

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт экономики и организации промышленного производства
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИЭОПП СО РАН)

УДК 338.28; 67.08

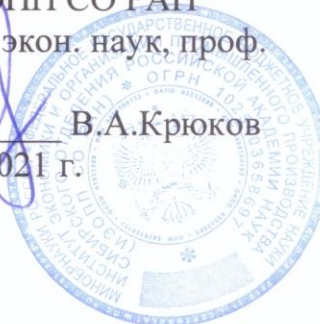
УТВЕРЖДАЮ

Директор ИЭОПП СО РАН

Академик, д-р экон. наук, проф.


В.А.Крюков

"13" декабря 2021 г.



ОТЧЕТ О РАБОТЕ

Выполнение маркетинговых исследований (оценка рынка в России и мире, аналоги, компании — конкуренты)

По договору подряда на выполнение работ от 6 декабря 2021 г. № 335
В рамках реализации Соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации № 075-15-2021-1020 от 30.09.2021 г. о «Создание и развитие центра трансфера технологий в области энергетики, экологии, нанотехнологий и приборостроения, осуществляющего коммерциализацию результатов интеллектуальной деятельности научно-исследовательских и образовательных организаций Новосибирского научного центра»


Руководитель работы,
заместитель директора по научной работе,
ведущий научн. сотр., д-р экон. наук


В.М.Гильмундинов

Новосибирск 2021

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель работы, зам.
директора по научной
работе, вед. научн. сотр., д-
р экон. наук

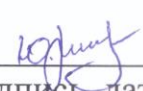

13.12.2021
подпись, дата В.М.Гильмундинов
(введение, раздел 1, 2.3,
2.4, 3, заключение)

Исполнители:

Стар. научн. сотр., канд.
экон. наук


17.12.2021
подпись, дата С.П.Петров
(раздел 2.7, 2.8, 3)

Мл. научн. сотр.


13.12.2021
подпись, дата Ю.В.Панкова
(раздел 2.5, 2.6, 3)

Инженер


13.12.2021
подпись, дата А.А.Анистратенко
(раздел 2.1, 2.2, 3)

Инженер


13.12.2021
подпись, дата Е.С.Захаренкова
(раздел 2.1, 2.2, 3)

Нормоконтроль


13.12.2021
подпись, дата Е.С.Захаренкова

РЕФЕРАТ

Отчет 148 с., 1 кн., 14 рис., 8 табл., 163 источн., 1 прил.

РЫНОК, ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ, УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ, СОРТИРОВКА ОТХОДОВ, СЖИГАНИЕ ОТХОДОВ, ТЕХНОЛОГИЯ

Объектом исследования являются отраслевые рынки технологических предложений в сфере обращения с отходами.

Цель работы - отбор пяти наиболее востребованных на рынке технологических предложений.

Предмет исследования - отбор не менее 5 технологических предложений для управления по трансферу технологий на основе результатов маркетинговых исследований (оценке рынка в России и мире, анализ аналогов и компаний - конкурентов) из следующих восьми технологических предложений:

1. Технологии генерации электроэнергии из низкокалорийного топливного газа
2. Технология низкоэмиссионного сжигания жидких горючих отходов в присутствии водяного пара с производством тепловой энергии
3. Плазменная газификация ТКО и других органических отходов с получением синтезгаза и инертного шлака
4. Сортировка вторсырья с использованием технологии распознавания на основе искусственных нейронных сетей и мультиспектрального машинного зрения
5. Сухое обогащение угольных кеков тощих углей
6. Термокаталитическое окисление иловых осадков сточных вод коммунальных и промышленных очистных сооружений
7. Комплексная переработка отвалов рудообогатительных фабрик
8. Плазменная газификация RDF

В процессе работы проводились исследования представленных разработчиками описаний технологических предложений, основных публикаций по представленным и конкурирующим технологиям, соответствующим отраслевым рынкам технологического оборудования.

В ходе выполнения работы сформирован подход к отбору наиболее востребованных на рынке технологических предложений, определены размеры рынков, проанализированы аналоги и компании – конкуренты, отобраны наиболее востребованные на рынке технологические предложения из числа рассмотренных.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОТБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ	9
2 ОЦЕНКА РЫНКОВ И КОНКУРЕНТНЫХ ПОЗИЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ.....	14
2.1 Технологии генерации электроэнергии из низкокалорийного топливного газа	14
2.2 Технология низкоэмиссионного сжигания жидких горючих отходов в присутствии водяного пара с производством тепловой энергии	22
2.3 Плазменная газификация ТКО и других органических отходов с получением синтезгаза и инертного шлака	29
2.4 Сортировка вторсырья с использованием технологии распознавания на основе искусственных нейронных сетей и мультиспектрального машинного зрения.....	39
2.5 Сухое обогащение угольных кеков тощих углей	48
2.6 Термокаталитическое окисление иловых осадков сточных вод коммунальных и промышленных очистных сооружений	57
2.7 Комплексная переработка отвалов рудообогатительных фабрик	76
2.8 Плазменная газификация RDF.....	89
3 ОТБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ.....	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	105
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	106
ПРИЛОЖЕНИЕ А	120

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящем отчете о применяют следующие сокращения и обозначения:

АСУТП – автоматизированная система управления технологическим процессом

ГТУ – газотурбинная установка

ЖГО – жидкие горючие отходы

ЖКХ – жилищно-коммунальное хозяйство

КНТП – комплексная научно техническая программа

КПД – коэффициент полезного действия

НИОКР – научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы

ОЦР – органический цикл Ренкина

ПХБ – полихлорированные бифенилы

РАН – Российская академия наук

РИД – результаты интеллектуальной деятельности

СО РАН – Сибирское отделение Российской академии наук

ТКО – твердые коммунальные отходы

ТП – технологическое предложение

ТЭО – технико-экономическое обоснование

RDF – (refuse derived fuel) – топливо из твердых коммунальных отходов

CRL – (commercialization readiness level) – уровень рыночной готовности

MRL – (manufacturing readiness level) – уровень производственной готовности

MSW – (municipal solid waste) – твердые коммунальные отходы

TRL – (technology readiness level) – уровень технологической готовности

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа посвящена отбору наиболее востребованных на рынке технологических предложений (из числа восьми представленных к рассмотрению и отбору со стороны Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН) в сфере обращения с отходами производства и потребления для управления по трансферу технологий на основе результатов маркетинговых исследований (оценке рынка в России и мире, анализа аналогов и компаний - конкурентов).

Масштабы проблем как с уже накопленными отходами производства и потребления, так и с текущими и прогнозными объемами их образования говорят о наличии потенциала формирования в России одного из крупнейших в мире по своей ёмкости национального рынка услуг в сфере обращения с отходами, что, в свою очередь, приведет к формированию значительного спроса на соответствующее технологическое оборудование. В то же время особенностями формирования данного рынка на текущем этапе являются:

1) крайне незначительная обеспеченность данной сферы действующими производственными мощностями по сортировке, обезвреживанию, утилизации, переработке и экологически безопасному захоронению отходов производства и потребления, что говорит о ней, как о зарождающемся отраслевом рынке;

2) отсутствие развитой отечественной машиностроительной базы по производству современного технологического оборудования для данной сферы;

3) высокая доля импортных поставок технологического оборудования и технологических решений, предназначенного для данной сферы, не всегда отвечающих высоким стандартам безопасности и экологичности;

4) наличие готовых или близких к внедрению отечественных современных высокотехнологичных решений и результатов прикладных научных разработок для данной сферы, не уступающих, а, в ряде случаев, превосходящих зарубежные аналоги и лучше учитывающих российскую специфику.

Актуальность проводимого исследования определяется, таким образом, необходимостью поиска эффективных ответов на угрозы утраты потенциала формирования и ускоренного развития отечественной машиностроительной базы на основе трансфера имеющихся технологий в сфере обращения с отходами. В случае реализации данной угрозы будут упущены возможности по достижению значительных социально-экономических эффектов для национальной экономики от развития данной сферы, произойдет рост зависимости России от импорта критически важных технологий и технологического оборудования, что создает существенные риски для экономической безопасности России.

С учетом масштабов формирующегося в России отраслевого рынка услуг по обращению с отходами, он становится высоко привлекательным для

зарубежных поставщиков соответствующего технологического оборудования, что затрудняет развитие отечественной машиностроительной базы и трансфера имеющихся технологий. В этих условиях, как показывает обширный международный опыт становления и развития зарождающихся отраслей, со стороны государства требуется реализация активной промышленной и научно-технологической политики, предполагающей в том числе:

- активную государственную поддержку (например, из средств нацпроекта «Экология») для стимулирования развития и углубления степени переработки отходов во вторичное сырье на базе отечественного оборудования и технологических решений;

- создание и государственную поддержку на первоначальном этапе инжинирингового машиностроительного кластера по разработке и производству отечественного оборудования и технологических решений для сферы обращения с отходами, включая деятельность центров стандартизации и сертификации, а также научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, в том числе за счет обеспечения трансфера передовых отечественных и зарубежных технологий; и др.

Для целей отбора в работе рассматриваются следующие восемь технологических предложений:

1) Технологии генерации электроэнергии из низкокалорийного топливного газа;

2) Технология низкоэмиссионного сжигания жидких горючих отходов в присутствии водяного пара с производством тепловой энергии;

3) Плазменная газификация ТКО и других органических отходов с получением синтезгаза и инертного шлака;

4) Сортировка вторсырья с использованием технологии распознавания на основе искусственных нейронных сетей и мультиспектрального машинного зрения;

5) Сухое обогащение угольных кеков тощих углей;

6) Термокаталитическое окисление иловых осадков сточных вод коммунальных и промышленных очистных сооружений;

7) Комплексная переработка отвалов рудообогатительных фабрик;

8) Плазменная газификация RDF.

Предоставленная от разработчиков технологий информация по данным технологическим предложениям содержится в Приложении А.

Принятый подход к отбору технологических предложений, описанный в разделе 1 Отчета, основан на трех ключевых критериях, предполагающих определение следующих характеристик технологического предложения: уровня технологической и производственной готовности представленных технологических предложений; оценки емкости отраслевого рынка и рыночного потенциала технологического предложения; определения конкурентной позиции технологических предложений с учетом наличия аналогов и компаний - конкурентов.

В соответствии с данными критериями в разделе 2 Отчета представлены результаты проведенного анализа представленных технологических предложений, в том числе с учетом оценки рыночного потенциала. В то же время результаты и детальность представленного анализа в целом ограничены двумя соображениями. Во-первых, невысокая степень рыночной готовности представленных технологических предложений, что затрудняет определение конкурентных позиций и границ целевого отраслевого рынка в целом. Во-вторых, сфера обращения с отходами Российской Федерации, в части их промышленной сортировки, переработки и утилизации, находится преимущественно в стадии зарождения, в том числе и в части регулирующих ее норм и применяемых высокотехнологичных решений. В этой связи в отчете используются преимущественно оценки общей емкости потенциального спроса и рыночного потенциала, так как для части технологических предложений существующий на настоящее время рынок, по сути, отсутствует, либо недостаточно развит. Открытым является также вопрос по скорости проникновения предлагаемых технологических решений на рынок, оценка которой зависит от того, сумеют ли разработчики достичь или превзойти декларируемые технико-экономические и экологические характеристики предлагаемых технологических решений, в том числе в сравнении с имеющимися аналогами и конкурирующими технологиями, выбора модели коммерциализации и выхода на рынок, а также от государственной политики в этой сфере.

В разделе 3 Отчета приводятся, с учетом сделанных выше замечаний, результаты отбора наиболее востребованных на рынке технологических предложений в сфере обращения с отходами для управления по трансферу технологий. Данные результаты отражают текущее состояние рыночной готовности технологий и основаны на тех данных, которые предоставлены их разработчиками, поэтому их необходимо рассматривать исключительно в этом ракурсе. По мере совершенствования предложенных технологий и основанных на них технологических решений, уточнения их характеристик, формирования и развития соответствующих отраслевых рынков услуг в сфере обращения с отходами и производства технологического оборудования, а также совершенствования государственного регулирования этой сферы оценки рыночного потенциала и перспектив внедрения технологических предложений могут и должны корректироваться.

Представленные в Отчете оценки и результаты основаны на информации, предоставленной разработчиками рассматриваемых технологических предложений. Руководитель и исполнители работы не несут ответственности за полноту и достоверность данной информации.

1 МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОТБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ

Представленные для отбора восемь технологических предложений для управления по трансферу технологий относятся к сфере обращения с промышленными и коммунальными отходами и основаны на технологиях сортировки, переработки и сжигания отходов, а также связанных с этими процессами технологиях.

В то же время необходимо отметить, что сфера обращения с отходами Российской Федерации в части их промышленной сортировки, переработки и утилизации находится преимущественно в стадии зарождения, в том числе и в части регулирующих ее норм и применяемых высокотехнологичных решений. Львиная доля образующихся промышленных и коммунальных отходов в настоящее время подлежит захоронению и складированию, а уже накопленные объемы отходов порождают существенные угрозы экологической безопасности России. В силу этого недостаточной степенью развития характеризуются и отдельные важные для представленных технологических предложений отраслевые рынки, что накладывает существенные ограничения на выбор методологии исследования.

При отборе наиболее перспективных технологических предложений также необходимо учитывать невысокие, как правило, уровни их технологической (TRL), производственной (MRL) и, в особенности, рыночной готовности (CRL), что сильно затрудняет оценку в части определения конкурентных позиций и границ целевого отраслевого рынка в целом. По этой причине методология исследования и отбора технологических предложений базируется, в первую очередь, на оценки емкости потенциального спроса и рыночного потенциала технологических предложений с учетом уровня их технологической и производственной готовности, так как для части рассматриваемых технологических предложений сформированный отраслевой рынок на настоящее время, по сути, отсутствует.

С учетом отмеченных обстоятельств нами использован комбинированный подход для целей отбора наиболее востребованных на рынке технологических предложений в сфере обращения с отходами для управления по трансферу технологий. В основу для определения перспективности технологических предложений и их востребованности на рынке положены три ключевых характеристики:

- 1) уровни технологической и производственной готовности;
- 2) оценки емкости отраслевого рынка и рыночного потенциала;
- 3) определения конкурентной позиции технологического предложения с учетом наличия аналогов и компаний - конкурентов.

Критерии по указанным ключевым характеристикам могут варьироваться исходя из конкретных задач отбора технологических предложений. В качестве минимальных требований для целей дальнейшей коммерциализации/внедрения можно рекомендовать: 1) наличие опытного

образца и оценок ключевых технико-экономических характеристик, определенных на основе производства опытного образца и опытной эксплуатации; средний рыночный потенциал, определяемый на основе экспертных оценок; средняя конкурентная позиция.

Определение указанных характеристик технологического предложения производится в три следующих этапа:

1. Построение схемы (карты) технологического (производственного) процесса, выявление аналогов и альтернатив.
2. Определение границ и оценка основных характеристик отраслевого рынка и рыночной ниши.
3. Оценка конкурентных позиций.

1. Построение схемы (карты) технологического (производственного) процесса, выявление аналогов и альтернатив

С целью определения границ отраслевого рынка и рыночной ниши используется следующая информация, предоставляемая разработчиками технологий, на которых основаны подлежащие отбору технологические предложения:

1. Детальное описание технологии. Название технологии на английском языке. Основные публикации, описывающие технологию и технологические решения, лежащие в основе технологического предложения. Конкурирующие или альтернативные, в том числе улучшаемые предлагаемым технологическим предложением технологии, в том числе разрабатываемые в России и в мире и уже применяемые для аналогичных задач. Обоснование преимущества предлагаемой технологии перед конкурирующими, альтернативными или улучшаемыми.

2. Оценка и обоснование уровня технологической готовности своего технологического предложения, а также оценка и обоснование уровня производственной готовности. Существует ли потребность в дополнительных исследованиях, доработках для организации серийного промышленного применения предлагаемой технологии.

3. Развернутые технико-экономические оценки (при наличии технико-экономическое обоснование, ТЭО), а также степень проработанности ТЭО организации производства технологического оборудования.

4. Схема (карта) технологического (производственного) процесса, связанного с внедрением технологического предложения:

4.1) источники и требования к составу входящих в технологический (производственный) процесс ресурсов (отходов), степень универсальности технологии и возможности использования альтернативных ресурсов (перечислить) при сопоставимых ключевых технико-экономических характеристиках;

4.2) описание и технико-экономические характеристики технологического (производственного) процесса (используемого оборудования) (удельные затраты ресурсов, издержки), источники и

требования к составу требуемых для технологического процесса дополнительных ресурсов;

4.3) конкретный основной и дополнительный (при наличии) результат технологического (производственного) процесса и его удельные характеристики: производство вторичных ресурсов, энергии, обезвреживание опасных отходов и др.;

4.4) содержание предлагаемого технологического решения, и как именно оно осуществляется в технологическом (производственном) процессе: место технологии, составляющей основу технологического предложения, в технологическом (производственном) процессе – что именно дает ее внедрение, обоснование ее внедрения по сравнению с альтернативными решениями (сравнительная технологическая и экономическая эффективность, технологические и/или стоимостные преимущества относительно существующих альтернатив);

4.5) какое именно оборудование (при наличии) предполагается производить и поставлять на рынок в связи с внедрением технологии (оценка стоимости его производства, установки и запуска, эксплуатационные издержки, производственные характеристики (производственная мощность, производительность, потребляемая энергия/топливо и объем потребления, объем потребления электроэнергии, количество персонала, экологические показатели)). Требуется ли перестройка существующих технологических решений для перехода на использование предлагаемого оборудования;

4.6) если предполагается поставка на рынок не оборудования, а другой продукции (программное обеспечение, катализаторы, сорбенты и др.) – конкретизировать и дать ее технические и экономические характеристики в расчете на единицу продукции (стоимость, производительность и другие технические характеристики, необходимость перестройки существующих технологических решений для перехода на ее использование).

5. Альтернативные варианты использования предлагаемой технологии. Оценка связанных с этим дополнительных издержек. Существует ли потребность в дополнительных исследованиях, доработках для альтернативного применения предлагаемой технологии. Нужно ли дополнительное оборудование для альтернативного применения технологии.

Идентичность запрашиваемой у разработчиков информации обеспечивает единообразие процедуры отбора наиболее востребованных на рынке технологических предложений, в том числе с учетом их уровней технологической и производственной готовности.

