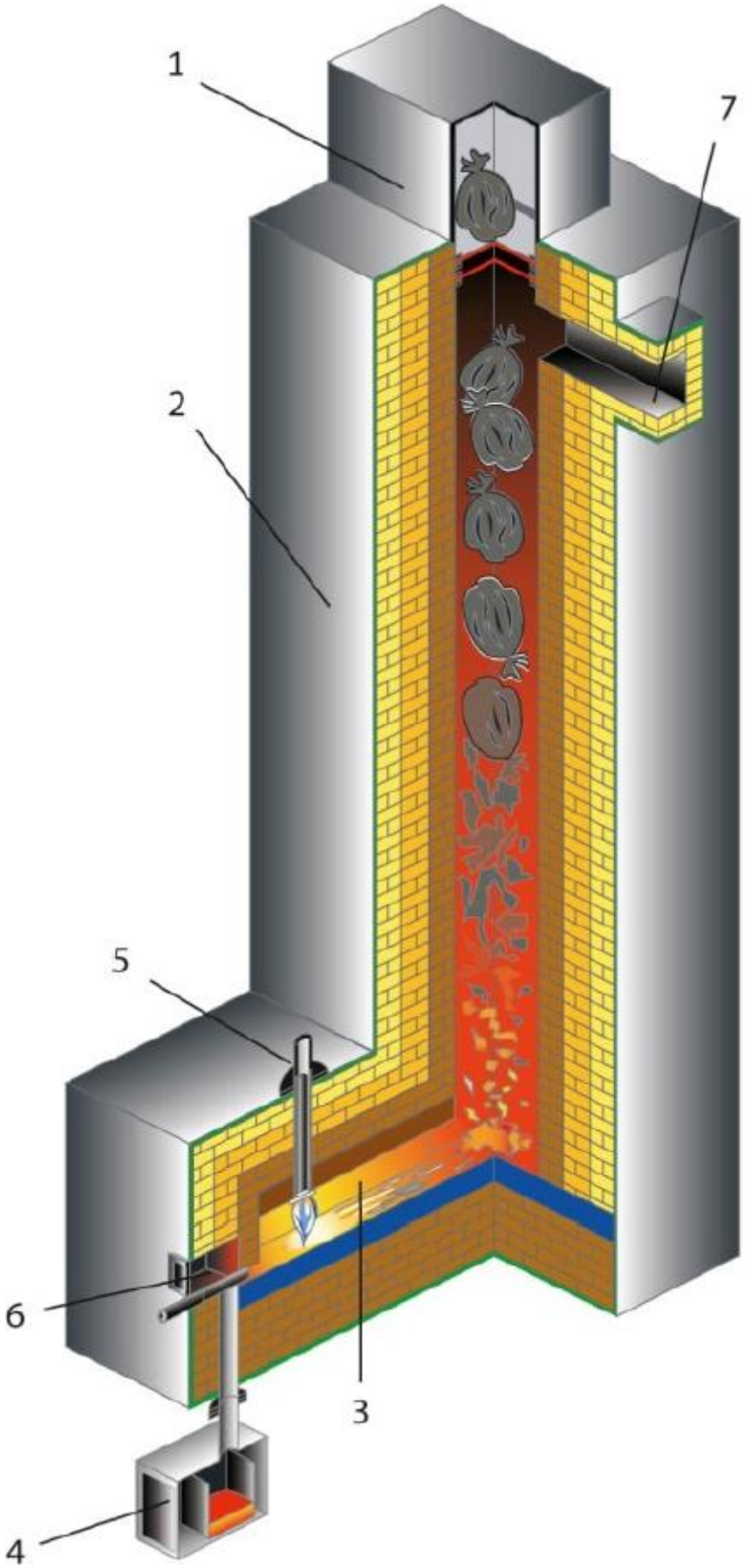

Рис. 3.2.2.4 – Принципиальная схема устройства шахтной печи плазменно-пиролитической установки «Плутон»

В данном случае шлак выступает в роли ловушки для тяжелых металлов и особо опасных составляющих ООТО, тогда как все летучие, пригодные к дальнейшему использованию, отделяются на этапе пиролиза. Критерием устойчивости и целостности шлака выступает плотность, которая составляется 2,5–3,5 г/см^3. Помимо физической крепкости шлака, он устойчив и к химическому воздействию, а скорость выщелачивания, как критерий постоянства состава шлака, на примере натрия на порядок ниже аналогичного показателя для боросиликатных стекол и на 2-3 порядка относительно цементных матриц (натрий – один из самых эндемичных по подвижности элементов), поэтому подобный формат отпуска конечного продукта рассматривается близким к совершенному способу консервации радиоактивных элементов и особо опасных и токсичных компонентов.

Производительность плазменно-пиролитической установки «Плутон» в стандартной компоновке составляет ~200÷250 кг/ч, однако, ее использование без специальных подготовительных процедур с целью утилизации и обезвреживания ООТО разной морфологии – затруднительно, целесообразно производить подготовку жидких отходов, а именно – их выпаривание и концентрацию. На рис. 3.2.2.5 представлена схема предполагаемой утилизационной установки.

Проект универсальной установки для утилизации ООТО представляет собой компоновку плазменно-пиролитической установки, включающую выпарную установку с доупаривателем, надстроенная двумя теплообменными аппаратами.

Непосредственное назначение выпарной установки (ВУ) в данной конфигурации состоит в отделении излишков влаги от вещества (активных и неактивных примесей) методом дистилляции, такие установки используются в комплексах спецводоочистки, например, на АЭС. В данной ВУ отсутствует традиционная часть по дегазации (конденсатор-дегазатор) ввиду его массивности и сравнительно невысоких параметров протекания процесса по тракту пар-вода. В случае увеличения удельной мощности ППУ и повышения температуры и давления в цикле целесообразно дооснащение схемы дегазатором [86].