На основе предоставленной разработчиками технологий информации с целью дальнейшего определения границ отраслевого рынка предлагаемого к разработке и производству технологического оборудования для каждого технологического предложения строится схема (карта) технологического (производственного) процесса, отражающая следующие аспекты:

1) Исходные ресурсы (сырье): обрабатываемые отходы или иные ресурсы, идущие на вход технологического (производственного) процесса,

требования к их составу и другие характеристики, источники отходов или иных ресурсов, возможность тиражирования на другие виды отходов или иных ресурсов;

2) Технология: описание схемы обработки исходных ресурсов в рамках технологического (производственного) процесса, в том числе дополнительно требуемые ресурсы, технологическое оборудование и другие, ключевые технологические и технико-экономические показатели;

3) Результат: достигаемый в результате технологического (производственного) процесса эффект (обезвреживание, утилизация и их ключевые характеристики, образование вторичных ресурсов, энергии и др. и направления их дальнейшего использования).

Также на этом этапе уточняются стадии готовности технологии к массовому внедрению: уровни технологической готовности (TRL), производственной готовности (MRL) и, при наличии, рыночной готовности (CRL).

Дальнейший анализ основывается на выявлении аналогов и альтернатив предлагаемых технологий и технологических решений, как уже применяемых и предлагаемых на рынке, так и находящихся в стадиях НИОКР и внедрения.

2. Определение границ и оценка основных характеристик отраслевого рынка и рыночной ниши

По результатам первого этапа производится конкретизация как отраслевого рынка в целом, так и рыночной ниши, на которую ориентировано рассматриваемое технологическое предложение, оцениваются их основные характеристики (емкость, стадия развития рынка, темпы роста, дальнейшие перспективы), а также определяются конкурирующие технологии и предлагаемые технологические решения, в том числе аналоги, оценивается степень конкурентности рыночной ниши, оценивается текущий объем продаж (при наличии соответствующей доступной информации).

С учетом высоких, часто непреодолимых барьеров входа (сложившиеся национальные технические стандарты и требования к экологичности производства, высокий уровень рыночной власти уже присутствующих на рынке производителей, а также покупателей технологического оборудования, необходимость встраивания в уже действующие цепочки поставок, высокий уровень государственного протекционизма, скрытые барьеры в виде специфичности состава и источников отходов, отсутствия у отечественных поставщиков наработанной репутации и др.) на зарубежные рынки технологического оборудования и технологических решений в сфере обращения с отходами, ключевым для отбора технологических предложений выступает рынок Российской Федерации. В случае выявления экспортного потенциала для предлагаемых технологического оборудования и технологических решений это выступает дополнительным преимуществом при отборе технологических предложений. Вместе с тем необходимо отметить, что реализация экспортного потенциала в данной сфере, как

правило, дополнительно требует реализации системы мер государственной поддержки и продвижения соответствующего технологического оборудования и технологических решений на экспортные рынки.

3. Оценка конкурентных позиций

По итогам конкретизации отраслевого рынка и рыночных ниш производится оценка конкурентных позиций предлагаемых технологического оборудования и технологических решений (сильные и слабые стороны; возможности и ограничения коммерциализации (массового производства и внедрения); угрозы конкурентоспособности; риски появления альтернативных, в том числе более эффективных технологических предложений (с учетом наличия параллельных исследований альтернативных перспективных технологий (на разных стадиях готовности)). С учетом оценки конкурентных позиций осуществляется экспертная оценка рыночного потенциала предлагаемого технологического оборудования и технологических решений (потенциальный объем продаж, потенциальная рыночная доля и другие показатели).

2 ОЦЕНКА РЫНКОВ И КОНКУРЕНТНЫХ ПОЗИЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ

2.1 Технологии генерации электроэнергии из низкокалорийного топливного газа

В рамках Заявки № 2020-20(б)-8983-5037 от 06.12.2021 г. в Совет по приоритетному направлению научно-технологического развития Российской Федерации, определенному пунктом 20(б) Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации на разработку комплексной научно-технической программы «Комплексные системы обращения с коммунальными и промышленными отходами» была предложена разработка модульных энергокомплексов, обеспечивающих электроснабжение установок по переработке ТКО за счет сжигания низкокалорийного топливного газа.

Предлагаемая технология электрогенерации заключается в разработке энергокомплексов органического цикла Ренкина (далее ОЦР) с системой воздушного охлаждения. В ней применяется эффективная система удаления неконденсирующихся газов, обеспечивающая минимальные утечки рабочего тела. Такая технология позволяет преобразовывать в электричество тепловую энергию, выделяющуюся в результате сжигания топлива в котлах и газовых турбинах, с меньшими потерями ресурсов и с большим КПД. Источником входного ресурса в рамках энергокомплекса могут быть неперерабатываемые отходы промышленного, бытового и сельскохозяйственного назначений. По заявлению разработчика, полученное в результате генерации электричество может направляться либо на обеспечение функционирования энергокомплекса, либо поставляться в общую Единую энергетическую систему.

В настоящий момент получено 5 патентов на технические решения по разработке энергокомплексов. Три патента на полезные модели: «Секционная конденсационная установка» RU 185511, «Воздушный конденсатор пара избыточного давления» RU 185915, «Устройство поддержания уровня в замкнутой газожидкостной системе» RU 185977. Два патента на изобретения: «Энергетическая теплоутилизационная установка» RU 2716644 и «Парогазовая установка с воздушным конденсатором» RU 2745468. Согласно патенту «Парогазовая установка с воздушным конденсатором», зарегистрированному 25 марта 2021 года разработчики обладают исключительным правом на изобретение до 27 августа 2040 года.

На текущей стадии разработки согласно патенту «Парогазовая установка с воздушным конденсатором» установка выглядит следующим образом (рисунок 2.1.1). На схеме изображены: 1 компрессор для сжатия атмосферного воздуха, 2 камера сгорания, 3 газовая турбина, 4 привод оборудования, 5 утилизатор, 6 основная выхлопная труба, 7 резервная

выхлопная труба, 8 и 9 газовые клапаны, 10 конденсатный насос, 11 воздушный конденсатор, 12 питательный насос, 13 линия рециркуляции, 14 теплообменник-рекуператор, 15 дефлегматор, 16 холодильная машина, 17 обвод турбины рабочего тела, 18 привод оборудования, 19 байпасная линия, 20 вентилятор, 21 теплообменник-охладитель, 22 свеча сброса неконденсирующихся газов.

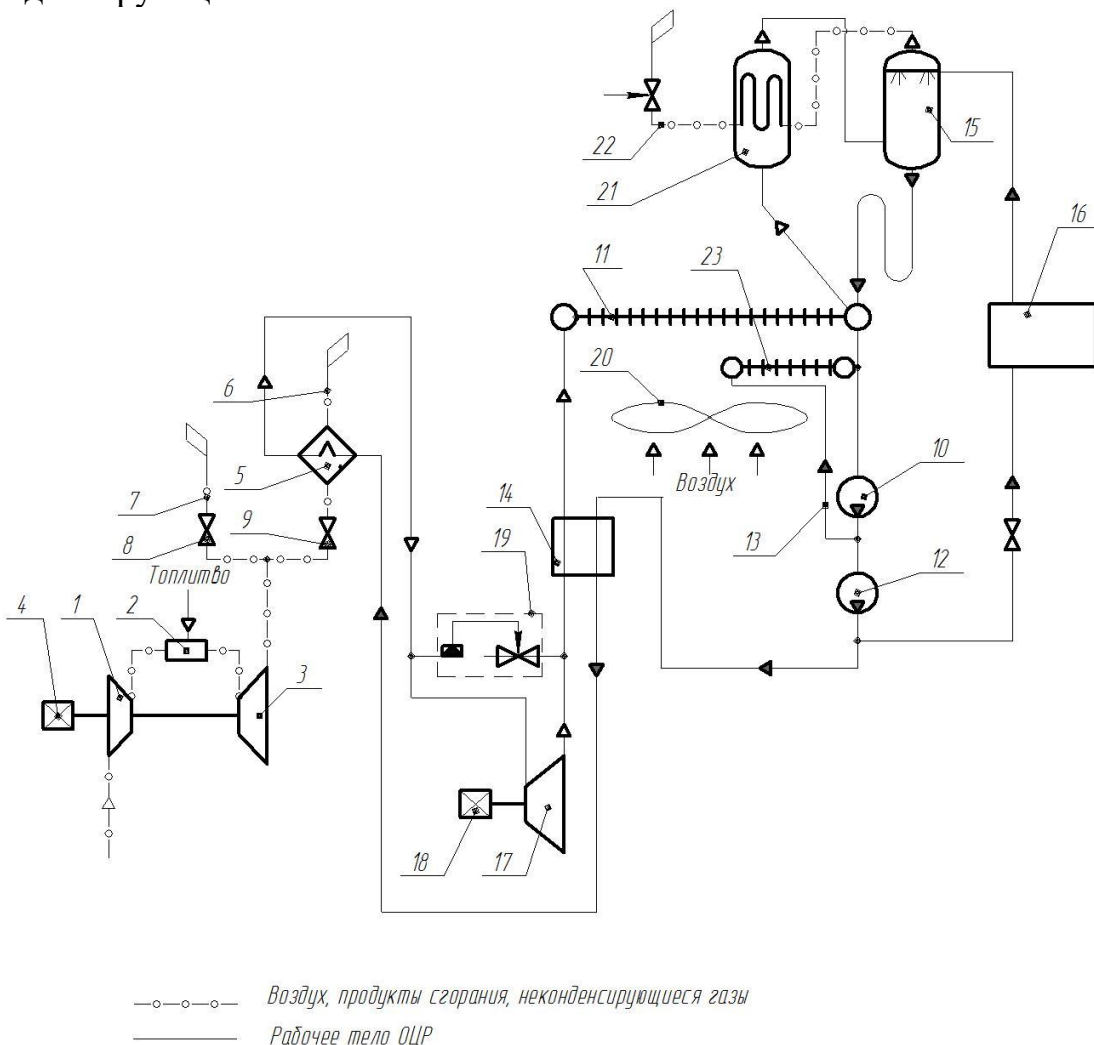


Рисунок 2.1.1. Парогазовая установка с воздушным конденсатором
 Источник: [1, стр. 12]

На данный момент уровень технологической готовности (TRL) оценивается разработчиками как TRL 3 – аналитическая апробация концепции. На текущий момент начаты разработки, включающие аналитические и лабораторные исследования. Проводятся научные исследования, включающие экспериментальные исследования теплофизических свойств и термостабильности рабочих тел цикла, зарегистрированы патенты на изобретения. Уровень производственной готовности (MRL) находится на уровне формирования базовых вводных производства MRL 1, поскольку не установлена конечная мощность энергокомплекса. Уровень рыночной готовности (CRL) также находится на

начальной стадии – CRL 1, поскольку разработчиками только определяются потребности рынка по текущим трендам развития ОЦР-технологий.

Определяющим критерием сопоставления технологии с существующими разработками является мощность установки. Разработчиками было заявлено, что при использовании их технологического решения возможно построить энергокомплексы мощностью от 500 кВт до 5 МВт. На основе этих показателей был определен круг технологических конкурентов. В данный момент на российском рынке есть предложения технологий, основанных на ОЦР, как от отечественных разработчиков, так и от зарубежных. Компании в большинстве своём предлагают установку не одного ОЦР-модуля, а в целом всего комплекса по электрогенерации из тепловых источников «под ключ», например, Инжиниринговая компания полного цикла “Первый инженер”, Dürr Group [2, 3]. Схожими по диапазону мощностей конкурирующими технологиями являются установки на основе паровых турбин, позволяющие перерабатывать тепловую энергию в электрическую. Как ОЦР-модули, так и паротурбинные установки направлены на генерацию электричества из тепловой энергии, полученной в результате сжигания широкого спектра топлив: топливного газа, RDF-топлива и биотоплива. В отличие от паротурбинных установок энергокомплексы на органическом цикле Ренкина адаптированы к частичным нагрузкам мощностей и более гибкие в эксплуатации, могут работать на открытом воздухе при отрицательных температурах. Конкурирующими технологиями по мощности генерации электроэнергии также могут выступать бензиновые, дизельные, газовые, турбинные генераторы, работающие за счёт получения тепла от сжигания топлива. Однако напрямую сравнивать их будет неправильным, поскольку предложенная разработка охватывает сам технический способ перевода тепловой энергии в электрическую. Она не включает в себя процесс получения тепла от сжигания топлива или от вращения турбины.

Технологическим преимуществом разработки в классе технологий, основанных на органическом цикле Ренкина, является разработка цикла с системой воздушного охлаждения энергокомплекса, что позволит увеличить КПД установки. Данное технологическое решение не имеет аналогов в России, однако в мире в настоящий момент проводятся научные исследования, приводящие к результатам, характеристики которых тождественны результатам рассматриваемого технологического решения. Здесь можно выделить два патента по исследованиям в направлении реализации ОЦР без промежуточного контура: Ormat Technologies Inc., США, RU 2 502 880 C2 и Nuovo Pignone S.p.A., Италия, RU 2 561 221 C2.

Ввиду того, что существует большое количество схожих технологических предложений, активно реализующихся в направлении массового производства, конкурентную позицию предлагаемого решения можно оценить как слабую, поскольку технология на данный момент времени находится на стадии разработки и не является окончательной и готовой для

реализации на рынке. Однако нельзя не учитывать технологический потенциал разработки в направлении по увеличению КПД электрогенерации, который может обеспечить определяющее конкурентное преимущество технологии на рынке в будущем.

Данное технологическое решение является технологией второго уровня, поскольку оно не связано напрямую с утилизацией коммунальных и промышленных отходов, а предлагает способ утилизации тепловой энергии в электрическую. Разработчиками обозначен потенциал её применения для электроснабжения установок по переработке ТКО за счёт сжигания низкокалорийных топлив. Однако эта сфера применения технологии является не единственной и далеко не определяющей.

Модули, работающие на органическом цикле Ренкина, применяются для переработки тепловой энергии в электрическую на тепловых станциях, котельных. В настоящий момент выработка электроэнергии при помощи сжигания природных ресурсов занимает большую долю как на мировом рынке, так и на российском. По оценкам Международного энергетического агентства, в 2020 году более 60% мировой электроэнергии вырабатывалось тепловыми электростанциями [4]. Россия имеет схожую структуру производства электроэнергии: 63,7% электричества образуется из тепловой энергии, 17,5% - за счет гидроэлектростанций, 18,6% - при помощи атомной энергетики, на возобновляемые источники приходится 0,2% [5]. Следовательно, предлагаемая технология имеет большие возможности распространения при совместном её использовании с тепловыми станциями и котельными на данный момент.

Несмотря на преобладание доли тепловых электростанций как способа выработки электричества в настоящее время, в связи с усилением тренда на декарбонизацию и созданием экономики замкнутого цикла будет происходить снижение доли электрогенерации посредством сжигания природных ресурсов на тепловых станциях. Сокращение потребления ископаемого топлива может быть достигнуто либо замещением части выработки энергии альтернативными источниками, либо увеличением энергоэффективности производства энергии за счет утилизации уходящей тепловой энергии. В таких условиях ОЦР-модули могут применяться для получения электроэнергии из альтернативных источников, например, на геотермальных, солнечных станциях или при сжигании низкокалорийных топлив, полученных в результате переработки ТКО и сельскохозяйственных отходов. Также данную технологию в перспективе можно будет использовать на промышленных предприятиях с большим количеством бросовой теплоты с целью восполнения энергетических запасов и электроснабжения производства.

Мировой рынок ОЦР-технологий находится на стадии активного развития. Объём мирового рынка технологий, основанных на органическом цикле Ренкина, в 2020 году оценивался в 211,5 млн долларов США. Аналитические агентства прогнозируют среднегодовой рост мирового рынка около 20% до 2028 года [6]. Такой ускоренный рост объясняется ростом

использования возобновляемых источников энергии и низкими эксплуатационными расходами ОЦР-установок. Такие технологии применяются на электростанциях, в основе работы которых лежат геотермальная энергия, биомасса, солнечная энергия и рекуперация тепла с производств. Геотермальный сегмент лидирует на рынке. В 2020 году доля его доходов составила более 40% от мира. Основным фактором, определяющим этот сегмент, является большая установленная мощность геотермальных проектов. Обычно она составляет более 10 МВт, в то время как в других сегментах рынка ОЦР-установки имеют установленную мощность менее 1-2 МВт. Таким образом, при грубой оценке все сегменты, кроме геотермального, можно отнести к малой энергетике.

Что касается региональных особенностей рынка, то Европа занимает доминирующие позиции в 45% от общемирового дохода. Рост европейского рынка ОЦР-технологий обуславливается политикой по поддержке проектов по энергоэффективности. Также в последние годы происходит активное освоение геотермального потенциала Турции. На долю США приходится около 30% мирового рынка. В последние годы в связи с освоением геотермальных источников Азиатско-Тихоокеанского региона данный регион становится ведущим по темпам прироста установленных мощностей.

Американская компания ORMAT является мировым лидером по общей установленной мощности ОЦР-установок (65,7%), за ней следуют две итальянские компании Turboden (12,6%) и Exergy (9,8%). Компании предлагают широкий спектр ОЦР-установок различной мощности от 0,3 до десятков МВт [7]. Их технологии позволяют получать электрическую энергию из различных источников: на геотермальных станциях, из биомассы и на промышленных производствах, что является их конкурентным преимуществом.

На 2017 год общая установленная электрическая мощность ОЦР-установок в мире составляла 2,8 ГВт, из них 76,5% составили установки на геотермальных источниках [8]. Следовательно электричество, полученное из биомассы, утилизации тепла и других источников в сумме составило 23,5%, что составляет приблизительную оценку доли малой энергетике (до 10 МВт) по миру при условии, что доли сегментов остаются неизменными к 2020 году. За 2012-2016 годы в эксплуатацию в среднем вводилось ежегодно порядка 270-300 МВт, для малой энергетике около 70 МВт ежегодно [7]. При среднегодовом темпе роста установленных мощностей в 20% (исходя из прогнозов аналитических агентств [6]) получаем, что к 2020 году общая установленная электрическая мощность установок на органическом цикле Ренкина составляет около 4 ГВт. При неизменной доле геотермальных источников (в перспективе увеличивающейся, поскольку их освоение даёт существенно больший прирост мощностей) получаем рыночную долю малой энергетике по установленным мощностям 1 ГВт к 2020 году – что составляет порядка 52,9 млн долларов США. Поскольку предлагаемая технология находится на стадии разработки, её потенциальную рыночную долю на

текущий момент определить невозможно. Годовой потенциал ввода мощностей в целом по миру в срезе зеленой энергетики составляет 70 МВт в натуральном выражении или 3,7 млн долларов США в стоимостном выражении.

Возможной перспективой выхода предлагаемой технологии может являться европейский рынок, поскольку на нём существует потребность ОЦР-установках малых мощностей, которые как раз способны предложить отечественные разработчики. Однако главными препятствиями выхода на мировой рынок являются вопросы конечных технических характеристик разрабатываемого технологического решения и его потенциальной конкурентоспособности в сравнении с зарубежными аналогами. Это можно будет оценить уже на конечных стадиях разработки технологии. Также препятствиями могут выступить конечная стоимость технологии для возможных европейских потребителей, технологическая и экологическая совместимость предлагаемого оборудования с зарубежными стандартами.

В России рынок установок на основе органического цикла Ренкина ещё только зарождается. По данным ORC World Map, на 2021 год в Российской Федерации действует 12 ОЦР-установок установленной электрической мощностью 8,6 МВт, все установки построены зарубежными компаниями [9]. Такая технология только получает распространение в России на данный момент и доступна скорее крупным компаниям, обладающим финансовыми возможностями. Например, компания Turboden первая из зарубежных компаний внедрила в России на заводе компании "Лукойл-Пермь" относительно мощную ОЦР-установку (1,8 МВт (э) и 10 МВт тепла на технологические нужды). Установка работает на тепле от сжигания попутного нефтяного газа. [10] В настоящий момент Turboden совместно с ООО «Газпром трансгаз Югорск» прорабатывают строительство УТЭК электрической мощностью 5 МВт на КС «Октябрьская», сроки ввода в эксплуатацию установки неизвестны [11]. Также на стадии проектной разработки сейчас находятся 4 ОЦР-установки в Хабаровском крае, Ямало-Ненецком автономном округе, Архангельской и Московской областях общей установленной электрической мощностью 14,1 МВт [9].

Для оценивания потенциала предлагаемого технологического решения на российском рынке следует исходить из действующих мощностей по выработке тепловой энергии, поскольку технология зависима от источников по выработке тепла. Для оценки ёмкости рынка рассматривались суммарные мощности источников теплоснабжения России за 2018 год – 677,1 ГВт [12]. В качестве потенциального рынка для предлагаемой технологии будут рассматриваться только котельные, так как именно они являются потенциальными заказчиками технологического решения по генерации электричества из тепла. Иные альтернативные варианты использования ОЦР-технологии на геотермальных станциях или при сжигании RDF топлива и биотоплива обладают крайне малым распространением на российском рынке электрогенерации, поэтому ими можно пренебречь. Отопительные котельные

составляют 69% суммарной мощности источников теплоснабжения общего пользования или 467,2 ГВт [13]. Данное количество теплоты является входным ресурсом для энергокомплекса. В настоящий момент средний КПД на установках органического цикла Ренкина составляет 10%, поэтому мощность генерируемой электроэнергии составит порядка 46,7 ГВт или 46 719 803,4 кВт. Предложенная технология предполагает увеличение КПД установки, поэтому на финальных стадиях разработки потенциальный объём получаемой электроэнергии может быть увеличен. При анализе конкурентных предложений была определена средняя стоимость установленной электрической мощности на 1 кВт – 180 тыс. рублей (при курсе доллара США 74,3 рубля, евро – 83,5 рубля) [14, 15]. Таким образом, если бы данная технология получила 100% проникновение на всех тепловых станциях, то оценка ёмкости рынка в стоимостном выражении составила 8 410 млрд руб.

Тем не менее в силу низкой экономической эффективности технологических решений, основанных на данной технологии, перспективы ее распространения на весь потенциальный спрос видятся слабыми. Электрическая мощность предлагаемой технологии может достигать 5 МВт. Так, для неё является перспективным рынок малой энергетики, включающий в себя электростанции мощностью до 10 МВт. В большинстве своём он ориентирован на области, не охваченные централизованным энергоснабжением – около 60-70% территории России [16]. Такими являются регионы Крайнего Севера. В этих областях для получения тепло и электроэнергии применяются котельные на угле и дизель-электрогенераторы. Поскольку северные регионы удалены, к ним осуществляется доставка твёрдого и жидкого топлив по очень высоким ценам. Это объясняет тарифы на тепловую и электрическую энергию, превышающие среднероссийские в 10 раз.

Рынок малой тепловой энергетики регионов Крайнего Севера видится перспективным для предложенной технологии. Предлагаемое технологическое решение способно работать при температуре атмосферного воздуха от -40 до +40°C. Установка ОЦР-модулей по электрогенерации на котельные позволит обеспечить регионы более дешевой электроэнергией в сравнении с электроэнергией, генерируемой на дизель-генераторах сейчас. Для оценки рыночного потенциала технологического решения определим суммарную установленную мощность малых котельных северных регионов (Республика Карелия, Республика Саха (Якутия), Мурманская область и другие) – 15,63 ГВт [17]. Это составляет общий объём утилизируемой теплоты, поступающей от сжигания угля. При среднем КПД на ОЦР-установках в 10% мощность генерируемой электроэнергии составит порядка 1,56 ГВт или 1 563 348,8 кВт. При анализе конкурентных предложений был определён ценовой разброс в пересчёте на удельную установленную электрическую мощность на 1 кВт. Он составил 104-256 тыс. рублей (при курсе доллара США 74,3 рубля, евро – 83,5 рубля). В большинстве своём схожее по техническим характеристикам оборудование приобретается у зарубежных компаний [14,

15]. По оценкам разработчиков объём капитальных затрат на единицу установленной электрической мощности составит 190-200 тыс. рублей за 1 кВт. Следовательно, предлагаемая технология сможет войти на рынок и найти своих потребителей. На основе удельных стоимостей конкурирующих технологий получаем оценку емкости рынка в стоимостном выражении: 162,6-400,2 млрд руб., что эквивалентно вводу технологического оборудования общей мощности 1,56 ГВт (э). По мере доработки технологии и определения её характеристик по совместимости с уже работающими котельными регионов Крайнего Севера и возможности работы по низким температурах могут быть получены более точные оценки рыночного потенциала технологии.

При среднем сроке эксплуатации оборудования в 10 лет, в том числе с учетом его технологического устаревания, и предположении о достижении 20% проникновения данной технологии на рынке в течение 10 лет, получаем оценку годового рыночного потенциала в размере 3,2-8,0 млрд. рублей или 31,2 МВт в установленных электрических мощностях. Оценка фактической емкости рынка определяется уже действующими малыми электростанциями, использующими данную технологию, общая установленная мощность которых составляет 8,6 МВт [9], что эквивалентно 0,9-2,5 млрд. рублей, в пересчете на годовую потребность в технологическом оборудовании это составляет 0,1-0,25 млрд. руб.

Предложенное технологическое решение в настоящий момент находится на стадии разработки и не готово к серийному производству. Оно занимает слабые конкурентные позиции, поскольку на рынке уже существует большое количество предложений по схожей технологии, преимущественно зарубежных. Исходя из этого, можно определить, что на данный момент технологическое решение слабо востребовано на рынке. Возможно, потребность в технологическом решении будет выше при программах импортозамещения технологий. Технология может занять свою нишу на рынке, однако стоит учесть, что в настоящий момент объём капитальных затрат на единицу установленной электрической мощности технологии выше среднего. Для дальнейшего анализа перспектив необходимо оценить возможность замещения уже действующих и вероятно устаревающих технологий на предлагаемое технологическое решение. Получить более точные оценки перспективности установки можно будет только в случае подтверждения или улучшения заявляемых технических, экономических и экологических характеристик, - на текущей стадии разработки это делать некорректно.

Разработчиками обозначен потенциал применения технологии для электроснабжения установок по переработке ТКО за счёт сжигания низкокалорийных топлив. Однако эта сфера применения технологии не является определяющей. Необходимо рассмотреть возможности её внедрения на удалённых от централизованного электроснабжения источников тепла, нуждающихся в электроснабжении. Данное технологическое решение может применяться в таких местностях на уже действующих тепловых станциях,

котельных. Также ОЦР-технология может применяться для получения электроэнергии из альтернативных источников, например, на геотермальных, солнечных станциях или при сжигании низкокалорийных топлив и на промышленных предприятиях с большим количеством бросовой теплоты. Однако для российского рынка энергетики в настоящий момент времени будет актуально развитие технологии в связке с тепловыми станциями и котельными. У предложенного технологического решения на данный момент есть потенциал реализации в регионах Крайнего Севера и других районах, не охваченных централизованным электроснабжением. В этом направлении следует обратить внимание на совместимость ОЦР-модулей с уже действующими котельными и температурными условиями местности.

2.2 Технология низкоэмиссионного сжигания жидких горючих отходов в присутствии водяного пара с производством тепловой энергии

В рамках разработки технологии низкоэмиссионного сжигания жидких горючих отходов в присутствии водяного пара с производством тепловой энергии была сконструирована техническая установка, с использованием которой путем сжигания возможно утилизировать отработанные масла, некондиционное дизельное и печное топливо, отходы нефтепереработки и нефтедобычи, сырую нефть от разливов в результате аварий.

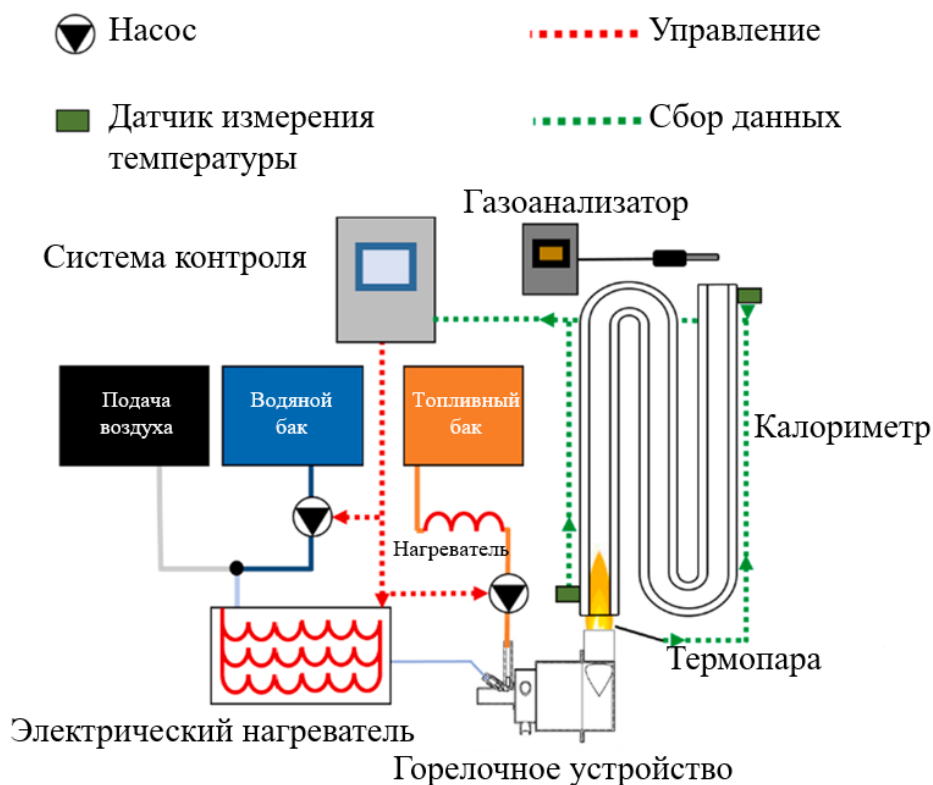


Рисунок 2.2.1 – Схема экспериментальной установки
Источник: [1, стр. 3]

В Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук была разработана технологическая установка, схема и составляющие компоненты которой представлены на рисунке 2.2.1.

Особенность разработки заключается в конструкции горелочного устройства, технология состоит в сжигании топлива с использованием струи перегретого водяного пара (рисунок 2.2.2). Результатами использования данной технологии являются снижение объемов выбросов оксидов азота в атмосферу в процессе горения жидких горючих отходов и сопутствующая выработка тепловой энергии.

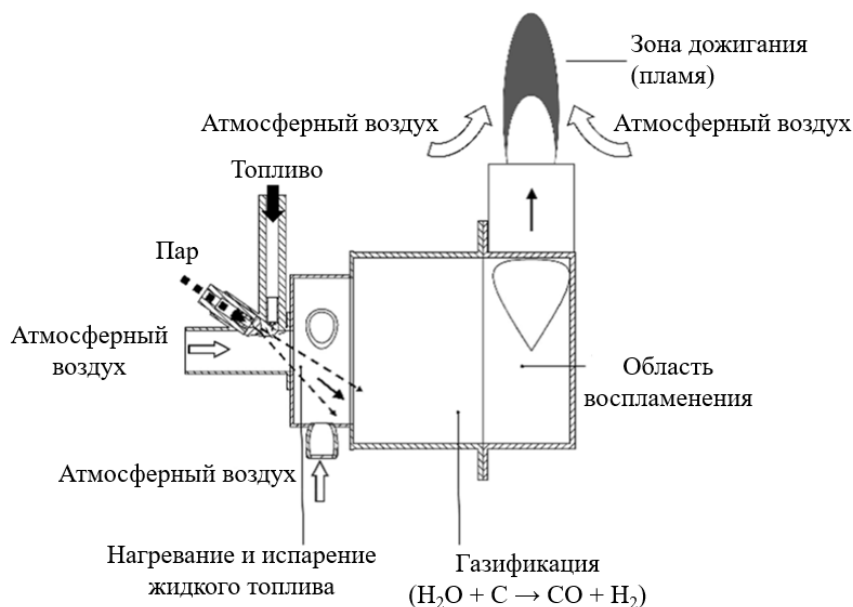


Рисунок 2.2.2 – Схема горелочного устройства
Источник: [1, стр. 2]

На данный момент уровень готовности технологии (TRL) можно оценить как TRL 5: основные технологические компоненты интегрированы с подходящими другими («поддерживающими») элементами, и технология может быть испытана в моделируемых условиях. Уровень производственной готовности (MRL) находится на уровне формирования базовых вводных производства MRL 1. Разработаны и созданы технологии и устройства, защищенные патентами РФ на изобретения: РФ № 2219435 «Способ бесплажного сжигания топлива» (2003); РФ № 2450207 «Горелочное устройство» (2012); РФ № 2523591 «Горелочное устройство» (2014); РФ № 2579298 «Горелочное устройство» (2016); РФ № 2678150 «Горелочное устройство» (2019); РФ № 2684300 «Паромасляное горелочное устройство» (2019); РФ № 2705494 «Автономное горелочное устройство длительного действия» (2019); РФ № 2705495 «Пусковое горелочное устройство» (2019).

Сжигание жидких горючих отходов наряду с пиролизом и газификацией относятся к методам термической обработки отходов. Также жидкие горючие отходы могут быть обезврежены и переработаны следующими способами:

- физическим (гравитационное отстаивание, центробежная очистка, фильтрование);
- химическим (экстрагирование с помощью растворителей, отверждение с применением органических добавок);
- физико-химическим (адсорбция, коагуляция);
- биологическим (биоремедиация и фиторемедиация) [2].

Основным преимуществом сжигания в сравнении с рассмотренными методами является сравнительно низкая стоимость и эффективность утилизации. В настоящее время применяются следующие технологии сжигания жидких горючих отходов: сжигание в печах барабанного типа, сжигание с использованием форсунок для подачи топлива в печь, сжигание в топках с барботажными горелками, сжигание в печах с кипящим слоем теплоносителя. Однако перечисленные технологии неэффективны в контексте тенденций на сокращение токсичных выбросов и увеличения энергосбережения [3]. В связи с этим главное преимущество предложенной разработчиками технологии заключается в снижении токсичных выбросов в процессе горения.

В качестве конкурирующих с непосредственно горелочным устройством технологий разработчиком выделяются жидкотопливные горелочные устройства для сжигания мазута и нефти (мазутные горелки), дизельного топлива (дизельные горелки) и для сжигания широкого спектра топлив, в т.ч. отработанных масел, (универсальные горелки) [4]. Рынок горелочных устройств довольно объемный и представлен широким спектром производителей: «Baltur», «Ecoflam», «Hansa», «Lamborghini», «F.B.R.», «Giersch», «Weishaupt», «MASTER», «Riello», «EnergyLogic», «CIB Unigas» и др [5-8].

Таким образом, с учетом, с одной стороны, значимых преимуществ технологии, с другой – существующими разработками и коммерческими решениями, конкурентная позиция технологии низкоэмиссионного сжигания жидких горючих отходов оценивается как средняя.

Для оценки перспективности технологии и границ рынка необходимо определить объем входных ресурсов. В качестве одного из ресурсов разработчиками указывается водоугольная суспензия, однако ее использование предполагает первоначальное производство водоугольного топлива. К тому же, вопрос о конкурентоспособности и широте применения водоугольной суспензии по сравнению с наиболее распространенными углеводородными топливами на сегодняшний день остается открытым [9]. Таким образом, технологическая возможность и целесообразность рассмотрения этого ресурса в рамках проекта «Технология низкоэмиссионного сжигания жидких горючих отходов с производством тепловой энергии» требуют дальнейшего уточнения.

Так, в качестве основных входных ресурсов рассматриваются нефтешламы, отработанные масла, некондиционное дизельное топливо. На данный момент в России накоплено более 100 млн тонн нефтяных шламов,

образованных в результате нефтедобычи и нефтепереработки [10]. Еще более 3 млн тонн образуются ежегодно [11]. На 2020г. в России было потреблено 2 млн тонн смазочных масел, при среднем коэффициенте образования отходов масел, равном 0,5, потенциально образовано 1 млн тонн [12]. Объемы некондиционного дизельного топлива, по экспертным оценкам, в 2020 году занимали около 20% рынка дизельного топлива – 7 млн тонн в год [13]. Таким образом, даже без учета накопленных отходов, объем ежегодного пригодного для использования технологии сырья составляет 11 млн тонн. Полная емкость отечественного рынка – 111 млн тонн.