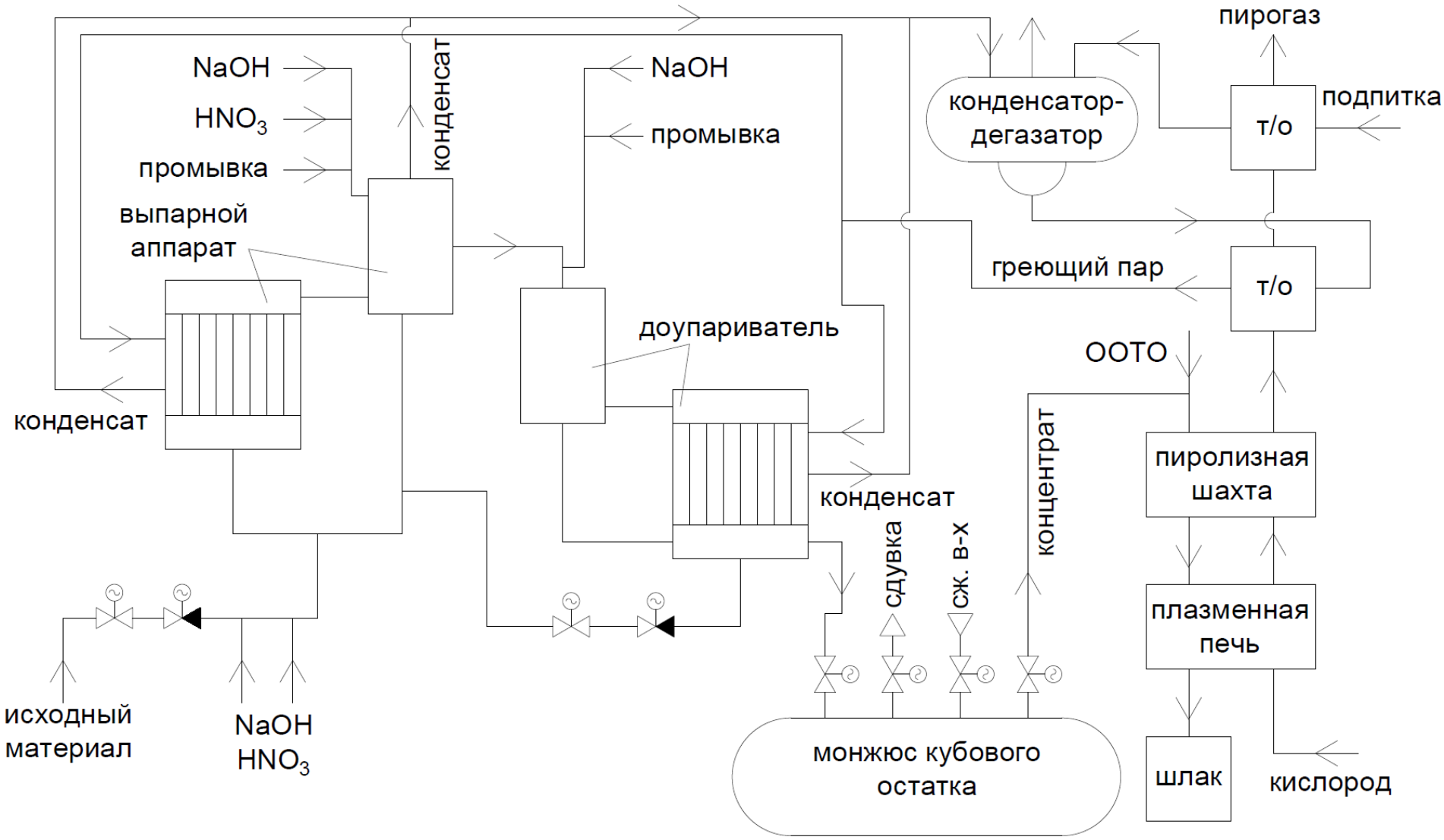

Рис. 3.2.2.5 – Принципиальная схема модернизированной плазменно-пиролитической утилизационной установки

Основные элементы ВУ предполагаемой компоновки являются:

- выпарной аппарат;
- доупариватель;
- монжюс кубового остатка;
- конденсатор-дегазатор;
- парогенератор;
- подогреватель подпиточной воды.

К выпарному аппарату и доупаривателю подводится греющий пар от парогенератора, в который поступает дегазированный слив питательной воды конденсатора-дегазатора (аккумулятор воды в системе, точка слива конденсата). Для компенсации потерь рабочего тела в системе схема дополнена источником подачи подпитки и ее первичного подогрева. На принципиальной схеме не показаны элементы схемы технического водоснабжения, которые используются, в основном, для охлаждения элементов, например, насосов питательной (дегазированной) воды.

Важным элементом установки является система подачи реагентов, которыми в данном случае выступают растворы гидроксида натрия (NaOH) и азотной кислоты (HNO_3), это необходимо для осуществления щелочных и кислотных промывок, с целью поддержания водно-химического режима работы ВУ предусмотрена дозировка реагентов.

Использование теплоты уходящих газов и отводимого пирогаза в системе повышает общий КПД работы установки и позволяет сократить эксплуатационные затраты, что очень важно в свете низкой рентабельности утилизации ООТО. Пирогаз пригоден как для аккумулирования, так и для непосредственного использования, например, в системе парогенерации на нужды установки (традиционный парогенератор в схеме не показан ввиду отсутствия принципиальной важности, однако, его наличие необходимо для обеспечения греющим паром достаточно высокого качества).

Преимущества данной установки для утилизации ООТО:

- пригодна для утилизации и обезвреживания любых особо опасных и токсичных отходов (важным аспектом является применимость данной установки для утилизации и обезвреживания радиоактивных отходов низкого и среднего уровня загрязнения), в том числе смешанного типа и сложного состава, в промышленных масштабах,;
- обеспечивает высокую экологичность ввиду отсутствия прямого сжигания отходов, закрытого цикла работы установки и агрессивных параметров протекания процессов;
- осуществляет генерацию пирогаза с возможностью его последующего использования (не содержит примесей в виде соединений серы и азота);
- неутилизируемый остаток несоизмеримо мал по сравнению с исходными отходами и имеет физико-химические свойства, позволяющие проводить захоронение без дополнительных дорогостоящих мероприятий и многолетнего контроля и обслуживания полигона или могильника;
- высокая энергетическая эффективность установки ввиду интегрированных систем утилизации сбросной теплоты посредством интегрированной системы сбора отработавшего конденсата и надстроенных в технологический цикл работы установки теплообменных аппаратов, использующих теплоту уходящих газов и пирогаза.

Резюмируя представленный выше анализ методов утилизации отходов, интегрирование в систему обращения с ООТО плазменно-пиролитической установки для утилизации особо опасных и токсичных отходов различной морфологии и химического состава создаст возможность для радикальных изменений в лучшую сторону в ситуации вокруг обращения с особо опасными и токсичными отходами, позволит реализовать процесс утилизации энергетически эффективным и экономически выгодным без вреда безопасности окружающей среды, с улучшением показателей по эмиссии потенциально опасных веществ в атмосферу и с полезным побочным продуктом в виде пирогаза, пригодного к дальнейшему использованию, превосходящего по чистоте природный газ (в его составе нет серы и азота).