Однако, как было рассмотрено ранее, помимо сжигания, существуют иные способы обращения с отходами. Ключевой из них – переработка. Технологии сжигания уступают ей как минимум по двум существенным причинам. Во-первых, в условиях текущего истощения сравнительно легкодоступных запасов углеводородов и, как следствие, удорожания себестоимости их добычи, утилизация пригодного для переработки сырья не представляется экономически целесообразной. Во-вторых, подобное обращение с отходами не соответствует современным тенденциям и национальным стратегиям развития экономики замкнутого цикла. Уже на сегодняшний день в России и в мире применяются технологии переработки нефтесодержащих отходов, позволяющие повторно использовать ресурсы, тем самым снижая издержки и негативные для экологии эффекты. К тому же, по мере развития формирующегося в России рынка обращения с отходами риски утраты технологического потенциала установки будут только усиливаться.

По этой причине для оценки рыночного потенциала технологии необходимо учитывать состояния развитых рынков обращения с жидкими горючими отходами. По оценке Европейской комиссии, около 61% собранного отработанного масла в ЕС перерабатывается в базовые смазочные масла, 24% перерабатывается в топливо, 11% – сжигается с целью получения энергии [14]. Воспользовавшись этой оценкой, получаем потенциально возможный для России при полном сборе отработанного масла объем сжигания отработанных масел и некондиционного дизельного топлива в 0,9 млн тонн. Оценить возможный объем сжигания нефтешламов затруднительно ввиду различного содержания нефти. На нефтеперерабатывающих заводах США при высоком содержании нефти (>50%) и низком содержании твердых частиц (<30%) перерабатываются около 80% нефтешламов. Остальные 20% утилизируются [15]. Утилизируются и нефтешламы с низким содержанием нефти. Так, по данным ВР, около 43% опасных отходов могут быть переработаны [16]. Таким образом, получаем общий потенциальный объем сжигания нефтеотходов составляет 59,6 млн тонн.

Заявленная разработчиками мощность устройства – 2МВт, на основании этого показателя, сужающего рынок конкурирующих производителей, были

рассмотрены некоторые модели и представители жидкотопливных (промышленных) горелочных устройств схожей мощности.

Таблица 2.2.1 – Жидкотопливные горелочные устройства

Вид топлива	Страна производителя	Производитель	Модель	Мощность, кВт	Стоимость, руб.
Дизельное топливо	Германия	Giersch	M3.22-Z-L	850 - 2090	565 000
			M3.32-Z-L	1210 - 2500	614 000
		Riello	PRESS 200 T/G t.c.	557/1186 - 2372	488 853
			PRESS 300 T/G t.c.	712/1779 - 3560	578 662
	Италия	Ecoflam	MAIOR P 600.1 PR TL	1795 - 5800	968 000
		Lamborghini	PG/2	711 - 2135	689 000
	PG 250/M		1067 - 2965	922 000	
Отработанное масло	Италия	Ecoflam	OILFLAM 300.1 AB TC	1000 - 3000	997 000
	Россия	5energy	EcoBoil AV 2000	1000 - 2000	180 000

Источник: [6-8]

На основании стоимости рассмотренных горелочных устройств была рассчитана средняя стоимость горелочного устройства мощностью 2МВт, равная 0,7 млн руб. При мощности 2МВт указанная производительность по отходам равняется 5 тонн в сутки. При предположении о сроке полезного использования оборудования 6 лет (срок полезного использования горелок и печей составляет от 5 до 7 лет) и днях работы оборудования - 285 дней в году (приблизительная длительность отопительного сезона в Северных регионах России) с использованием одного горелочного устройства может быть переработано 8550 тонн отходов за весь срок полезного использования. Тогда полная рыночная емкость непосредственно горелочного устройства составляет 8,7 млрд руб., рыночный потенциал – 4,7 млрд руб. При наличии лидеров на рынке (преимущественно немецких и итальянских производителей) распространение горелочного устройства на мировой рынок может быть достигнуто только при ценовой конкурентоспособности и доказанном существенном снижении выбросов загрязняющих атмосферу веществ.

Согласно Заявке № 2020-20(б)-8983-5037 от 06.12.2021 г. в Совет по приоритетному направлению научно-технологического развития Российской Федерации, определенному пунктом 20(б) Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации на разработку комплексной научно-технической программы «Комплексные системы обращения с коммунальными и промышленными отходами» одним из результатов проекта является разработка опытно-промышленного комплекса

по сжиганию жидких горючих отходов. Оценки целесообразности производства комплекса по сжиганию жидких горючих отходов требуют подтверждения о технологических возможностях производства комплекса, его экономических и экологических характеристиках, могут и должны быть уточнены по мере разработки технологии. Для стоимостных оценок перспективности производства опытно-промышленного комплекса по сжиганию отходов рассчитаем среднюю стоимость существующего российского оборудования термического обезвреживания отходов на одну утилизируемую тонну отходов (таблица 2.2.2).

Таблица 2.2.2 – Оборудование термического обезвреживания отходов

Производитель	Модель	Номинальная производительность по отходам, кг/час	Стоимость оборудования, млн руб.	Стоимость оборудования на одну тонну отходов, руб.*
ООО «СОСНОВОБОРСКИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД»	КТО-100.3.B	100	36	8771,9
	КТО-500.3.B	500	69	3362,6
	КТО-1000.3.B	1000	125	3045,8
	КТО-2000.3.B	2000	240	2924,0
ООО «Инсипром»	ИНСИ В-150	50	0,495	241,2
	ИНСИ С-1000	1000	9,935	242,1
ООО «ЭКО-СПЕКТРУМ»	HURIKAN 400R	400	35	2132,1

*При предположении о сроке полезного использования оборудования 6 лет (срок полезного использования горелок и печей составляет от 5 до 7 лет), из расчета работы установки 24 часа в сутки и 285 дней отопительного сезона (для Северных регионов России).

Источник: [17-18]

Так средняя стоимость оборудования на одну утилизируемую тонну, равна 2960 рублей. При предположении о полном сжигании всех вновь образуемых ЖГО общая емкость рынка оценивается в 328,6 млрд руб., фактическая емкость оценивается в 32,6 млрд руб. По мере развития технологий переработки ЖГО во вторичные ресурсы в соответствии с мировой практикой (доля утилизации нефтешламов – 43%, масел и некондиционного дизельного топлива – 89%) общий потенциал рынка может быть оценен в 176,4 млрд руб., фактический – 7,7 млрд руб. Годовая оценка рыночного потенциала 0,3-1,4 млн тонн мощности по сжиганию ЖГО или 0,9-4,1 млрд руб. При предположении, что объем накопленных ЖГО будет

полностью ликвидирован в течение 20 лет годовая оценка рыночного потенциала по потенциальной емкости 0,7-2,1 млн тонн мощности по сжиганию ЖГО или 2,1-6,2 млрд руб.

Перспективность данной технологии, на наш взгляд, следует также оценивать со стороны спроса на тепловую энергию, вырабатываемую в процессе сжигания. Нефтяные шламы, некондиционное дизельное топливо и отработанные масла могут быть использованы в качестве топлива для теплоснабжения изолированных малонаселенных северных и островных территорий России. В ряде регионов, использующих жидкое и твердое топливо в качестве источников генерации тепла, данная технология может служить низкоэмиссионной альтернативой теплообеспечения.

На основании оценок ЦЭНЭФ, полагаем, что основными регионами-потребителями тепловой энергии, потенциально произведенной комплексом по переработке, могут быть Республика Карелия, Республика Коми, Архангельская область (без НАО), Мурманская область, Республика Бурятия, Республика Тыва, Забайкальский край, Красноярский край, Иркутская область, Республика Саха (Якутия), Камчатский край, Приморский край, Хабаровский край, Магаданская область, Еврейская автономная область, Чукотский автономный округ. За 2015 г. совокупное потребление тепловой энергии этих регионов составило 213,9 млн Гкал. Установка по сжиганию отходов могла бы заменить котельные мощностью до 3 Гкал/ч., которыми сейчас обеспечивается 12,7 млн Гкал тепла [19]. Внедрение данной технологии оправдано ввиду того, что данные регионы расположены на территориях Западной и Восточной Сибири, а также Дальнего Востока, в которых, по данным Минэнерго РФ, добывается около 70% от общей добычи нефти в России [20]. Таким образом, использование данной технологии позволяет решить в регионах Крайнего Севера проблемы утилизации нефтесодержащих отходов, теплоснабжения населения, высоких издержек генерации тепловой энергии.

Перспективы выхода технологии на мировой рынок до конца неясны. На мировом рынке обращения с нефтесодержащими отходами сжигание уже сейчас не является одной из передовых технологий. Основными игроками на рынке технологий обращения с нефтешламами и в особенности отработанными маслами можно считать США и страны Европы, которые на сегодняшний день предлагают решения по экологичной утилизации жидких горючих отходов. Так, наиболее возможным входным ресурсом низкоэмиссионного сжигания являются нефтешламы. Ежегодно в мире образуется около 60 млн тонн нефтяных шламов при накопленном миллиарде тонн [21]. Таким образом, при экстраполяции оценок на российском рынке на мировой фактическая емкость рынка оценивается в 60 млн тонн в натуральном выражении и 177,5 млрд руб. в стоимостном, фактический потенциал – 34,2 млн тонн и 101,2 млрд руб. соответственно. При предположении об утилизации накопленных отходов за 20 лет фактическая емкость составит 110 млн тонн (325,6 млрд руб.), потенциал – 62,7 млн тонн (185,6 млрд руб.).

Данные оценки следует рассматривать как верхний предел, который будет снижаться по мере разработок и внедрения новых технологий мировых лидеров экологичной утилизации и переработки жидких горючих отходов, усовершенствования технологий добычи и переработки, сокращающих образование отходов.

Технология низкоэмиссионного сжигания жидких горючих отходов в присутствии водяного пара с производством тепловой энергии находится на средней стадии технологической разработанности. Конкурентное положение технологии оценивается как среднее ввиду существования на рынке схожих технологических решений в виде коммерческих предложений. Такие значимые преимущества технологии, как низкий уровень выбросов токсичных веществ в атмосферу и производство тепловой энергии, могут быть востребованы на территории Крайнего Севера, но требуют подтверждения в процессе опытно-промышленной эксплуатации. Так, низкоэмиссионное сжигание нефтеотходов с генерацией тепла может стать значимым технологическим решением в период энергоперехода в России. Частично могут быть решены как экологические, так и экономические проблемы отдаленных регионов. Основными рисками востребованности технологии с позиции обращения с отходами рассматриваются усиление тенденций переработки жидких горючих отходов с их повторным использованием, ужесточение углеродного регулирования, с точки зрения выработки тепла – появление более энергоэффективных технологий теплоснабжения, возрастание межтопливной конкуренции в генерации тепла и рост значимости использования возобновляемых источников энергии.

2.3 Плазменная газификация ТКО и других органических отходов с получением синтезгаза и инертного шлака

Содержание технологического предложения: разработка универсального технологического процесса плазменной утилизации (газификации) углеродсодержащих отходов вне зависимости от их морфологического состава с получением топливного горючего газа (синтезгаза); разработка плазменных технологических процессов уничтожения твёрдых и жидких отходов; разработка плазменных процессов утилизации твёрдых коммунальных отходов, осадков сточных вод, золошлаковых отходов ТЭЦ, медицинских отходов.

Технология основана на высокотемпературном (1300-1700 °С) плазмохимическом воздействии и полном разложении утилизируемых продуктов с помощью дуговой плазмы с получением полезного продукта, синтезгаза, который представляет собой смесь водорода и оксида углерода и является ценным энергетическим сырьем, а также инертного шлака, который можно использовать как строительный материал.

Основными преимуществами технологии, заявляемыми ее разработчиками, являются экологическая безопасность, энергоэффективность, универсальность по отношению к типу отходов, малые габариты оборудования, низкие эксплуатационные затраты, общее термическое воздействие на перерабатываемые отходы, материалы или сырьё с получением синтез-газа.

При рассмотрении данного технологического предложения необходимо отметить отсутствие консенсуса в обществе в части оценки перспективности развития технологий сжигания отходов в целом, в особенности в части проблем загрязнения атмосферного воздуха и широкого распространения идей циркулярной экономики и антропогенного влияния на глобальное изменение климата. Необходимо учитывать и резко усилившуюся в последние годы декарбонизационную тематику и перспективы усиления углеродного регулирования. Под влиянием данных факторов в части стран происходит постепенный отход от технологий сжигания ТКО в пользу технологий замкнутого цикла и переработки ТКО во вторичные ресурсы.

В то же время масштабы образования ТКО как в мире, так и в России, указывают на то, что в обозримой перспективе альтернативные способы обращения с ТКО не смогут полностью вытеснить их высокотемпературную утилизацию, главным образом представленную в настоящее время традиционным сжиганием на мусоросжигательных заводах.

С учетом, как правило, сложного состава утилизируемых ТКО необходимо указать, что по результатам высокотемпературной их утилизации происходит образование как парниковых газов, так и, что особенно проблематично, загрязняющих атмосферу веществ, в том числе особо опасных (например, в случае сжигания хлорорганики), что предъявляет повышенные требования к характеристикам используемых на мусоросжигательных заводах фильтрационных систем, а следовательно, ведет к существенному удорожанию стоимости их строительства и росту эксплуатационных затрат. Это обстоятельство существенно ограничивает проникновение данных технологий в странах, характеризующихся сравнительно невысоким уровнем жизни населения, что не позволяет государству устанавливать тарифы или предоставлять субсидии, обеспечивающие покрытие значительных затрат. Кроме того, в случае слабого экологического регулирования развитие мусоросжигания может приводить к существенному ухудшению ситуации с состоянием окружающей среды в силу выбора менее экологичных технологических решений.

Вместе с тем представленное технологическое предложение основано на плазменной технологии, предполагающей газификацию ТКО под воздействием особо высоких температур, а не их сжигание, что по заявлению разработчика не ведет к образованию и выбросу в атмосферу большинства опасных загрязняющих атмосферу веществ [1]. В случае подтверждения этого предлагаемое технологическое решение будет обладать существенными

конкурентными преимуществами перед традиционными мусоросжигающими заводами за счет его большей экологичности.

Характеристика технологического процесса (Приложение А.3; 2, стр. 37-41)

Перерабатываемые отходы: углеродсодержащие органические отходы, древесные опилки, отходы мануфактур, медицинские отходы, другие органические отходы.

Технологическое оборудование: шахтная плазменная электропечь – газификатор, плазмотроны для нагрева воздуха, центробежно-барботажный аппарат ЦБА (вихревой скруббер), осушитель- теплообменник, рукавный фильтр, компрессор, ресивер (газгольдер), газотурбинная установка (ГТУ). При расширении схемы на парогазовый цикл за газовой турбиной устанавливаются котел-утилизатор и паровая турбина. Остаточное низкопотенциальное тепло может использоваться для предварительной сушки ТКО. Кроме того, в цикл можно включать модуль утилизации низкопотенциального тепла на основе термотрансформаторов (тепловых насосов), которые также разрабатываются Институтом теплофизики СО РАН. Для работы плазмотронов требуются источники электропитания (управляемые тиристорные выпрямители), воздушный компрессор, водяной насос (градирня). Охлаждающая вода необходима также для кожуха газификатора.

Характеристики технологического оборудования:

- производительность: газификации ТКО – 16 тыс.т/год; высокотемпературной утилизации медицинских отходов – 1,2 тыс.т/год; высокотемпературной минерализации опасных промышленных органических отходов – 0,8 тыс.т/год;
- потребляемая мощность: 6000 Вт;
- габариты установки (комплекса): 6х2х2 м, вес не более 300 кг;
- длительный ресурс работы электродов (300 – 1000 часов), в то время как у известных плазмотронов (аналогов) – до 100 ч, при нагреве практически любых газовых сред до температуры 3000-5000 К;
- себестоимость производства единицы комплекса: 800 млн. руб.;
- требуемые затраты на НИОКР: 1500 млн. руб.;
- планируемое количество введенных в эксплуатацию комплексов в России: к 2025 году – 3 шт.; к 2030 году – до 20 шт.

Технологическое решение позволяет создание мусоросжигающих комплексов разной мощности на основе типового оборудования.

Преимущества технологии достигнуты за счет использования дуговых плазмотронов уникальной конструкции, не имеющих аналогов в мире по ресурсу работы электродов, что позволяет:

- существенно увеличить срок непрерывной работы и мощность плазмотронов;

- существенно снизить капитальные затраты, т.к. значительно уменьшается объем очистных сооружений за счет снижения объема газа, подвергаемого очистке;

- существенно снизить эксплуатационные расходы, т.к. электроды больше не являются расходным материалом (время работы электродов до 1000 ч, у известных плазмотронов – до 100 ч);

- существенно снизить удельные энергозатраты (1,5 кВт/ч) и стоимость переработки отходов.

Принципиальная технологическая схема представлена на рисунке 2.3.1.