Производительность данной схемы для подготовки и утилизации ООТО составляет 200–250 кг/час, таким образом, ежегодно можно подвергать обработке до 2200 тонн отходов и загрязненных веществ только на одной установке.

Радиоактивные отходы

Утилизация радиоактивных отходов и облученных веществ не является вопросом исследования в рамках данной работы, однако, предлагаемая технология и метод для утилизации особо опасных и токсичных отходов применим также и к радиоактивным отходам средней и низкий активности. Высокий коэффициент сокращения объемов радиоактивных отходов, одностадийность процесса, невосприимчивость к морфологии и составу отходов и кондиционированный стекловидный конечный продукт, пригодный для захоронения и длительного хранения – решение важной проблемы атомной отрасли, что также повышает экономическую эффективность обращения с радиоактивными отходами.

Практика ГУП МосНПО «Радон» показывает, что удельные капитальные затраты на создание подобной установки и эксплуатационные расходы на переработку твердых РАО (ТРО) плазменным методом (на единицу массы перерабатываемых отходов) за счет высокой производительности плазменной установки не превышают затрат на сжигание. При этом установка способна перерабатывать одновременно отходы, поступающие на сжигание, плавление, прессование и суперкомпактирование. Плазменная переработка ТРО исключает также стадию цементирования продукта сжигания РАО – зольного остатка [87].

Широкий спектр отходов, принимаемых на переработку, и одностадийный процесс получения продукта, пригодного для длительного хранения, определяют преимущества плазменного метода по сравнению со сжиганием.

Применение плазменно-пиролитического метода переработки радиоактивных отходов в шахтной печи наиболее экономически оправдано на атомных электростанциях, где себестоимость электроэнергии невысока. Вдобавок ее внедрение повышает не только экономическую эффективность, но и экологическую безопасность обращения с радиоактивными отходами различной морфологии.

Термическая переработка РАО сопровождается образованием дымовых газов, содержащих, наряду с радиоактивными аэрозолями, неорганические вредные химические вещества и органические токсиканты. Как показывает практика эксплуатации, установка плазменной переработки ТРО «Плутон» оказывает меньшее воздействие на окружающую среду по сравнению с установкой сжигания отходов в камерной печи.

В результате исследований, выполненных ГУП МосНПО «Радон» совместно с НПО «Тайфун», установлено, что в пиролизных газах на выходе плазменной шахтной печи концентрация полихлорированных дибензо-п-диоксинов и дибензофуранов (ПХДД/ПХДФ), в пересчете на токсический эквивалент (ТЭ), в среднем, в пять раз меньше, чем в дымовых газах на выходе камерной печи сжигания отходов.

Содержание суммы ПХДД/ПХДФ в отходящих газах на выходе системы газоочистки установки «Плутон» не превышало 0,014-0,02 нг/м^3 ТЭ, что примерно в пять раз ниже европейского норматива для установок сжигания отходов. Концентрация тяжелых металлов в технологических газовых выбросах в атмосферу также была ниже нормативов, установленных в странах Западной Европы.

3.3. Экономическая оценка реализации концепции ликвидации накопленного вреда окружающей среде и полигона «Красный Бор»

Важно обозначить тот факт, что экономическая сторона разрешения проблемы утилизации особо опасных и токсичных отходов производства и потребления не первостепенна по причине того, что соблюдение экологических норм и обеспечение безопасности окружающей среды, жизни и здоровья населения – обязанность надзорных органов и управляющих данным процессом компаний. Поиск эффективного решения с точки зрения экологии, экономики и энергетики – основная задача данного планирования и последующей реализации.

Достоверная и реалистичная оценка объемов капитальных и эксплуатационных затрат, реализации мероприятий по выведению из строя полигона и ликвидации накопленных отходов и негативного воздействия на окружающую среду

(более 2 млн тонн ООТО и до 3 млн тонн почвы и грунта, подвергшегося загрязнению) возможна только после проведения проектно-изыскательных работ, НИОКР. Единственный вариант выполнить предварительную оценку проекта из соображений сравнения с аналогичными проектами и пропорциональных расчетов – на примере полигона особо опасных и токсичных промышленных отходов «Черная Дыра» (г. Дзержинск, Нижегородская область) [88].

Из практики – реализация плазменно-пиролитической утилизации ООТО позволяет повысить экономическую эффективность и продуктивность процесса.

Таблица 4.1

Предварительная экономическая оценка мероприятий по ликвидации ПКБ

Показатель	«Черная дыра»	«Красный Бор»
Площадь объекта, га	2,5	67,4
Объем отходов, тыс. $м^3$	75	2000
Объем загрязненных грунтов, тыс. $м^3$	750	2800
Метод ликвидации НУ	Термический	Термический
Объем финансирования, млрд рублей	1,6	43,2 и более

Как видно из таблицы 4.1, в результате сравнительного анализа путем пропорционального пересчета имеем порядок величин стоимости предполагаемой концепции мероприятий по ликвидации накопленного вреда полигона «Красный Бор» - 43,2 млрд рублей (без учета частичной компенсации затрат за счет налоговых льгот и отпуска пирогаза), колоссальная сумма, которая на порядок выше ожидаемой альтернативы в рамках концепции частичной утилизации и иммобилизации. Очевидным преимуществом реализации более дорогой и осложненной концепции является высокая эффективность работы утилизационной установки и термического процесса утилизации отходов, выход полезных побочных продуктов (пирогаза и др.), а также совокупных подход – производственный, а не захоронение и пролонгация окончательного решения проблемы особо опасных и токсичных отходов.

Основные выводы и заключительные положения

В данной выпускной квалификационной работе была исследована проблематика утилизации особо опасных и токсичных отходов с точки зрения энергетики и экологии, основные выводы и заключительные положения:

1. В работе выполнена детальная проработка литературных источников и законодательной основы отрасли обращения с особо опасными и токсичными отходами, в результате которой выявлена недостаточность в изучении подхода к утилизации особо опасных и токсичных отходов как с научной точки зрения, так и с законодательной;

2. В работе разработана методика оценки эффективности процесса обращения с особо опасными и токсичными отходами, которая заключается в том, чтобы мероприятия по обращению с ООТО, в том числе – утилизация и обезвреживание, прежде всего, отвечали нормам и требованиям по экологической безопасности и обеспечению чистоты окружающей природной среды, при условии достижения максимально возможной эффективности реализации мероприятий по обращению. Энергетическая утилизация ООТО возможна и позволит создать условия для некоторой рентабельности обращения с ООТО, что важно ввиду общей убыточности отрасли с экономической точки зрения;

3. В работе проведено детальное рассмотрение существующих технологий, пригодных для организации на их основе утилизации особо опасных и токсичных отходов. Определена однозначная несостоятельность методики сжигания, компостирования, захоронения, низко- и высокотемпературного пиролиза и признана эффективной методика плазменно-пиролитической утилизации с проведением подготовительных мероприятий (концентрирование, дробление) и получением попутного продукта – пиролизного газа с теплотворной способностью 7800–9500 ккал/м^3 (32,65–39,78 МДж/м^3) , пригодного к эксплуатации.

4. В работе решена задача организации процесса эффективного обращения с газообразным ООТО – попутным нефтепереработке газом. Предложена эффективная технология его энергетической утилизации, соответствующей требованиям по экологической безопасности, позволяющая использовать потенциал

попутного нефтепереработке газа (7594–7632 ккал/м^3)с целью генерации электрической энергии на нужды нефтеперерабатывающего комплекса;

5. В работе осуществлена компоновка принципиальной схемы утилизационной установки на основе плазменно-пиролитического метода с интеграцией выпарной установки с доупаривателем для концентрирования жидких ООТО и утилизационного контура для возврата т.н. сбросной теплоты в цикл;

6. В работе выполнено обоснование целесообразности реализации концепции «извлечение + переработка», основными определяющими факторами которой является полноценное решение проблемы ООТО, а не пролонгация на неопределенный срок за счет их захоронения и рекультивирования, высвобождение значительных территорий от вынужденного отчуждения, высокая энергетическая эффективность и экологическая безопасность предлагаемой для утилизации ООТО технологии и состоятельность метода плазменно-пиролитической утилизации с использованием составленной компоновки схемы утилизационной установки, а также возможность создания высокотехнологичного передового производства и рабочих мест, наряду с достижением лидирующих позиций для РФ в вопросе обращения с ООТО;

7. В работе показана эффективность предлагаемой установки для утилизации твердых радиоактивных отходов средней и низкой активности, которая подтверждается экспериментально на практике в ГУП МосНПО «Радон»;

8. В работе выполнен сравнительный экономический расчет, из которого приблизительная стоимость реализации концепции ~50 млрд рублей.

Детальное изучение вопроса обращения с отходами было начато в 2016 году и продолжается по сей день. По данной тематике опубликовано 14 научно-исследовательских работ. Актуальность и важность методики и способа обращения с особо опасными и токсичными отходами обоснованы, тогда как вопросы энергетически эффективной и экологически безопасной утилизации требуют более глубокого изучения проблемы.

Данная работа ляжет в основу научно-исследовательской деятельности в рамках диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Список использованных источников

1. И.Д. Налетов, Н.Т. Амосов. Влияние процесса утилизации твердых бытовых отходов на окружающую среду / Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием. Институт энергетики и транспортных систем. Ч. 1. – СПб. : Изд-во Политехн. Ун-та, 2017. – 248 с.;

2. Федеральный закон №89 «Об отходах производства и потребления» (от 22 мая 1998 года, с изменениями на 27 декабря 2019);

3. Федеральный закон №96 «Об охране атмосферного воздуха» (от 2 апреля 1999 года, с изменениями на 26 июля 2019);

4. Федеральный закон №52 «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (от 30 марта 1999 года, с изменениями на 26 июля 2019);

5. Федеральный закон №7 «Об охране окружающей среды» (от 20 декабря 2001 года, с изменениями на 27 декабря 2019);

6. Уголовный кодекс Российской Федерации (от 24 мая 1996 года, с изменениями на 18 февраля 2020);

7. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы: СанПиН 2.1.7.1287-03. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004.—16 с.;

8. Пальгунов П.П., Сумароков М.В. Утилизация промышленных отходов. – М.: Стройиздат, 1990. – 352 с.;

9. Переработка промышленных отходов. Бобович Б.Б. Учебник для вузов. – М.: «СП Интермет Инжиниринг», 1999. – 445 с.;

10. Алешина А.С., Сергеев В.В. Газификация твердого топлива: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 202 с.;

11. Сазонов, Э. В. Экология городской среды : учебное пособие для среднего профессионального образования / Э. В. Сазонов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 275 с.;

12. Поташников Ю.М. Утилизация отходов производства и потребления. Учебное пособие. – Тверь.: Издательство ТГТУ, 2004.– 107 с.;

13. Утилизация и переработка твёрдых бытовых отходов : учебное пособие / А. С. Клинков, П. С. Беляев, В. Г. Однолько, М. В. Соколов, П. В. Макеев, И. В. Шашков. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 100 экз. – 188 с.;

14. Курынцева П.А., Селивановская С.Ю. Учебное пособие к специальному курсу "Обращение с отходами производства и потребления" / П.А. Курынцева, С.Ю. Селивановская. – Казань: Казан. ун-т, 2018. – 64 с.;

15. Исследование энергетических и экологических аспектов проблемы утилизации бытовых отходов жизнедеятельности населения г. Санкт-Петербург. Диссертация магистра (13.04.01_01). Д.А. Сабурова, Санкт-Петербург, 2016 г;

16. Налетов И.Д. Утилизация и переработка отходов в рамках повышения энергоэффективности нефтегазодобывающей промышленности / Булатовские чтения. 2018. Т.5.С.224-226;

17. Налетов И.Д., Новикова О.В., Амосов Н.Т. Создание промышленного кластера обращения с отходами // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием. Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. С. 541-544.;

18. Налетов И.Д., Новикова О.В., Амосов Н.Т. Создание промышленного кластера обращения с отходами, его перспективы и преимущества//Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием. 19-24 ноября 2018 г. Лучшие доклады. -СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2018. С. 293-297.;

19. Налетов И.Д. Повышение энергоэффективности и снижение эмиссии нефтеперерабатывающего комплекса за счет утилизации попутного нефтепереработке газа / В сборнике: Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире Материалы XX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием), 26-27 апреля 2018 г.. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ

ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». 2018. С. 143-145.