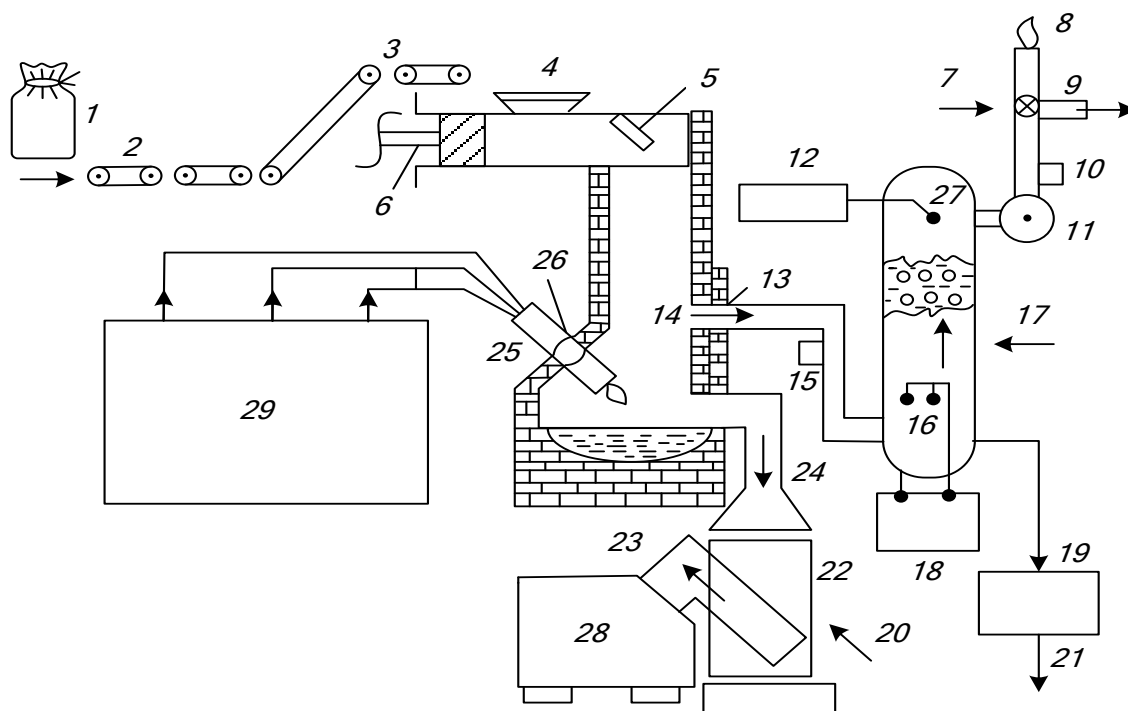


Рисунок 2.3.1 – Плазмотермическая система переработки отходов
1 – отходы; 2 – подающий конвейер; 3 – загрузочный механизм; 4 – бункер; 5 – заслонка; 6 – поршень; 7 – вентиль; 8 – факел; 9 – газ на хранение; 10 и 15 – место забора проб; 11 – вентилятор; 12 – каустическая сода; 13 – печь для пиролиза; 14 – газ; 16 – закалка газа; 17 – очистка газа; 18 – теплообменник; 19 – шлак; 20 – подача в отвал; 21 – дренаж шлака; 22 – водяная ванна; 23 – транспортер; 24 – шлак; 25 – плазмотрон; 26 – уплотнитель; 27 – скруббер; 28 – бункер для шлака; 29 – сервисные системы электро-, газо- и водоснабжения плазмотрона
Источник: [2, стр. 39]

Результаты технологического процесса:

- выход полезных веществ из 100 кг отходов: 100 м³ высококалорийного синтез-газа (СО+Н₂ до 90% об.) с теплотворной способностью 8-10 МДж/м³ и 15% от общей массы жидкого шлака;

- уничтожение опасных органических отходов;
- уничтожение ТКО;

- эмиссия сероводорода (H_2S) и диоксида углерода (CO_2);
- пониженная эмиссия других загрязняющих атмосферу веществ и парниковых газов (так, по заявлению разработчика высокие температуры в реакционной зоне электропечи (1200-1600 °С) и резкая заковка отходящих газов в вихревом скруббере блокируют образование канцерогенных веществ (в том числе высокотоксичных диоксинов, фуранов и др.), а восстановительная атмосфера (CO , H_2) препятствует образованию оксидов азота в дымовом газе).

Высококалорийный синтез-газ может быть дальше использован для сжигания в энергетических котлах или газотурбинных установках для получения электро- и тепло- энергии.

Жидкий шлак с последующим его гранулированием (остекловыванием) для придания ему инертных свойств может быть использован для производства строительных и иных материалов.

Описание технологического решения, предоставленное разработчиком технологии (см.: [1, стр. 40-41])

Для переработки/газификации твердых коммунальных отходов в объеме 100 000 т/год предлагается установка двух технологических линий, обеспечивающих работу энергоагрегата ГТЭС-16 ПА (см. рис. 2.3.2).

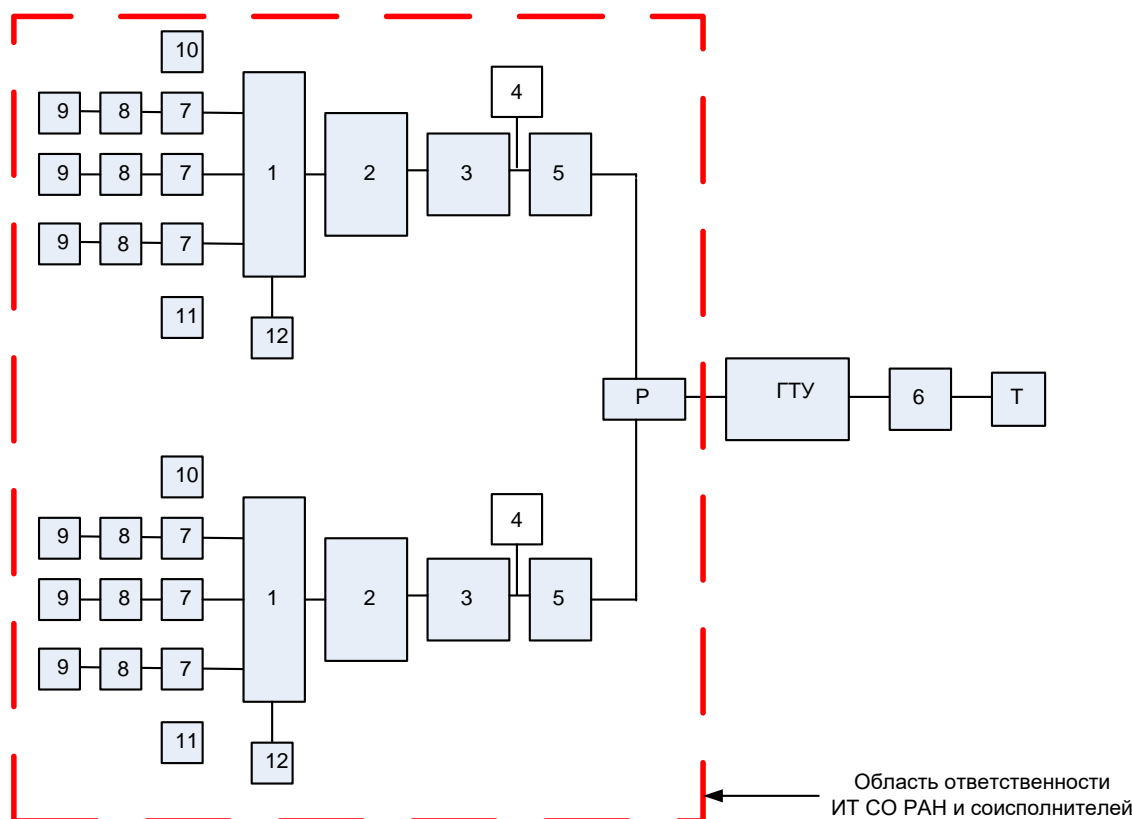


Рисунок 2.3.2 – Блок-схема опытной технологической линии для плазменной газификации ТКО и получения электроэнергии
Источник: [2, стр. 40]

Газификация органической части ТКО осуществляется в шахтной плазменной электропечи – газификаторе (1). Производительность одного газификатора – 8 т/ч. Мощность единичного плазмотрона для нагрева воздуха – 2,5 МВт. Мощность 3-х плазмотронов для газификатора (1) – 7,5 МВт. Объем полученного синтез-газа из газификатора (1) – 9000 м³/ч. Температура дымовых газов на выходе из газификатора (1) – 1100-1200°С.

Из газификатора (1) синтез-газ поступает в центробежно-барботажный аппарат ЦБА (вихревой скруббер) (2) с водно-щелочным раствором производительностью ~ 40 000 норм.м³/ч, где его температура снижается до 80-90°С, далее синтез-газ поступает в осушитель- теплообменник (3), рукавный фильтр (4), компримируется компрессором (5), поступает в ресивер (газгольдер) (Р) и далее в газотурбинную установку (ГТУ). При расширении схемы на парогазовый цикл за газовой турбиной устанавливаются котел-утилизатор (6) и паровая турбина (Т). Остаточное низкопотенциальное тепло может использоваться для предварительной сушки ТКО. Кроме того, в цикл можно включать также разрабатываемый автором технологического предложения модуль утилизации низкопотенциального тепла на основе термотрансформаторов (тепловых насосов).

Для работы плазмотронов (7) требуются источники электропитания (управляемые тиристорные выпрямители) (8) с параметрами $I_{ном}=500-600$ А, $U_{хх}=6000$ В (6 шт.), разделительные трехфазные трансформаторы (9) мощностью 3,5 МВА (6 шт.), воздушный компрессор (10) производительностью ~ 15000 м³/ч при $p=4-6$ атм, водяной насос (11) (градирия 100 м³/ч, 10 атм). Охлаждающая вода необходима также для кожуха газификатора.

Неорганическая часть ТКО расплавляется в подине электропечи и сливается в емкость (12) для гранулированного шлака. Полученный синтез-газ из технологических линий компримируется в единый газгольдер с последующей подачей в ГТУ (возможно также обогащение получаемого синтез-газа природным газом).

Предварительное подсушивание отходов уменьшает удельные энергозатраты на газификацию ТКО и увеличивает калорийность синтез-газа. Остающееся тепло после ГТУ целесообразно использовать для этих целей.

Остеклованный гранулированный шлак в объеме 10-12% от объема ТКО относится к 4 классу опасности и может без ограничения применяться в производстве строительных материалов, при создании автодорог и т.д. Шлак из системы очистки синтез-газа относится к 3-4 классу опасности и содержит, в основном, хлористый водород, сульфат и карбонат натрия. Расход щелочи на нейтрализацию дымовых газов в зависимости от содержания кислых компонент в отходах составит ориентировочно 10-15 кг/ч, чтобы получить двухпроцентное содержание щелочи в водном растворе.

Уровни технологической и производственной готовности могут быть оценены как TRL 5 и MRL 4, соответственно. Разработчик обладает созданными РИД, формирующими научно-технологический задел: патент РФ

№102978 «Плазменный инсинератор», 2010; патент РФ №2464748 «Плазмотрон струйно-плавильный», 2010; патент РФ №2454044 «Электродуговой нагреватель газа», 2010; патент РФ № 11734 «Плавильный плазмотрон», 2011г.; патент РФ №2502018 «Комплексная районная тепловая станция для экологически чистой переработки твердых бытовых отходов с производством тепловой энергии и строительных материалов», 2011; патент РФ № 2502017 «Способ экологически чистой переработки твердых бытовых отходов с производством тепловой энергии и строительных материалов и мусоросжигательный завод для его осуществления», 2012; патент РФ №2518171 «Электродуговой нагреватель водяного пара», 2012; патент РФ № 2616079 «Способ и устройство для плазменной газификации твёрдого углеродсодержащего материала и получения синтез-газа», патентообладатель: ИТ СО РАН; евразийский патент «Способ и устройство для плазменной газификации органических отходов для получения синтез-газа», 2018; база данных химических реакций горения синтез-газа (H₂/CH₄/CO/ CO₂), Свидетельство № 2019622557 от 24.12.2019; электронная база данных научно-технического потенциала СФО в области утилизации ТБО «InnoWaste», Свидетельство №2013621345 от 05.08.2013. Авторы: Аньшаков А.С., Перепечко Л.Н., Пляскина Н.И., Харитонов В.Н., Шарина И.А., Аверина И.В., правообладатель: ИЭОПП СО РАН; изготовлена лабораторная электроплазменная установка производительностью 20 кг/ч по газификации органических отходов, лабораторный электродуговой плазмотрон мощностью 50 кВт; свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2016611382 "Программный модуль для расчета процессов термохимических превращений топлива при газификации топлива при механохимической и плазменной активации с учетом гидродинамики и тепло-массообмена".

Определение границ и оценка основных характеристик отраслевого рынка и рыночной ниши

Строительство мусоросжигательных заводов является относительно новой фазой развития сферы обращения с ТКО в России. В условиях значительного ежегодного образования и уже накопленного на полигонах и свалках объема ТКО и органических промышленных отходов, а также неразвитых мощностей по глубокой переработке ТКО во вторичные ресурсы, можно говорить о перспективности проникновения данного способа утилизации ТКО в России в кратко и среднесрочной перспективе. Долгосрочные перспективы тем не менее не так очевидны и ограничиваются главным образом термическим уничтожением опасных отходов.

Необходимо указать на наличие конкурирующих предложений, главным образом зарубежных, в том числе уже зарекомендовавших себя и длительное время предлагаемых на мировом рынке. В качестве основных конкурентов за рубежом можно выделить Westinghouse, Europlasma, Tetronics, Phoenix Solutions Company, PyroGenesis, Air Products и др.

Представленные на рынке технологии высокотемпературной утилизации отходов существенно различаются: плазмохимическая ликвидация супертоксикантов, воздействие на слой токсичных отходов ударной плазменной струей, термическое обезвреживание отходов в плотном фильтруемом слое (шахтной печи), плазменная газификация. Предлагаемые решения в основном ориентированы на высокотемпературную ликвидацию опасных отходов.

В качестве аналогов можно выделить установку высокотемпературного обезвреживания опасных отходов по технологии «Плазмокс» (Retech Inc, MGC Plasma Ltd [3]), установленной производственной мощностью 1 тонна ликвидируемых опасных отходов в час. Технологическое решение основывается на использовании центрифуги с установленной в ней плазменной горелкой постоянного тока мощностью 1,2 МВт, что позволяет нагревать материал и уничтожать токсичные органические вещества. Образующиеся газы через пережим, в котором устроена еще одна горячая зона с помощью второй плазменной горелки мощностью 0,3 МВт, поступают в окислительную камеру, в которой они находятся в течение 2 с при 1200 °С, что обеспечивает их вторичную переработку.

Другим аналогом выступает установка плазмохимического уничтожения конденсаторов, содержащих полихлорированные бифенилы (Retech Systems LLC), основанная на плазменно-дуговой центробежной установке Plasma Arc Centrifugal Treatment System с использованием водоохлаждаемых электродов для формирования факела плазмы. В первичной камере переработки измельченные конденсаторы подвергаются воздействию температуры 1300 °С, что позволяет достичь деструкции полихлорированных бифенилов (пиролиз и сжигание) и плавление неорганических компонентов отходов. В результате образуются шлак и газообразные отходы, направляемые на дальнейшую переработку. Для равномерного прогрева и перемешивания отходов и шлакового расплава центрифуга вращается, что позволяет достигнуть высокую степень деструкции токсичных отходов. Газообразные отходы поступают во вторичную камеру переработки, где выдерживаются при температуре 980 °С не менее 2 с при концентрации кислорода не менее 6% [4].

Специалистами Института тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова и ООО «Плазмактор» в Республике Беларусь [5] разработана, изготовлена и испытана плазменная камерная печь периодического действия мощностью до 50 кВт и производительностью 20-30 кг/ч. Печь предназначена для обезвреживания сравнительно небольших объемов медико-биологических отходов [6].

Плазменная установка переработки инфицированных медицинских отходов разработана и спроектирована специалистами ЗАО «Плазма Тест» и построена на территории Московской городской инфекционной клинической больницы № 1. Основу оборудования составляет двухкамерная кессонная металлургическая печь с ванной расплава шлака и металла и плазмотроном на боковой стенке, обеспечивающим температурный уровень от 2000 °С до 5000

°С. Максимальная проектная пропускная способность по отходам – 60 кг/ч (500 т в год). По причине ряда технических и экономических факторов данная установка не была введена в постоянную эксплуатацию [7].

Еще одной разработкой Института тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова совместно с другими организациями Республики Беларусь является шахтная печь для термической переработки твердых бытовых, промышленных и медико-биологических отходов с агрегатной нагрузкой до 200 кг/ч. Глубокое регенеративное использование теплоты отходящих газов, присущее противоточным шахтным печам пиролиза и газификации органических отходов, обеспечивает минимальные затраты дополнительной энергии на процесс. Однако при использовании противоточных печей (реакторов) проявляются и существенные недостатки. Пиролизные смолопродукты выносятся из печи восходящим (встречным) газовым потоком, загрязняя собой продуцируемый синтез-газ. Это ведет к необходимости тщательной многоступенчатой очистки синтез-газа, существенно усложняя процесс и увеличивая как стоимость оборудования, так и эксплуатационные расходы [8].

Прямоточный газогенератор разработан в Институте электрофизики и электроэнергетики РАН. Условная производительность установки составляет 50 кг/ч и зависит от типа отходов. Проведение процесса газификации при температуре более 1200 °С позволяет избежать появления в синтез-газе жидких фракций (смол). Высокая температура процесса обеспечивает разрушение токсичных органических составляющих отходов и при наличии в отходах хлорсодержащих примесей исключает синтез вторичных супертоксикантов [9]. За счет использования плазменно-дуговых источников энергии возникла возможность и целесообразность использования в качестве теплоносителя и реагента-окислителя водяного пара. Помимо существенного повышения теплоты сгорания синтез-газа, а, следовательно, общей энергетической эффективности процесса газификации, использование H_2O в качестве плазмообразующего газа исключает разбавление целевого продукта инертным (балластным) компонентом – азотом воздуха, не создает вредных примесей оксидов азота, упрощая систему газоочистки и сокращая объемы ее аппаратов. Эти два фактора повышают энергетическую и экологическую привлекательность высокотемпературной паровой газификации твердых бытовых, промышленных и медицинских отходов [10].

В последние годы практикуется двухступенчатое термическое обезвреживание органических отходов: в первой ступени, реализуемой в виде камерной, барабанной, шахтной печи или реактора псевдосжиженного слоя, осуществляется неполное сжигание, пиролиз или газификация отходов, а во второй ступени проводится дожигание продуктов неполного горения, поступающих с газообразным потоком из первой ступени. Отдельные разработчики (например, Франция) предлагают использовать в камерах дожигания плазменный источник энергии. Аналогичное решение применил ряд российских фирм и организаций, установив плазмотроны в камере

дожигания газов пиролиза, отходящих из шахтной печи. Однако расчетные и экспериментальные исследования показывают, что плазменные генераторы не могут обеспечить эффективное перемешивание относительно большого объема дымовых газов [10].

Основными недостатками указанных технологий плазменной газификации являются низкий срок службы электродов (100-300 часов) и высокий уровень выбросов в атмосферу при сжигании отходов. Отметим, что существует технология сменных электродов Westinghouse Plasma Corporation, которые в среднем работают более 1000 часов и легко заменимы без остановки технологического процесса. Кроме того, технологии обработки неподвижного слоя токсичных отходов ударной плазменной струей характеризуются низкой эффективностью тепло- и массообмена. Существенное усложнение установок за счет встроенной центрифуги для перемешивания расплава на поду печи кардинально не повышает эколого-технологические параметры процесса [7].