20. Налетов И.Д. Энергообеспечение и повышение энергоэффективности лесохозяйственного сектора / В сборнике: Повышение эффективности лесного комплекса Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2018. С. 114-115.;

21. Налетов И.Д., Хабарова М.А., Суворова В.С., Новикова О.В. Внедрение промышленного кластера в систему обращения с отходами / В сборнике: Современные технологии и экономика энергетики. материалы Международной научно-практической конференции. 2019. С. 116-119.;

22. Налетов И.Д., Суворова В.С., Новикова О.В. Экономическая целесообразность реализации промышленного кластера обращения с отходами / В сборнике: Современные технологии и экономика энергетики материалы Международной научно-практической конференции. 2019. С. 14-16.;

23. Налетов И.Д. Промышленный кластер обращения с отходами и его связь с лесным комплексом / В сборнике: Повышение эффективности лесного комплекса материалы Пятой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. 2019. С. 72-73.;

24. Налетов И.Д., Амосов Н.Т., Новикова О.В. Экономический аспект обращения с особо опасными и токсичными отходами полигона "Красный Бор" / В сборнике: Неделя науки СПбПУ Материалы научной конференции с международным участием. Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли. В 3-х частях. 2019. С. 339-341.;

25. Налетов И.Д., Амосов Н.Т. Методика обезвреживания и утилизации особо опасных и токсичных отходов полигона «Красный бор» / В сборнике: Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. Институт энергетики. В 2-х частях. 2019. С. 161-163.;

26. Налетов И.Д. Повышение энергоэффективности и экологичности нефтегазовой отрасли посредством утилизации особо опасных и токсичных отходов на примере попутного нефтепереработке газа / Булатовские чтения. 2020.

27. Налетов И.Д., Амосов Н.Т. Повышение энергоэффективности и снижение эмиссии нефтеперерабатывающего комплекса путем утилизации попутного нефтепереработке газа / В сборнике: Современные технологии и экономика энергетики материалы III-й Международной научно-практической конференции. 2020;

28. Налетов И.Д., Амосов Н.Т. Законодательное и нормативно-правовое регулирование обращения с особо опасными и токсичными отходами / В сборнике: Современные технологии и экономика энергетики материалы III-й Международной научно-практической конференции. 2020.;

29. Реформа обращения с отходами производства и потребления в Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Реформа_обращения_с_отходами_производства_и_потребления_в_Российской_Федерации, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

30. Количество образованных отходов производства и потребления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.fedstat.ru/indicator/38177, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

31. Красный Бор (полигон) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Красный_Бор_(полигон), свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

32. Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 16 декабря 2016 года № 1147 «О Территориальной схеме обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами»;

33. Приказ Управления по организации и контролю деятельности по обращению с отходами Правительства Ленинградской области от 17 ноября 2016 года № 7 «Об утверждении территориальной схемы обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами»;

34. «Территориальной схема обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами», г. Санкт-Петербург;

35. «Территориальной схема обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами», Ленинградская область;

36. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 4 декабря 2014 г. N 536 «Об утверждении Критериев отнесения отходов к I-V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду»;

37. СанПин 2.1.7.1386-03 «Санитарные правила по определению класса опасности токсичных отходов производства и потребления»;

38. Российское законодательство об отходах. Краткий обзор основных законодательных актов, регламентирующих обращение с отходами в Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=91, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

39. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 14 ноября 2019 № 2684-р «Об определении федерального оператора по обращению с отходами I и II классов опасности»;

40. Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 №242 (с изменениями от 2 ноября 2018 года № 451) «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов»;

41. Федеральный классификационный каталог отходов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://kod-fkko.ru/, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

42. Население Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gov.spb.ru/helper/day/people/, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

43. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Стокгольмская_конвенция_о_стойких_органических_загрязнителях, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

44. ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений»;

45. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2010 году. Правительство Санкт-Петербурга, 2011. – 144 с.;

46. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2011 году. Под редакцией Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина. – СПб.: ООО «Сезам-Принт», 2012. - 190 с.;

47. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2012 году/ Под редакцией Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина. – СПб.:ООО «Сезам-Принт», 2013. – 168 с.;

48. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2013 году/ под редакцией И.А. Серебрицкого. – СПБ.: ООО «Единый строительный портал», 2014. – 173 с.;

49. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2014 году/ под редакцией И.А. Серебрицкого. – СПБ.: ООО «Дитон», 2015. – 180 с.;

50. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2015 году/ Под редакцией И.А. Серебрицкого. – СПб.: ООО «Сезам-Принт», 2016. — 168 с.;

51. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2016 году/ Под редакцией И.А. Серебрицкого. – СПб.: ООО «Сезам-Принт», 2017. — 158 с.;

52. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2017 году/ Под редакцией И.А. Серебрицкого. – СПб.: ООО «Сезам-Принт», 2018. — 158 с.;

53. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2018 году/ Под редакцией И.А. Серебрицкого. – СПб.: ООО «Сезам-Принт», 2019. — 264 с.;

54. Предельно допустимая концентрация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Предельно_допустимая_концентрация, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

55. Методические рекомендации по оценке экологического состояния высвобождаемых промышленных площадок и разработке плана санации «Перепрофилирование старых промышленных площадок на территории Санкт-Петербурга», 2005;

56. Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв. М., Гидрометиоиздат, 1983;

57. Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв. Часть II. Нефтепродукты. Госкомгидромет, ИЭМ, 1984;

58. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. Госкомгидромет, 1981;

59. Методические указания по определению низких концентраций токсичных и особотоксичных веществ в различных средах и степени миграции (в различных формах) этих веществ в окружающей среде. М., 1985, утв. Минздравом СССР от 06.06.85 N3901-85;

60. Методические указания по определению низких концентраций токсичных и особотоксичных веществ в различных средах и степени миграции (в различных формах) этих веществ в окружающей среде. М., 1986, АН СССР, Минздрав СССР;

61. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. N4266-87, М., 1987, Минздрав СССР;

62. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами.М.,1987, Минздрав СССР от 13.03.87 N4266-87;

63. РД 52.18.264-90. Методические указания. "Методика выполнения измерений массовой доли 2,4-Д в пробах почвы методом газожидкостной хроматографии. Госкомгидромет, 1990;

64. РД 52.18.180-89. Методические указания. Методика выполнения измерений массовой доли галоидорганических пестицидов п,п - ДДТ, п,п - ДДЭ, альфа-ГХЦГ, гамма-ГХЦГ, трифлуралина в пробах почв методом газожидкостной хроматографии. Госкомгидромет, 1989;

65. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовых концентраций подвижных форм бора в пробах почв на анализаторе жидкости "Флюорат02". ПНД Ф 16.1.1-96;

66. ГОСТ 17.0.0.01-76. «Охрана природы. Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов»;

67. Ясовеев, М.Г. Экология урбанизированных территорий : учеб. пособие / М.Г. Ясовеев, Н.Л. Стреха, Д.А. Пацыкайлик ; под ред. М.Г. Ясовеева. — Минск: Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2015. — 293 с.;

68. «Полигон «Красный бор»: мифы и реальность, настоящее и будущее», Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Правительства Санкт-Петербурга, СПб ГУПП «Полигон «Красный Бор» – 21.02.2018;

69. «Полигон«Красный Бор»: реализация противоаварийных мероприятий в 2016-2017гг и дальнейшие задачи по ликвидации накопленного вреда окружающей среде», Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Правительства Санкт-Петербурга, СПб ГУПП «Полигон «Красный Бор» , 2017;

70. В. М. Питулько, В. В. Кулибаба. Концепция технического решения ликвидации угрозы прорыва жидких отходов из карт «Полигона Красный Бор» и направления последующей его рекультивации // Региональная экология, № 2 (44) — 3(45), 2016;

71. «Guidance on the sustainable management of contamination and reuse of soils and debris in brownfield regeneration», Regeneration of European Sites in Cities and Urban Environments (RESCUE), August 2004;

72. Справочник по реабилитации загрязненных площадок с учетом принципов устойчивого развития, Regeneration of European Sites in Cities and Urban Environments (RESCUE), 2005;

73. Европейская практика обращения с отходами: проблемы, решения, перспективы, Санкт-Петербург, 2005;

74. «Концепция ликвидации накопленного вреда окружающей среде на полигоне «Красный Бор»», Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Правительства Санкт-Петербурга, СПб ГУПП «Полигон «Красный Бор» , 2017;

75. Постановление Правительства Российской Федерации от 10 июля 2018 г. № 800 «О проведении рекультивации и консервации земель»;

76. ГОСТ 5542-87 «Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия (с Поправкой)» от 01.01.1988 г. (Поправка от июля 2001 г.);

77. ГОСТ 22667-82 «Газы горючие природные. Расчетный метод определения теплоты сгорания, относительной плотности и числа Воббе (с Изменением №1» от 01.07.1983 г. (Изменение утверждено в августе 1992 г.)

78. ГОСТ 22387.2-2014 «Газы горючие природные. Методы определения сероводорода и меркаптановой серы» от 01.07.2015 г.;

79. А.М. Мазгаров, О.М. Корнетова. Технологии очистки попутного нефтяного газа от сероводорода // Учебно-методическое пособие – Казань: Казан. ун-т, 2015. – 70 с.;

80. Г.Ю. Боярко и др. Утилизация попутного нефтяного газа на месторождениях Томской области // Вестник ТГПУ (TSPU Bulletin). 2011. 121 (114).;

81. Система подготовки попутного газа на ЦПС Западно-Могутлорского месторождения прошла 5-летний рубеж надежной эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://neftegaz.ru/news/Oborudovanie/548755-sistema-podgotovki-poputnogo-gaza-na-tsps-zapadno-mogutlorskogo-mestorozhdeniya-proshla-5-letniy-rub/, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

82. ГОСТ Р 56828.17-2017 Наилучшие доступные технологии. Ресурсосбережение. Стратегии и методы термической обработки опасных отходов;

83. Пиролиз [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Пиролиз, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

84. Установка "Плутон": плазменно-пиролитическая переработка твердых РАО [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.atomic-energy.ru/technology/39770, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

85. Горбунов В.А., Полканов М.А. Плазменно-пиролитическая переработка твердых радиоактивных отходов АЭС / ВОПРОСЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ. Издательство: Федеральное государственное унитарное предприятие Производственное объединение Маяк (Озерск), 2014. С. 26-31;

86. Системы и оборудование химических цехов АЭС. [Текст] : учеб. пособие / А.М. Акимов, А.В. Кулибов , А.А. Кузьмин. - Севастополь : СИЯЭ и П, 2002. - 239 с.;

87. Запевалов М.А [и др.]. Полициклические ароматические углеводороды в выбросах установки сжигания производственных отходов / ВЕСТНИК ОНКОЛОГИЧЕСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ МЕДИЦИНСКИХ НАУК, 1996. с.18-22;

88. «Черная дыра» сгорит в печах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.kommersant.ru/doc/3929775, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

89. Пестициды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Пестициды, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

90. ДДТ (дихлордифенилтрихлорметилметан) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/ДДТ_(инсектицид), свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

91. Альдрин (ГХДН) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Альдрин, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

92. Дильдрин (ГЭОД) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Дильдрин, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

93. Эндрин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Эндрин, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

94. Хлордан [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Хлордан, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

95. Мирекс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Mirex, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

96. Пестициды. Токсафен [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Пестициды, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

97. Гептахлор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гептахлор, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

98. Полихлорированные дифенилы (ПХД) или полихлорированные бифенилы (ПХБ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Полихлорированные_дифен, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

99. Гексахлорбензол (перхлорбензол) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гексахлорбензол, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

100. Полихлорпроизводные дибензодиоксина (диоксины) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Диоксины, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

101. Фуран (фурфуран) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Фуран, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

102. Альфа гексахлорциклогексан (гексахлоран – ГХЦГ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гексахлоран, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

103. Бета гексахлорциклогексан (линдан, гексахлорциклогексан – ГХЦГ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru-wiki.ru/wiki/Гексахлорциклогексан, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

104. Гексабромбифенил [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.promothod.ru/spisok-soz/geksabrombifenil/, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

105. Гекса- и Гептахлорбифениловый эфир [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.promothod.ru/spisok-soz/geksa-i-geptaxlorb, свободный – (Дата доступа: 30.05.2020);

Приложение 1

Некоторые законодательные и нормативно-правовые акты, регламентирующие деятельность в отрасли обращения с отходами

1. Постановление Правительства РФ от 04.04.2016 № 269 «Об определении нормативов накопления твёрдых коммунальных отходов»;

2. Постановление Правительства РФ от 16.03.2016 № 197 «Об утверждении требований к составу и содержанию территориальных схем обращения с отходами, в том числе с твёрдыми коммунальными отходами»;

3. Постановление Правительства РФ от 12.11.2016 № 1156 «Об обращении с твёрдыми коммунальными отходами и внесении изменения в постановление Правительства Российской Федерации от 25 августа 2008 г. № 641»;

4. Постановление Правительства РФ от 03.06.2016 № 505 «Об утверждении Правил коммерческого учёта объёма и (или) массы твёрдых коммунальных отходов»;

5. Постановление Правительства РФ от 30.05.2016 № 484 «О ценообразовании в области обращения с твёрдыми коммунальными отходами»;