В свою очередь, преимуществом представленного технологического предложения выступает комплексный подход к утилизации ТКО и других органических отходов, позволяющий получать синтез-газ и инертный шлак, который может быть использован для производства строительных материалов, а также высокая температура горения, позволяющая уничтожать в том числе опасные биологические отходы. Повысить востребованность на рынке могли бы подтверждение заявленной низкоэмиссионности технологического решения, разработка и внедрение технологий второго уровня, в том числе фильтрационных, нацеленных, в первую очередь, на захват выделяемых при сжигании загрязняющих атмосферу веществ (H_2S) и парниковых газов (CO_2). Вместе с тем технологическое решение характеризуется высокой капиталоемкостью, что с ограниченности производственных возможностей и рыночной позиции может привести к потере конкурентоспособности в силу высоких затрат на разработку и производство такого технологического комплекса, оценка чего требует дополнительных исследований.

Близким аналогом данного технологического предложения выступает подробно рассматриваемое в данном отчете технологическое предложение «Плазменная газификация RDF» (Раздел 2.8).

Изучение территориальных схем сферы обращения с ТКО субъектов РФ и уже заявленных проектов по строительству и вводу в эксплуатацию в 2022-2027 гг. 30 мусоросжигательных заводов, общей мощностью 18 млн. тонн сжигаемых ТКО в год и стоимостью 980 млрд рублей [11-12] (что эквивалентно оценки стоимости строительства в размере 54 тыс. рублей из расчета ввода мощности по сжиганию 1 тонны ТКО, включая в том числе, но не только, специализированное оборудование) указывает на то, что общие потребности в мощностях по высокотемпературной утилизации ТКО могут быть оценены в 10-25 млн. тонн сжигаемых ТКО в год, что эквивалентно 12-30% от всех образуемых ТКО ежегодно. Оцененная таким образом доля в целом существенно превышает среднеевропейский показатель в 6,7% в 2018 году [13]. Однако данная оценка видится оправданной в силу значительно

более слабого развития технологий переработки ТКО в России, доля которой также будет возрастать по мере быстрого сокращения доли захоронения ТКО на полигонах вследствие реализуемой в России реформы сферы обращения с ТКО. Данная оценка также видится вполне оправданной на примере стран - лидеров в области высокотемпературной утилизации ТКО, таких как Япония, Франция, Германия, Великобритания и Италия [14].

С учетом среднего срока эксплуатации технологического оборудования в 25 лет, а также очередности ввода мусоросжигательных заводов, годовую потребность российского рынка можно оценить в вводе мощностей по сжиганию ТКО в ближайшие годы в размере 1-2 млн тонн ТКО в год, что с учетом ориентировочной стоимости технологического оборудования эквивалентно оценке потенциального годового объема рынка в целом в размере 20-90 млрд. рублей. При оценке стоимости оборудования использовались ориентировочные цены из расчета удельной стоимости мощности по сжиганию. Так, в исследовании [15, С. 24] на основе данных, представленных в 2009 году в [16], приводится оценка капитальных затрат для ввода мощностей в ЕС по сжиганию в 645-796 Евро за тонну сжигаемых ТКО в год, что в целом достаточно близко к приведенным ранее оценкам по России. Разработчики технологического предложения оценивают стоимость производства опытно-промышленной установки производительностью 100 кг/час в 70-100 млн. руб., что эквивалентно диапазону 82-133 тыс. руб. на удельную мощность в тоннах сжигаемых ТКО в год, а себестоимость производства установки мощностью 16 тыс. тонн ТКО в год в 800 млн руб. (50 тыс. руб. на удельную мощность в тоннах сжигаемых ТКО в год) (Приложение А.3), при переходе к серийному промышленному производству можно ожидать, что представленная оценка может существенно скорректироваться в сторону снижения. Определить рыночную долю для представленного технологического решения на текущем этапе не представляется возможным в силу низкого уровня его рыночной готовности.

2.4 Сортировка вторсырья с использованием технологии распознавания на основе искусственных нейронных сетей и мультиспектрального машинного зрения

Содержание технологического предложения: создание инновационной отечественной технологии распознавания и сортировки твердых коммунальных отходов (ТКО) на основе алгоритмов распознавания образов, применении искусственных нейронных сетей и мультиспектрального машинного зрения. Разработка, внедрение и серийное производство экономически эффективных отечественных мусоросортировочных комплексов, основанных на разработке и внедрении технологии автоматической роботизированной сортировки ТКО с отбором вторсырья,

предназначенной для досортировки, сортировки пластиковой тары и других объемных отходов.

Подобный мусоросортировочный комплекс по идее разработчика технологического предложения может рассматриваться как составная часть технологического комплекса в объединении с установкой плазменной газификации ТКО и других органических отходов с получением синтезгаза и инертного шлака (Раздел 2.3), что потенциально может формировать синергию, однако требует отдельного более детального исследования, так как в описании технологии не раскрыто каким образом будет осуществляться отбор RDF или речь идет об отборе из ТКО только полимеров и пластика.

Вместе с тем представляется, что данная разработка имеет и самостоятельное значение и потенциальные направления ее промышленного использования значительно шире, включая в том числе и сферы, не связанные с обращением отходов, например, при соответствующей адаптации безлюдные технологии добычи отдельных видов твердых полезных ископаемых и др.

Общим слабым звеном существующих на текущий момент технологий автоматической сортировки ТКО, основанных на распознавании объектов, является создание эффективной роботизированной системы, позволяющей осуществлять автоматическую сортировку отходов в автономном от оператора режиме с высокой производительностью и качеством отбора и безотказностью функционирования.

Для преодоления данной проблемы авторами технологического предложения предлагается:

- разработка программно-аппаратного комплекса управления сортировочной линии на основе нейронных сетей и системы распознавания образов;

- создание базы данных образов, роботизированного опытно-промышленного образца мусоросортировочного комплекса.

По мнению разработчика это должно обеспечить выход на производительность комплексов автоматической сортировки ТКО на основе нейронных сетей с отбором вторсырья от 5 тыс. т (для опытно-промышленного комплекса) до 250 тыс. т (для серийного производства) в год с вовлечением во вторичное использование не менее 40% ТКО.

Характеристика технологического процесса (Приложение А.4; 1, стр. 27-35)

В качестве ресурса используются ТКО.

Технологическое оборудование – мусоросортировочных комплекс с технологией автоматической «тонкой» сортировки, состоящий из следующих модулей: ленточный конвейер; пункт приема ТКО; пункт первичной сортировки; узлы сортировки; оптические датчики и манипуляторы; АСУТП; электроника; программное обеспечение.

Производственные характеристики:

- производительность 10 тыс. тонн сортируемых ТКО / год;

- 10 сортирующих роботов (стоимостью 5 млн. руб. за штуку);
- потребляемая мощность: 6000 Вт;
- габариты установки (комплекса): 6х2х2 м, вес не более 300 кг;
- себестоимость производства единицы комплекса: 75 млн. руб.;
- требуемые затраты на НИОКР: 50 млн. руб.;
- потребность в установках в России: от 30 шт/год.

Обслуживающий персонал: на постоянной основе оператор не требуется.

Технологическое решение позволяет создание мусоросортировочных комплексов разной мощности на основе типового оборудования.

Технологическая схема мусоросортировочного комплекса представлена на рисунке 2.4.1.

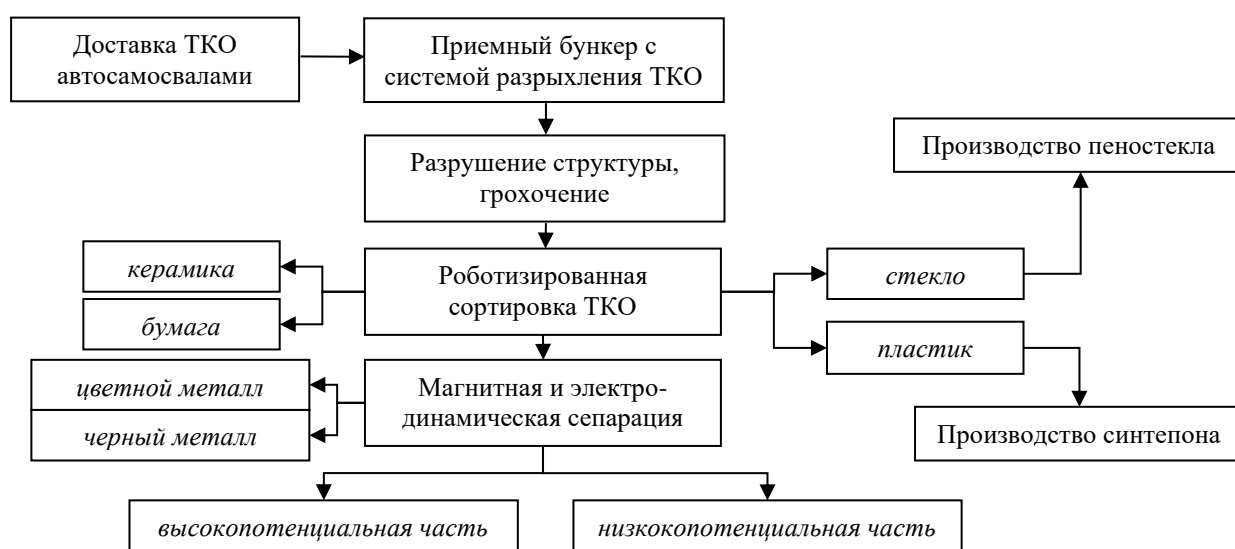


Рисунок 2.4.1 – Принципиальная схема мусоросортировочного комплекса (в максимальной версии), основанного на разработке и внедрении технологии автоматической роботизированной сортировки ТКО с отбором вторсырья
Источник: [1, стр. 27]

Результат технологического процесса:

- отбор черных и цветных металлов, керамики, бумаги, стекла, полимеров и пластика (полиэтилентерефталат (ПЭТ, PET) – бутылки для напитков; полипропилен (ПП, PP) – контейнеры для пищевых продуктов, многоразовая пластиковая посуда, лотки и др.; полиэтилен высокой плотности, полиэтилен низкого давления (ПЭВП, ПЭНД, HDPE) – пластиковые бутылки, мусорные ведра, фляги, многоразовые сумки, полужёсткая упаковка; полиэтилен низкой плотности, полиэтилен высокого давления (ПЭНП, ПЭВД, LDPE) – брезенты, мусорные мешки, пакеты, плёнка и гибкие ёмкости);
- подготовка остатков отходов для последующего сжигания через разделение на высокопотенциальную и низкопотенциальную части.

В информации, предоставленной разработчиком, не указано предусмотрен ли отбор других полезных фракций. В то же время существующие на рынке предложения позволяют осуществлять автоматическую сортировку ТКО с достаточно широким отбором полезных фракций.

Описание технологического решения, предоставленное разработчиком технологии (см.: [1, стр. 30-35])

В рамках технологического предложения планируется разработка базовой технологии автоматизированной сортировки на основе распознавания образов, лежащей в основе широкого спектра сортировочного оборудования.

Автоматизированное сортировочное устройство будет состоять из следующих основных составных частей:

1) система технического зрения, использующая в качестве датчиков как обычные видеокамеры, так и специализированные сенсоры, прежде всего, мультиспектральные, а также сенсоры ближнего (NIR) и дальнего инфракрасного диапазона (FIR), рентгеновские (DE-XRT), рентгенофлуоресцентные (XRF) и лазерно-спектроскопические (LIBS) в зависимости от специфики сортируемого продукта и требований к его сортировке;

2) управляющий компьютер, оснащенный программным обеспечением распознавания образов, анализирующим поступающее от системы технического зрения изображение с использованием технологии нейронных сетей, выделяющим из поступающего в сортировочное устройство потока сортируемого продукта определенные элементы в соответствии с заложенными в процессе обучения нейросети признаками (сочетание формы и цвета изделия, формы и спектрограммы и пр.) и дающего команду на удаление выделенного элемента из потока сортируемого продукта;

3) сортировочный механизм, действующий на основе команд от управляющего компьютера, захватывающий и удаляющий из потока сортируемого продукта отобранный элемент помещая его в контейнер. Для этих целей подходят стандартные быстродействующие дельта-роботы (при соответствующей модификацией захватов манипулятора в зависимости от сферы применения и сортируемого продукта), предлагаемые на рынке (ООО «БИТ роботикс» (www.bitrobotics.com), FANUC M-2 (<http://www.fanuc.eu>) и др). Самостоятельное производство дельта-роботов не планируется.

ТКО вначале подвергаются предварительной обработке для разрыва мусорных пакетов и удаления крупногабаритных и металлических фракций (с использованием магнитов) фракций, а после поступают на сортировочный конвейер. Сортировочный механизм располагается непосредственно над конвейером, что позволяет обеспечить максимальный охват и скорость. Отобранные и захваченные элементы в зависимости от принадлежности к отделяемым фракциям переносятся в заданных направлениях в соответствующие отдельные контейнеры.

На начальном этапе обучения нейросети может потребоваться оператор, дающий команды на отбор «незнакомых» нейросети фракций. После обучения нейросети входящая в состав комплекса автоматизированная система управления технологическим процессом позволит в безлюдном режиме осуществлять общий контроль за работой всего комплекса, в том числе регулировать скорость движения конвейера, обеспечивая максимальную производительность и полноту сортировки.

Оставшиеся после сортировки неотобранные ТКО утилизируются или захораниваются на полигонах.

Предполагается, что сфера применения разрабатываемой в рамках технологического предложения технологии не будет ограничиваться только задачами сортировки ТКО, а также распространяться на пищевую и горнодобывающую промышленность, сельское хозяйство. Так, в качестве достоинств заявляется сенсор- и продуктонезависимость базовой технологии автоматической сортировки и архитектура сортировочной системы и программного обеспечения (при смене сортируемого продукта или требований к сортировке потребуется заменить сенсор, захваты дельта-робота и переобучить программное обеспечение распознавания образов).

Уровни технологической и производственной готовности могут быть оценены как TRL 3 и MRL 2, соответственно. Разработчик обладает созданными РИД, формирующими научно-технологический задел: изобретение «Комплекс переработки твёрдых коммунальных отходов с автоматизированной сортировкой неорганической части и плазменной газификацией органического остатка». Заявка на патент №2019120572, дата приоритета 01.07.2019, правообладатель - ИТ СО РАН; изобретение «Роботизированный автоматический комплекс по сортировке твёрдых коммунальных отходов на основе нейронных сетей», Заявка на патент 2019138218, дата приоритета 25.11.2019, патентообладатель - ИТ СО РАН; база данных аннотированных изображений одиночных объектов твёрдых коммунальных отходов. Заявка на регистрацию в Роспатенте № 2019622209. Дата приоритета 18.11.2019. Правообладатель – ИТ СО РАН; методика выделения требуемых фракций из общего потока твердых бытовых отходов (ТБО); методика автоматического удаления и сортировки различных фракций, входящих в состав ТБО; алгоритм машинного обучения для распознавания образов и классификации фракций отходов; алгоритм анализа рельефа движущихся отходов для позиционирования и захвата фракций; алгоритм управления внешними исполнительными устройствами для позиционирования захвата и перемещения фракций отходов; программно-аппаратный комплекс АСУ ТП для экспериментального образца мусоросортировочного комплекса.

Определение границ и оценка основных характеристик отраслевого рынка и рыночной ниши

Объем ежегодно вывозимых с территорий городских поселений России ТКО имеет устойчивую тенденцию к росту (прирастая в последние годы на 10% ежегодно) и в 2020 году составил 336,2 млн. м³ [2, стр. 16] (что эквивалентно примерно 80 млн. тонн) (против 151,5 млн. м³ в 2000 году [3, стр. 195]), из них только 81,8 млн. м³ или 24,3% от общего объема [2, стр. 16] (против 7,7 млн. м³ или 5,1% от общего объема в 2000 году) [3, стр. 199]) вывезено на объекты, используемые для обработки отходов (мусороперерабатывающие заводы и предприятия по предварительной подготовке отходов). Таким образом, доля сортировки ТКО в настоящее время является достаточно низкой, что обусловливается отсутствием соответствующей развитой инфраструктуры. В соответствии с утвержденными планами преобразований в сфере обращения с ТКО России доля сортировки ТКО должна вырасти к 2030 году до 80% [4, Приложение № 2, стр. 1], а к 2035 году предлагается довести эту долю до 100% по базовому сценарию [5, стр. 34].

Достижение данных показателей требует развертывания по всей стране сети межмуниципальных сортировочных комплексов и комплексов глубокой сортировки и переработки ТКО. Так, согласно Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года это предполагает доведение количества созданных мусоросортировочных комплексов ТКО с 60 единиц в 2016 году до 310 в 2030 году [4, Приложение № 2, стр. 1], а к 2035 году предлагается довести эту величину до 450 единиц по базовому сценарию [5, стр. 34]. В этой связи целевой для технологического предложения отраслевой рынок представляется высокоперспективным.

Существенные перспективы также связаны со значительными объемами накопленных на полигонах и свалках ТКО, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, рекультивация которых потребует дополнительных сортировочных мощностей.

Вместе с тем необходимо отметить высокий уровень конкуренции на целевом для данного технологического предложения рынке мусоросортировочного оборудования. Широко предлагаются как зарубежные, так и отечественные сортировочные комплексы, в том числе полностью автоматизированные. Вместе с тем практика пока указывает на недостаточную их эффективность, особенно для основанных исключительно на оптическом распознавании объектов, в том числе по причине недостаточно развитой в России системы раздельного сбора отходов, облегчающей работу подобных комплексов.

Кроме того, высокоэффективным альтернативным способом разделения образующихся ТКО выступает система раздельного сбора отходов, в силу первичного отделения из них наиболее распространенных востребованных фракций, что существенно снижает требования к автоматизированным мусоросортировочным комплексам. Таким образом, развитие системы раздельного сбора отходов в России может выступить сильным

сдерживающим фактором для распространения более дорогих и высокотехнологичных мусоросортировочных решений, в том числе и основанных на рассматриваемом технологическом предложении. В этих условиях основные усилия разработчиков должны быть направлены на контроль, с одной стороны, за показателями производительности и многофракционности отбора полезных фракций ТКО, а, с другой стороны, – за показателями сравнительной экономической эффективности.