6. Постановление Правительства РФ от 16.05.2016 № 424 «Об утверждении порядка разработки, согласования, утверждения и корректировки инвестиционных и производственных программ в области обращения с твёрдыми коммунальными отходами, в том числе порядка определения плановых и фактических значений показателей эффективности объектов, используемых для обработки, обезвреживания и захоронения твердых коммунальных отходов»;

7. Постановление Правительства РФ от 05.09.2016 № 881 «О проведении уполномоченными органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации конкурсного отбора региональных операторов по обращению с твёрдыми коммунальными отходами»;

8. Приказ Минприроды России от 05.12.2014 № 541 «Об утверждении Порядка отнесения отходов I - IV классов опасности к конкретному классу опасности»;

9. Постановление Правительства РФ от 16 августа 2013 года № 712 «О порядке проведения паспортизации отходов I-IV классов опасности»;

10. Приказ Минприроды России от 04.12.2014 № 536 «Об утверждении Критериев отнесения отходов к I - V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду»;

11. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ № 144 от 16 июня 2003 года «О введении в действие СП 2.1.7.1386-03» вводит в действие «Санитарные правила по определению класса опасности токсичных отходов производства и потребления. СП 2.1.7.1386-03»;

12. Приказ Росстата от 10.08.2017 № 529 «Об утверждении статистического инструментария для организации Федеральной службой по надзору в сфере природопользования федерального статистического наблюдения за отходами производства и потребления»;

13. Приказ Росстата от 30.08.2017 № 562 «Об утверждении статистического инструментария для организации федерального статистического наблюдения за строительством, инвестициями в нефинансовые активы и жилищно-коммунальным хозяйством»;

14. Постановление Правительства РФ от 03.06.2016 № 505 «Об утверждении Правил коммерческого учета объема и (или) массы твердых коммунальных отходов»;

15. Приказ Минприроды России от 25.02.2010 № 50 «О Порядке разработки и утверждения нормативов образования отходов и лимитов на их размещение»;

16. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 5 августа 2014 г. № 349 «Об утверждении Методических указаний по разработке проектов нормативов образования отходов и лимитов на их размещение»;

17. Постановление Правительства РФ от 03.03.2017 № 255 «Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду»;

18. Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах»;

19. Федеральный Закон № 49-ФЗ от 24 ноября 1994 года «О ратификации Базельской конвенции о контроле за трансграничными перевозками опасных отходов и их удалением»;

20. Постановление Правительства № 442 от 17 июля 2003 года «О трансграничном перемещении отходов»;

21. «Санитарные правила по сбору, хранению, транспортировке и первичной обработке вторичного сырья» № 2524-22 от 22 января 1982 г.;

22. Постановление Правительства РФ от 11 мая 2001 года № 369 «Об утверждении правил обращения с ломом и отходами черных металлов и их отчуждения»;

23. Постановление Правительства РФ от 11 мая 2001 года № 370 «Об утверждении правил обращения с ломом и отходами цветных металлов и их отчуждения»;

24. «Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов. СП 2.1.7.1038-01»;

25. «Санитарные правила содержания территорий населенных мест» (СанПиН 42-128-4690-88);

26. «Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления. СанПиН 2.1.7.1322-03»;

27. Постановление Правительства РФ от 03.10.2015 № 1062 «О лицензировании деятельности по сбору, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов I - IV классов опасности»;

28. Постановление Правительства РФ от 12.12.2012 № 1287 «О лицензировании деятельности по заготовке, хранению, переработке и реализации лома черных и цветных металлов»;

29. и другие [38].

Приложение 2

Некоторые элементы химического состава ООТО [89-106]

Вещество	Характеристика	Влияние на человека	Влияние на окружающую среду
Дихлор-дифенил-трихлор-этан (ДДТ)	$C_{14}H_9Cl_5$ Инсектицид, эффективен против насекомых-вредителей, распространяется на тысячи километров	Высокотоксичен, вызывает отравление и смерть, снижает иммунитет, аккумулируется в организме (в жировой ткани), вызывает аутизм	Неизбежное попадание в пищевую цепь, заболевания и смерти животных, искривление пищевой цепи и деградация экосистемы
Альдрин (ГХДН)	$C_{12}H_8Cl_6$ Высокотоксичный инсектицид, гербицид, стойкое к биохимическому разложению хлорорганическое соединение, эффективен против насекомых-вредителей и сорняков, в организмах подвергается эпоксидированию – образуется дильдрин	Высокотоксичное вещество, проникает через кожу, с пищей, водой и воздухом, нейротоксичен, угнетает нервную систему и вызывает гибель нервных клеток, а также клеток коры головного мозга, разрыхление и отек стенок сосудов и поражение внутренних органов, мелкие кровоизлияния в легких, инфильтраты в сердечной мышце,	Аккумулируется в растениях и почве, нерастворим в воде, смертельно опасен и может стать причиной экологической катастрофы посредством заражения подземных и грунтовых вод, водоемов и рек, неизбежное попадание в пищевую цепь, заболевания и смерти животных, искривление пищевой цепи и деградация

Вещество	Характеристика	Влияние на человека	Влияние на окружающую среду
		может быть причиной нарушения психологического состояния и проявления агрессии, смертельно опасен, аккумулируется в жировой ткани и эритроцитах, выводится более 2 лет	экосистемы, хорошо испаряется и транслируется на большие расстояния
Дильдрин	$C_{12}H_8Cl_6O$ – производное альдрина, стереоизомер эндрина. Высокотоксичный инсектицид, эпоксид, стойкое к биохимическому разложению хлорорганическое соединение, эффективен против насекомых и в первичной обработке шерстяных изделий, токсичнее альдрина	Сильнодействующее ядовитое вещество, поражает внутренние органы, центральную нервную систему, хорошо проникает через кожу и ЖКТ, особенно опасен в виде аэрозоля, смертельно опасен, мутаген, выводится более 9 месяцев, аккумулируется в жировой ткани, первично связывается в сыворотке	Высокая биоаккумуляция, токсичен, смертельно опасен и может стать причиной экологической катастрофы посредством заражения подземных и грунтовых вод, водоемов и рек, неизбежное попадание в пищевую цепь, заболевания и смерти животных, искривление пищевой цепи и деградация экосистемы, хорошо испаряется