Другим серьезным риском для коммерческой эффективности данного технологического решения выступает его зависимость от поставок дельта-роботов, самостоятельное производство которых разработчиком не предполагается.

Конкурентное окружение

Рынок технологического оборудования и технологических решений для сортировки ТКО можно оценить как высококонкурентный. Широко представлены как импортные, так и отечественные продукты. Это в целом создает повышенные рыночные риски для предлагаемого к разработке технологического решения.

В качестве традиционного и наиболее распространенного в настоящее время организованного способа сортировки ТКО в России можно назвать ручной отбор полезных фракций прямо на мусорных полигонах (немеханизированная ручная сортировка). Согласно государственным планам, вывоз неотсортированных ТКО на полигоны со временем будет полностью запрещен, что потребует широкого обустройства отдельных мусоросортировочных комплексов. С учетом необходимости обустройства мусоросортировочных комплексов немеханизированная ручная сортировка ТКО станет мало востребованной.

Механизированная ручная сортировка выступает альтернативой немеханизированной ручной сортировке существенно повышая продуктивность за счет более эффективной организации ручного труда, в том числе с использованием конвейерных лент, как правило, оборудованных сепараторами, способными отбирать из потока ТКО часть фракций, однако их возможности, как правило, недостаточны чтобы полностью исключить ручной труд. Это наиболее конкурентный сегмент на российском рынке мусоросортировочного оборудования, на котором представлены в основном отечественные разработки (PRESSMAX™ [6], «ИНТЕРПРОМ» — завод промышленного оборудования [7], ХК «Дальснаб» [8], ООО «ЭС АЙ ДИ ИНЖИНИРИНГ» [9], ООО «Экомтех» [10], ООО «Кубаньпищепром» [11] и многие другие [12].

По причине низких требуемых капитальных затрат и доступности дешевой рабочей силы технологии ручной сортировки отходов будут еще некоторое время широко распространены в России, что будет существенно ограничивать рыночную нишу более дорогостоящих технологий автоматизированной сортировки ТКО. Вместе с тем конкурентными

преимуществами последних выступают более низкие эксплуатационные затраты и безлюдность, что по мере совершенствования технологий и дальнейшего удешевления используемого оборудования и программного обеспечения должно обеспечить нарастание их рыночной доли.

Полностью автоматизированные комплексы сортировки ТКО представлены в России преимущественно оптико-пневматическими системами, сортировочный механизм в которых основан на наборе сопел, подающих струи сжатого воздуха для отстрела полезных фракций. В числе производителей, продукция которых представлена в России, можно назвать зарубежные TOMRA Systems ASA (Норвегия) [13], Pellenc ST (Франция) [14], National recovery technologies LLC (США) [15], STADLER Anlagenbau GmbH (Германия) [16], отечественные Невлабс [17], ООО «Экомашгрупп» [18]. Такого рода системы начали активно вводиться в эксплуатацию в России с 2019 года (см., например: [19]).

Использование дельта-роботов в предлагаемом технологическом решении по замыслу его разработчиков должно обеспечить большую по сравнению с оптико-пневматическими системами скорость сортировки в условиях многослойности и непрерывности сортируемого потока, многофракционность и большее качество отбора, большую компактность сортировочного комплекса и его ремонтпригодность.

В то же время, как указывают разработчики, эффективность предлагаемого ими технологического решения существенно падает в случае преобладания мелких фракций и кусков ТКО. Способы преодоления данного недостатка не представлены.

У технологического предложения есть прямые конкуренты-аналоги, в качестве которых также выступают преимущественно зарубежные разработки роботизированных мусоросортировочных систем, такие, например, как AMP Robotics (США) [20], Sadako Technologies (Испания) [21], ZenRobotics Ltd. (Финляндия) [22], а также отечественные роботизированные мусоросортировочные комплексы Невлабс [17] и др. В связи с этим требуется более детальное технико-экономическое обоснование для определения преимуществ и недостатков предлагаемого технологического решения по сравнению с конкурирующими в одной с ним рыночной ниши решениями.

В то же время необходимо отметить, что согласно Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года доля импортного оборудования для обработки, утилизации и обезвреживания отходов должна упасть с 60% в 2016 году до 10% в 2030 году [4, Приложение № 2, стр. 2], а к 2035 году предлагается довести эту долю до 5% по базовому сценарию [5, стр. 34]. При условии реализации со стороны государства эффективных мер для достижения данного показателя, это обеспечит долгосрочные конкурентные преимущества для отечественных автоматизированных решений.

Модульный принцип предлагаемого автоматизированного мусоросортировочного комплекса и применение отечественных стандартных

комплектующих и оборудования должны обеспечить более высокие технико-экономические показатели по сравнению с конкурирующими технологическими решениями, а также возможность разработки специализированных решений под конкретные задачи. В частности, с учетом значительного накопленного на полигонах и свалках объема ТКО перспективным решением, заявляемым разработчиком выступает проектировка малых мобильных высокоавтоматизированных утилизационных комплексов для ТКО, позволяющих осуществлять рекультивацию или ликвидацию полигонов и свалок на месте.

Диапазон проектной мощности предлагаемых технологических решений в целом позволяет удовлетворять потребности как небольших межмуниципальных сортировочных комплексов, так и достаточно крупных центров сортировки и переработки отходов, а также мусоросжигательных комплексов.

Таким образом, предлагаемое разработчиками решение в случае, если в действительности удастся решить отмеченные ранее основные проблемы технологий автоматической сортировки ТКО, основанных на распознавании объектов, в целом будет иметь хорошие конкурентные позиции в силу традиционно сложного морфологического состава ТКО в России по причине слабого распространения культуры отдельного сбора отходов.

Вместе с тем высокий уровень конкурентности рынка, имеющиеся тенденции по проникновению системы отдельного сбора отходов, наличие альтернативных технологических решений, означают, что значительное внимание при разработке и выведении на рынок предлагаемого автоматизированного сортировочного комплекса должно уделяться показателям его технико-экономической эффективности. А темпы выхода на рынок будут во многом определяться наличием развитой системы технической поддержки и обслуживания, собственной производственной базой, а также фактической технико-экономической эффективностью по сравнению с альтернативными технологическими решениями.

Исходя из анализа территориальных схем сферы обращения с ТКО российских регионов общая годовая потребность в вводе сортировочных комплексов до 2030 года будет составлять от 3 на ранних этапах до 15 млн тонн ближе к концу периода годовой мощности по сортировке ТКО. С учетом средних сроков эксплуатации технологического оборудования в силу физического и морального износа в 8 лет ежегодная потребность на этапе достижения рынком фазы зрелости будет составлять около 10 млн тонн мощности по сортировке ТКО в год. Ожидается, что по мере совершенствования технологий и удешевления стоимости предлагаемых технологических систем доля комплексов автоматической сортировки ТКО будет постепенно увеличиваться, однако основную конкуренцию им в силу их значительной стоимости будут составлять значительно более дешевые комплексы ручной механизированной сортировки ТКО. С учетом стоимости текущих предложений (от 0,25 млрд руб. до 1,75 млрд руб. за 1 млн тонн

годовой мощности сортировки ТКО) это эквивалентно оценке общей емкости отраслевого рынка технологических комплексов автоматической сортировки ТКО от 2,5 до 17,5 млрд рублей ежегодно. С учетом текущих ценовых предложений оценка разработчиком себестоимости производства единицы предлагаемого им комплекса годовой мощностью 10 тыс. тонн ТКО в 75 млн руб. (7,5 млрд руб. за 1 млн тонн годовой мощности сортировки ТКО) видится неконкурентоспособной и должна быть существенно снижена в процессе дальнейших НИОКР. С учетом отмеченных обстоятельств рыночная ниша не текущий момент может быть оценена не более чем в 20% от рынка в целом, что эквивалентно оценке совокупного годового объема продаж в 0,5-3,5 млрд рублей. Рыночный потенциал конкретно данной разработки установить пока не представляется возможным в силу низкого уровня рыночной готовности.

2.5 Сухое обогащение угольных кеков тощих углей

В результате обогащения угля формируются три продукта: угольный концентрат, промпродукт и хвосты. Угольный концентрат и промпродукт являются товарной продукцией, которая отгружается энергетическим и металлургическим предприятиям. Хвосты представляют собой отходы, в которых содержание полезного компонента (угля) ниже, чем в исходном сырье, поступающем на обогатительную фабрику.

Хвосты обогащения могут представлять собой сухую совокупность горных пород (например, после применения сухих гравитационных способов обогащения), но чаще они формируются в виде пульпы (например, после применения флотации). Сухие хвосты обогащения размещают в отвалах подобно пустым породам, а пульпа требует специального обезвоживания [1]. Традиционными механическими способами обезвоживания продукта шламовой крупности являются такие процессы, как центрифугирование, фильтрование с использованием вакуума (вакуум-фильтры) или избыточного давления (камерные фильтр-прессы, гипербар-фильтры). Выбор способа обезвоживания зависит от размера частиц обезвоживаемого шлама. Кек имеет относительно невысокую зольность (близкую к золе рядового угля) и высокую влажность после обезвоживания, которые не позволяют его присоединить к общему энергетическому концентрату фабрик. Различными компаниями разрабатываются альтернативные сушильные аппараты: микроволновая, инфракрасная, сушка горячими поверхностями, сорбентами и т.д. Однако на сегодняшний день не существует экономически целесообразного и опробованного в промышленном масштабе способа сушки кека. Основные аппаратные проблемы: сверхвысокие затраты электроэнергии и липкая консистенция кека, не позволяющая сушить этот продукт [2]. Сухие хвосты могут быть использованы непосредственно на предприятиях угольной промышленности (для подсыпки грунта, для строительства дамб хвостохранилищ) или проданы в качестве строительного сырья [1].

Тонкодисперсные углесодержащие отходы, образующиеся на предприятиях по переработке угля, представлены шламами обогащения, отсевами, штыбами и т.д. Для улавливания и накопления таких отходов на обогатительных фабриках сооружаются земляные шламонакопители (хвостохранилища). Обустройство хвостохранилищ связано со значительными капитальными затратами (затраты на проектирование и строительство противофильтрационных устройств, ограждающих дамб, трубопроводов для поступления пульпы, водосбросных и дренажных устройств и других необходимых сооружений и оборудования). А также с неблагоприятными экологическими эффектами: загрязнение поверхностных и грунтовых вод, атмосферного воздуха, подъем уровня грунтовых вод и заболачивание прилегающей территории, отчуждение земель и др. [1]. Тем не менее, накопленный объем отходов углеобогащения, содержащих в своем составе мелкодисперсные частицы угля, пустой породы, а также флотационные реагенты, в России оценивается в более чем 120 млн тонн. Более того, в связи с ухудшением условий добычи и качества углей, систематически увеличивается количество отходов, причем эта тенденция будет наблюдаться и в ближайшем будущем [3]. В то же время тренд на экологизацию, развитие идей экономики замкнутого цикла и усиление государственной политики в сфере экологии будут оказывать давление в направлении переработки по крайней мере вновь образуемых отходов углеобогащения.

По своим топливным характеристикам такие отходы могут не уступать добываемому минеральному топливу и могут использоваться для замены традиционных видов горючего. По этой причине наблюдается повышенный интерес к утилизации и переработке тонкодисперсных углеродсодержащих отходов. Вместе с тем отходы углеобогащения значительно различаются по своему химическому составу, причем состав отходов может колебаться даже для одного предприятия в течении суток, что осложняет утилизацию такого типа отходов. Кроме того, для применения большинства способов необходимо удаление избыточной влаги, что приводит к увеличению стоимости внедрения мероприятий по переработке отходов углеобогащения [3].

Содержание технологического предложения: разработка инновационной ресурсо- и энергосберегающей технологии переработки отходов углеобоганительных фабрик за счет их сухого (вторичного) обогащения, позволяющего получать сырье для производства конечной продукции.

Общая характеристика технологического процесса

Вид перерабатываемых отходов: мелкодисперсные угольные отходы (кеки углеобогащения высоко-метаморфизованных тощих углей) (приложение А.5)

Требования к отходам для возможности применения технологии:
- предварительное дробление до однородного состава [4];

- порода до V категории крепости по Протодяконову.

Источник отходов: отходы обогащения тощих углей генерируются углеобогащательными фабриками в процессе их деятельности.

Возможность тиражирования на другие виды отходов: возможно использовать другие виды сырья при изменении технологического цикла и соответствующей подстройке оборудования (например, [5, 6]).

Технологическое оборудование: измельчительно-сепарационная установка [4], состоящая из:

- вихревого измельчительно-сушильного аппарата с секционным питателем; подвижным конусом; овальным телом; турбиной;
- теплогенератора;
- воздухораспределителя;
- дымососа;
- аспирационной системы, состоящей из пылеуловителей, системы батарейных циклонов и мокрого скруббера.

Требуемые для использования технологического оборудования ресурсы (Приложение А.5):

- электроэнергия: 2 МВт. час./год;
- трудовые ресурсы: 51609 чел. час./год;
- уголь: 1500 т/год;
- техническая вода;
- газ.

Оборудование для внедрения технологии: опытно-промышленная установка (приложение А.5), имеющая следующие характеристики:

- производственные характеристики: производительность – 10 т/ч по входу в установку;
- габариты – 6 x 30 x 8 м;
- капитальные затраты на строительство установки – 80 млн руб.

Результаты переработки отходов:

- переработка техногенных отходов V класса опасности;
- решение проблем экологии, связанных с образованием и переработкой такого рода отходов.

Основной продукт переработки: малозольный порошкообразный материал и малозольное порошкообразное топливо; количество получаемого графита и других полезных компонентов высоко-метаморфизованных углеродсодержащих компонентов зависит от исходного состава сырья (Приложение А.5):

- графит: 0,5-1 т/ч;
- кокс, полукокс, антрацит, термоантрацит: 3-5 т/ч.

Направления (вторичного) использования результата переработки: малозольный порошкообразный материал является технологическим сырьем для изделий из графита.

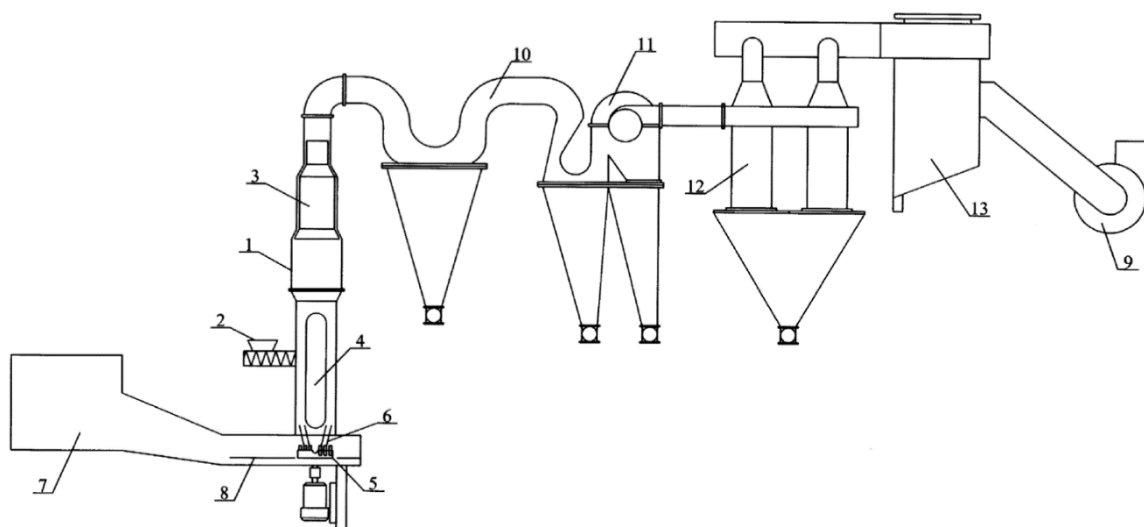
Дополнительный результат переработки: сокращение потребления водных ресурсов угольными предприятиями, а также расхода энергоресурсов на осушение продуктов обогащения [1].

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух (приложение А.5): продукты сгорания угольной мелочи, используемой для сушки кеков.

Процесс сухого обогащения угольных кеков

Постоянного и универсального технологического цикла не существует из-за различия состава перерабатываемых отходов. Общий принцип без привязки к объекту обогащения выстроен следующим образом. Отходы, пройдя через установку, высушиваются, измельчаются и классифицируются по фракционному составу на инерционных камерах. В зависимости от своих свойств различные материалы по-разному разрушаются и электризуются в длинном пылевоздушном тракте установки. По этой причине перед рукавными фильтрами устанавливаются электростатические фильтры или магнитные сепараторы, которые дополнительно позволяют разделить материал в зависимости от его диэлектрической проницаемости и магнитных свойств.

Работа измельчительно-сепарационной установки схематично представлена на рисунке 2.5.1 [4].



1 – вихревой измельчительно-сушильный аппарат; 2 – секционный питатель; 3 – подвижный конус; 4 – овальное тело; 5 – турбина; 6 – ложная стенка; 7 – теплогенератор; 8 – воздухораспределитель; 9 – дымосос; 10, 11 – инерционные пылеуловители; 12 – система батарейных циклонов; 13 – мокрый скруббер

Рисунок 2.5.1 – Технологическая схема работы измельчительно-сепарационной установки

Источник: [4]

Минеральное сырье питателем подается в вихревой измельчительно-сушильный аппарат; при переработке сырья, имеющего карьерную влажность выше 8%, осуществляется его сушка горячими газами, поступающими от

теплогенератора; размол крупных частиц осуществляется билами на лопастях турбины, мелкие частицы турбина поддерживает в псевдооживленном слое, где происходит их сушка и помол за счет трения; тонкодисперсный высушенный порошок поступает в аспирационную систему, где происходит классификация и улавливание минерального сырья; пылевой поток очищается до 100%.