Вещество	Характеристика	Влияние на человека	Влияние на окружающую среду
			и транслируется на большие расстояния
Эндрин	$C_{12}H_8Cl_6O$ – стереоизомер эпоксидированного альдрина. Высокотоксичный пестицид, инсектицид, в 2 раза токсичнее альдрина, в 10-12 – ДДТ, хлорорганическое соединение, эффективен против насекомых-вредителей и грызунов	Сильнодействующее ядовитое вещество, поражает нервную системы, вызывает судороги, паралич, дыхательную недостаточность, смертельно опасен, всасывается через кожу, может поступать с пищей, особо опасен в виде аэрозоля	Высокая биоаккумуляция, период полураспада в почве – более 10 лет, смертельно опасен и может стать причиной экологической катастрофы посредством заражения подземных и грунтовых вод, водоемов и рек, неизбежное попадание в пищевую цепь, заболевания и смерти животных, искривление пищевой цепи и деградация экосистемы, хорошо испаряется и передается на большие расстояния

Вещество	Характеристика	Влияние на человека	Влияние на окружающую среду
Хлордан	$C_{10}H_6Cl_8$ Высокотоксичный инсектицид, стойкое к биоразложению и воздействию окружающей среды хлорорганическое соединение, протравитель, эффективен против насекомых-вредителей	Сильнодействующее ядовитое вещество, поражает центральную нервную систему и внутренние органы, хорошо всасывается через кожу, особенно опасен в виде аэрозоля и эмульсии, смертельно опасен, разрушает имунную систему, аккумулируется в жировой ткани, выводится свыше 100 дней	Высокая биоаккумуляция, смертельно опасен и может стать причиной экологической катастрофы посредством заражения подземных и грунтовых вод, водоемов и рек, неизбежное попадание в пищевую цепь, заболевания и смерти животных, искривление пищевой цепи и деградация экосистемы, хорошо испаряется и передается на большие расстояния
Мирекс	$C_{10}Cl_{12}$ Среднетоксичный пестицид, инсектицид, стойкое к биоразложению и воздействию окружающей среды хлорорганическое соединение, эффективен	Попадает в организм через кожу и ЖКТ, вызывает повреждение внутренних органов, угнетание репродуктивной способности, является	Высокая биоаккумуляция, опасен и может стать причиной экологической катастрофы посредством заражения подземных и

Вещество	Характеристика	Влияние на человека	Влияние на окружающую среду
	в борьбе с муравьями и другими насекомыми-вредителями	причиной судорог и повышенной возбудимости, способствует росту раковых клеток, аккумулируется в жировой ткани	грунтовых вод, водоемов и рек, неизбежное попадание в пищевую цепь, заболевания и вред здоровью животных, искривление пищевой цепи и деградация экосистемы, хорошо испаряется и транслируется на большие расстояния
Токсафен	$C_{10}H_{10}Cl_8$ – производная камфена (хлорирование). Высокотоксичный пестицид, стойкое к биоразложению и воздействию окружающей среды хлорорганическое соединение, эффективен против насекомых-вредителей на посевах сельскохозяйственных культур, разлагается	Высокотоксичное вещество, вызывает хроническое отравление, поражает внутренние органы и дыхательную систему, хорошо всасывается через кожу и ЖКТ, опасен, аккумулируется в жировой ткани	Высокая биоаккумуляция, опасен и может стать причиной экологической катастрофы посредством заражения подземных и грунтовых вод, водоемов и рек, неизбежное попадание в пищевую цепь, заболевания и вред животным, искривление пищевой цепи и деградация

Вещество	Характеристика	Влияние на человека	Влияние на окружающую среду
	под действием ультрафиолета		экосистемы, хорошо испаряется и передается на большие расстояния
Гептахлор	$C_{10}H_5Cl_7$ Высокотоксичный инсектицид, стойкое к биоразложению и воздействию окружающей среды хлорорганическое соединение, эффективен против насекомых-вредителей и в качестве стимулятора всхожести семян	Высокотоксичное вещество, воздействует на нервную систему и внутренние органы, всасывается через кожу и ЖКТ, особенно опасен в виде аэрозоля, вызывает зуд, гиперемию кожи, головные боли, снижение кровяного давления, тошноту, выводится из организма дольше 6 месяцев	Высокая биоаккумуляция, опасен , вызывает судороги и тремор, мышечную дистрофию и слабость, воздействует на внутренние органы и нервную систему, может стать причиной экологической катастрофы посредством заражения подземных и грунтовых вод, водоемов и рек, неизбежное попадание в пищевую цепь, заболевания и вред здоровью животных, искривление пищевой цепи и деградация экоси-

Вещество	Характеристика	Влияние на человека	Влияние на окружающую среду
			стемы, хорошо испаряется и транслируется на большие расстояния
Полихлорированные дифенилы (ПХД) или полихлорированные бифенилы (ПХБ)	$C_{12}H_{10-n}Cl_n$ – все хлорозамещённые производные дифенила. Токсичные стойкие органические загрязнители, эффективны в качестве диэлектриков (в трансформаторах и конденсаторах), теплоносителей, смазочного материала, стабилизатора, присадок	Сравнительно низкая, но острая токсичность, накапливается и поражает печень, мутаген, негативно сказывается на последующих поколениях, практически не разрушаются, проникают в материнское молоко, вызывает ранние выкидыши и преждевременные роды, заболевания кожи, раздражения глаз, боли (головные, в горле)	Высокая биоаккумуляция, устойчивы к биоразложению, при фотолизе образуют более токсичные диоксины, аккумулируются в почве и воде, неизбежно попадают в пищевую цепь, накапливаются в рыбе, моллюсках, ракообразных, гидробионтах
Гексахлорбензол (ГХБ)	C_6Cl_6 Токсичное хлорорганическое соединение, инсектицид и фунгицид, эффективен в	Высокий уровень биоаккумуляции, в основном – в печени, поражает центральную нервную и сердечно-сосудистую системы, оказывает негативное воздействие на порфириновый обмен, оказывает кумулятивный эффект	

Вещество	Характеристика	Влияние на человека	Влияние на окружающую среду
	протравливании семян зерновых		
Полихлордибензодиоксины (диоксины)	Опасные ксенобиотики, кумулятивные яды, экотоксиканты с мощный мутагенным, иммунодепрессантным, канцерогенным, тератогенным и эмбриотоксическим действием, устойчивы к разложению	Способствуют развитию онкологических заболеваний, нарушают работу эндокринных желез, замедляют половое созревание и приводят к бесплодию, вызывают нарушения в обменных процессах, подавляют работу иммунной системы, вызывают уродства и проблемы развития у детей	Высокая биоаккумуляция, накапливаются в почве, воде, воздухе, подавляют жизненно важные функции организмов, вмешиваются в работу желез и репродуктивной системы,
и другие			