Уровень технологической и производственной готовности (TRL/MRL) технологического предложения, защищенность от воспроизводства

Уровни технологической и производственной готовности оцениваются как TRL 2 и MRL 1 соответственно. С одной стороны, имеется промышленное внедрение сушильно-сепарационных установок в процессах обогащения различных видов минерального сырья, не имеющего отношения к угольной промышленности, [5, 6] с дальнейшим выпуском конечного продукта на основе получаемого материала. С другой стороны, рассматриваемое технологическое предложение, согласно пояснениям разработчика, не предполагает постоянного и универсального технологического цикла из-за различия состава перерабатываемого сырья, что не позволяет получить окончательный вариант полнофункционального образца с дальнейшим мелкосерийным или серийным производством по единой технологии. Более того, для каждого заказчика необходимо проводить НИОКР (определение минерального состава и физико-химических характеристик сырья, оценка обогатимости фракций и др.), по результатам которых пересматривается оснащение оборудования и сам технологический процесс. Каждая установка представляет собой индивидуальный экземпляр и требует новый комплект технической документации и технологическую карту. При этом стандартные блоки должны быть спроектированы один раз и подбираются в зависимости от принятого технологического цикла.

Разработчик имеет научно-технологический задел и обладает рядом созданных результатов интеллектуальной деятельности: установка для изучения сушки кеков в электростатическом поле; лабораторная модель обезвоживания кеков углеобогащения; лабораторная модель установки сухого обогащения; патент РФ № 2194577 «Измельчительно-сепарационная установка», 2002; выполнена технологическая часть проекта по обогащению кеков углей марки КС-Ж посредством мокрой гравитационной технологии Чертинской ЦОФ; опубликованы статьи в научных журналах по результатам промышленного внедрения сушильно-сепарационных установок в процессах обогащения различных видов минерального сырья [5, 6].

Представленное технологическое предложение является наукоемким в части инжиниринга с учетом необходимости определения состава перерабатываемого сырья для последующей настройки параметров технологического процесса и уточнения технологических схем работы оборудования, его составных частей и пр., однако не защищено от частичного воспроизводства и копирования в части наличия стандартного оборудования.

Конкурентное окружение и конкурентные позиции

Среди существующих способов утилизации отходов углеобогащения можно назвать:

- брикетирование;
- газификацию;
- получение водоугольных и органоводоугольных суспензий с дальнейшим сжиганием;
- обогащение с дальнейшим производством конечной продукции из полученного материала.

Брикетирование позволяет перерабатывать большое количество отходов обогащения угля (к мелочи тощих углей и антрацитов обычно производится присадка длиннопламенных, газовых, иногда спекающихся углей [7]) при достаточном содержании горючей массы. Для утилизации отходов углеобогащения данный способ может применяться только после предварительного концентрирования угольных частиц и удаления избыточной влаги. При этом получаемые брикеты сгорают полностью, не образуя шлаковых отложений. В то же время такой способ не позволяет существенно сократить количество выбросов загрязняющих веществ при сжигании на энергогенерирующих предприятиях [3], а кроме того, получаемые брикеты стоят дороже, чем уголь непосредственно [8]. Среди отечественных производителей, предлагающих на рынке готовые технологические решения по переработке отходов углеобогащения с применением брикетирования, можно назвать ООО «Инновационные технологии «Северная Русь» (г. Воркута) [9], ООО «Брикеты Алтая» (г. Барнаул) [10], ООО «Керамыч» (г. Белгород) [11] и др.

Отходы, содержащие достаточное количество горючих компонентов, могут дополнительно проходить стадию обогащения для получения топлива или использоваться для газификации и сжигания. Сжигание высокозольных отходов может осуществляться в топочных устройствах с кипящим слоем, в печах для пылеугольного сжигания, в плазменных печах и на других установках.

Водоугольное топливо, представляющее собой дисперсную систему из тонкоизмельченного угля, воды и реагента-пластификатора, обладает всеми технологическими свойствами жидкого топлива: транспортируется в авто- и железнодорожных цистернах, по трубопроводам, в танкерах и наливных судах, хранится в закрытых резервуарах, сохраняет свои свойства при хранении и транспортировании, а кроме того, является взрыво- и пожаробезопасным. На основе технологии водоугольного топлива создаются замкнутые комплексы по утилизации отходов углеобогащения в теплотенергию непосредственно на предприятиях, генерирующих такие отходы. При этом производство водоугольного топлива обеспечивает полную термическую утилизацию тонкодисперсных отходов углеобогащения, возможность замены на энергогенерирующих установках дорогостоящих энергоносителей (газ, мазут), достижение более низкого уровня вредных выбросов в атмосферу,

который существенно ниже предельно допустимых концентраций. Водоугольное топливо производится в Кемеровской области компаниями для собственного потребления (замкнутый рынок), например, обогатительной фабрикой «Междуреченская» (технология описана в [12]) и на коммунальной котельной ОАО «СКЭК». При этом в 2020 г. производство водоугольного топлива оценивалось в 2,2-2,5 млн тонн в год с прогнозом роста [13].

Указанные способы утилизации не являются прямыми конкурентами рассматриваемого технологического предложения, поскольку ориентированы на переработку отходов с целью производства топлива и получения энергии. В то же время технологическое предложение по обогащению мелкодисперсных угольных отходов предлагается с целью выделения пиролитического графита и других полезных компонентов, с использованием которых в качестве сырья может быть произведен конечный продукт. Также нужно отметить, что на рынке переработки отходов углеобогащения их использование в качестве вторичного энергоресурса является более распространенным, чем использование после повторного обогащения в качестве сырья для производства иных продуктов, что связано в том числе с низкой востребованностью и/или высокой стоимостью получаемого сырья. А кроме того, получение энергии из отходов углеобогащения может соответствовать концепции «отходы-в-энергию» («waste-to-energy»), получившей распространение в связи с развитием идей циркулярной экономики.

Обогащение кеков может осуществляться посредством предлагаемой технологии, то есть сухим методом, либо с помощью мокрой технологии (флотации), являющейся основным конкурентом. Применение и одной, и другой технологий может быть связано с потребностью в предварительном доизмельчении кека [14], что ведет к дополнительным затратам. При этом мокрое обогащение рентабельно только при высокой стоимости получаемого после обогащения материала (на уровне коксующихся концентратов) [2]. Основное конкурентное преимущество технологического предложения сухого обогащения угольных кеков – отсутствие необходимости в водно-шламовом хозяйстве (отстойники, насосы и др.), которое сопутствует мокрому способу, что позволяет удешевить процесс обогащения. Вместе с тем, разработчиком заявлена 100% очистка пылевого потока [4], что однако до проведения соответствующих подтверждающих опытно-промышленных испытаний не исключает риски сокращения срока службы технологического оборудования и/или его удорожания. Другое конкурентное преимущество, согласно пояснениям разработчика, состоит в том, что при комплексном подходе к эксплуатации месторождений сухое обогащение позволяет обеспечить переработку без образования отходов, в то время как применение флотационного метода связано с дополнительной генерацией еще более экологически вредных веществ, чем существующие отходы.

Перспективность анализируемого технологического предложения в первую очередь связана с преимуществами сухого метода обогащения с точки

зрения снижения или полного исключения неблагоприятных экологических эффектов и нагрузки на окружающую среду, а также возможностью встраивания в комплексную переработку отходов углеобогащения при снижении издержек относительно флотационного метода обогащения. Вместе с тем оценить конкурентные преимущества технологии с точки зрения экономии за счет сокращения потребления энерго- и водных ресурсов, затрат на разработку и производство соответствующего оборудования, а также характеристик последнего на текущий момент не представляется возможным ввиду низкого уровня технологической и производственной готовности. По той же причине невозможно оценить конкурентные позиции технологического предложения относительно уже предлагаемой на рынке технологии сухого обогащения угольных шламов «Сепайр» [15, 16]. Отметим здесь, что отсутствие постоянного и универсального технологического цикла и необходимость проведения инжиниринга для каждой новой обогатительной фабрики ведет к удорожанию предлагаемого технологического решения и увеличению временных затрат на его реализацию, снижая таким образом конкурентоспособность. В то же время проведение дополнительных исследований в части возможности сокращения издержек посредством частичного тиражирования решений для различного сырья может увеличить перспективы технологического предложения. Кроме того, конкурентные позиции технологии зависят от себестоимости получаемого графита и других полезных высоко-метаморфизованных углеродсодержащих компонентов, содержание которых обуславливается составом перерабатываемого сырья.

Потенциальная емкость рынка в России и мире

Источниками отходов, которые потенциально могут быть использованы для переработки в рамках технологического предложения, в России являются кеки высоко-метаморфизованных тощих углей, полученные в результате деятельности обогатительных фабрик Кузнецкого и Печорского бассейнов. Общий объем переработки угля на обогатительных фабриках Кузбасса в 2020 г. составил 130 млн т. [17], в том числе 56 млн т. углей энергетических марок. Это с учетом выхода твердых отходов обогащения в объеме 0,15 – 0,35 т. на 1 тонну [3] эквивалентно ежегодному образованию 8,4 – 19,5 млн т. сырья при условии его соответствия требованиям анализируемой технологии. В Республике Коми объем добычи угля в 2020 г. составил 10 млн т., большая доля которого обогащается на фабрике, однако точные значения объемов переработки по маркам и выхода отходов Министерством экономического развития и промышленности Республики Коми не приводятся [18]. В связи с последним оценка емкости рынка основана на данных только по Кузнецкому угольному бассейну, где образуется подавляющая часть кеков тощих углей.

При предположении о неснижении ежегодного объема переработки и на основе анализа текущего состояния рынка переработки отходов углеобогащения и его перспектив оценка общей потребности российского рынка во вводе мощностей по переработке отходов углеобогащения Кузбасса

составляет 0,4-1,6 млн т. отходов в год. При учете срока эксплуатации технологического оборудования в силу физического и морального износа в 10 лет, а также стоимости единицы годовой мощности переработки в соответствии с приложением А.5 потенциальная емкость рынка по переработке отходов углеобогащения в сценарии выхода на полную переработку вновь образованных отходов к 2031 г. может быть оценена в 399-1418 млн руб. ежегодно. Данная оценка не учитывает удорожание за счет оказания инжиниринговых услуг (определение минерального состава и физико-химических характеристик сырья, оценка обогатимости фракций и др.), необходимых для дальнейшей подстройки параметров технологического процесса и уточнения технологических схем работы оборудования, его составных частей и пр., а также удорожание самого оборудования за счет изменения его комплектации, материалов и пр., что обусловлено низким уровнем технологической готовности и непредоставлением необходимой для соответствующей оценки информации разработчиком. Оценить рыночный потенциал конкретно рассматриваемого технологического предложения на текущий момент не представляется возможным также в силу низкого уровня технологической и производственной готовности.

Объем накопленных отходов в хвостохранилищах может формировать дополнительную потребность российского рынка во вводе мощностей по переработке отходов, однако их состав и характеристики могут отличаться от вновь образованных, что требует уточнений разработчиком в части возможности тиражирования решений и необходимости корректировки технологического процесса, а также изменения используемого оборудования и его удорожания.

Отметим, что потенциально подходящие для переработки отходы образуются на техногенных месторождениях Донецкого угольного бассейна, однако на текущий момент возможности выхода на данный рынок ограничены из-за существующей напряженности в регионе. Перспективы выхода технологического решения на мировой рынок также существенно ограничены, что связано с тенденцией перехода ряда стран (в первую очередь США и Европы) на более экологичные источники энергии и соответствующими институциональными и структурными изменениями, высокой конкурентностью рынка в развитых странах, а также некоторыми другими аспектами. В частности, на экспортный потенциал технологического решения на Украину влияет геополитический дискурс. Тем не менее, в случае подтверждения экологичности технологического предложения опытно-промышленными испытаниями и соответствующей сертификацией возможно продвижение технологии на рынке Азиатско-Тихоокеанского региона, что однако требует проведения отдельного исследования при условии повышения уровня технологической готовности.

Таким образом, технологическое предложение имеет низкие уровни технологической и производственной готовности (TRL 2, MRL 1). При этом оно не предполагает постоянного и универсального технологического цикла

из-за различия состава перерабатываемого сырья, что не позволяет получить полнофункциональный образец с дальнейшим серийным производством по единой технологии и предполагает проведение НИОКР для каждой новой обогатительной фабрики и сырья, а потому приводит к удорожанию предлагаемого технологического решения.

Потенциальная емкость рынка по переработке отходов углеобогащения может быть оценена в 399-1418 млн руб. ежегодно, однако оценить рыночный потенциал конкретно рассматриваемого технологического предложения на текущий момент не представляется возможным в виду низкого уровня его готовности.

Перспективность анализируемого технологического предложения, в первую очередь, связана с преимуществами сухого метода обогащения с точки зрения снижения или полного исключения неблагоприятных экологических эффектов и нагрузки на окружающую среду, а также возможностью встраивания в комплексную переработку отходов углеобогащения при снижении издержек относительно флотационного метода обогащения. Вместе с тем оценить конкурентные преимущества технологии с точки зрения экономии на сокращении потребления энерго- и водных ресурсов, затрат на разработку и производство соответствующего оборудования, а также характеристик последнего пока не представляется возможным ввиду низкого уровня технологической и производственной готовности. В то же время проведение дополнительных исследований в части возможности сокращения издержек посредством частичного тиражирования решений для различного сырья может увеличить перспективы технологического предложения.

2.6 Термокаталитическое окисление иловых осадков сточных вод коммунальных и промышленных очистных сооружений

Иловый осадок – второй по объему поток отходов в ЖКХ после ТКО, причем 90-98% всех образующихся в России иловых осадков депонируется [1, 2]. На станциях аэрации крупных городов технология обработки осадков сточных вод чаще всего представляет собой минерализацию в метантенках или аэробных стабилизаторах с дальнейшим подсушиванием на иловых картах (полях). Продолжительность обезвоживания осадков в естественных условиях с влажности 98% до 75% составляет 90-110 суток. Далее обезвоженные осадки могут использоваться в качестве удобрений, однако на практике из-за высокой насыщенности ионами тяжелых металлов (поступают со сточными водами промышленных предприятий) такое использование существенно ограничено или невозможно [2]: например, в 2020 г. обнаружено, что применяемые на сельскохозяйственных угодьях осадки были загрязнены опасными стойкими органическими загрязнителями (диоксины, горючие вещества и др.) на уровне, который может представлять опасность для здоровья человека [3]. По нормативу на иловых полях осадок может высушиваться в течение нескольких

лет, а затем либо утилизироваться, либо подвергаться дальнейшей переработке с образованием готового продукта. В действительности большинство иловых полей в РФ переполнены, осадок не вывозится и не подвергается переработке. В результате чего подсушенные осадки остаются на иловых картах, занимая необходимые для обезвоживания вновь образуемых на очистных сооружениях осадков. Как следствие, сокращаются свободные площади иловых карт, а для вновь образующихся осадков требуются отчуждение новых земель, которые находятся преимущественно в городской черте [2].

Кроме того, строительство и эксплуатация илового поля сопряжены с затратами, среди которых расходы на отчуждение территорий, обустройство полигона (проектирование, строительство, устройство дренажной системы и др.), транспортировку отходов на полигон, обеспечение его функционирования (оплата труда, энергоресурсы и др.), а также плата за негативное воздействие на окружающую среду (в том числе за размещение отходов и за выбросы вредных веществ в атмосферу). Так, например, дополнительное иловое поле в г. Санкт-Петербурге по оценке группы авторов [4] потребует 625,6 млн руб. единовременных и 372,5 млн руб. ежегодных затрат.

Вместе с тем, в составе отходов на иловых площадках содержатся вещества, которые обладают общетоксическим, токсикогенетическим, эмбриотоксическим, канцерогенным и другими негативными свойствами. В них могут входить тяжелые металлы, нефтепродукты, токсические вещества, фенолы, патогенные организмы и др., что оказывает влияние на ухудшение свойств почв и в условиях загрязнения поверхностных или грунтовых вод сопряжено с рисками для здоровья человека посредством попадания таких веществ в организм по пищевой цепи [5]. К тому же на иловых площадках происходит постоянное неконтролируемое образование поступающих в атмосферу газов, наиболее опасные из которых сернистые (SO_2) и парниковые (CO_2 , CH_4 , N_2O) [6]. Это, помимо непосредственного негативного влияния, приводит к образованию специфического запаха, который в условиях размещения иловых карт на территории городов распространяется по населенным пунктам.

Таким образом, на текущий момент обращение с отходами посредством депонирования иловых осадков является неэффективным с точки зрения использования земель, а также связано с негативным воздействием на окружающую среду. Более того, политика государства в области экологии (например, ликвидация илошламонакопителей в рамках национального проекта «Экология» или ужесточение мер за негативное воздействие на окружающую среду), ожидания роста тарифов на захоронение осадков сточных вод, ужесточение экологических и санитарно-эпидемиологических требований (например, приказ¹ Роспотребнадзора о недопущении

¹ Приказ Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 09.08.2019 № 629 «О совершенствовании эпидемиологического надзора» (пункт 2.2.2)

использования иловых площадок и длительного хранения осадка как самостоятельных дезинвазионных методов), а также рост крупных городов подталкивают к отказу от депонирования и поиску эффективных способов утилизации и рекультивации земель, обуславливая востребованность экологичных технологий по переработке иловых осадков, в том числе рассматриваемого технологического предложения при условии его соответствия заявленным показателям.

Содержание технологического предложения: разработка инновационной импортозамещающей технологии по сжиганию влажных иловых осадков коммунальных очистных сооружений с использованием термokatалитического окисления, а также разработка и производство под заказ установок для экологически чистого сжигания (утилизации) влажных иловых осадков коммунальных очистных сооружений с использованием технологии окисления углеводородного сырья в кипящем слое катализатора. Установка сжигания иловых осадков представляют собой комплекс технологического оборудования, расположенного в специально построенном здании и интегрированного с источником отхода (илового осадка) [2].

Основными преимуществами технологии, заявляемыми ее разработчиками, являются снижение температуры горения органического топлива, повышение коэффициента полезного использования теплоты топлива до более чем 90%, обеспечение экологической безопасности, большая энергоэффективность в части возможности проведения процесса без использования дополнительного топлива, уменьшение размеров и металлоемкости конструкций [2].

Характеристика технологического процесса

Вид перерабатываемых отходов: иловые осадки сточных вод.

Требования к отходам для возможности применения технологии: необходимо механическое обезвоживание до влажности 70-75 масс.%. [7].

Требования к составу отходов: отсутствие повышенного количества тяжелых металлов для возможности дальнейшего использования продукта переработки в производстве [8]; в случае захоронения – нет.

Источник отходов: избыточные (отработанные) илы генерируются на этапе биологической очистки сточных вод в результате роста количества микроорганизмов.

Возможность тиражирования на другие виды отходов: предположительно возможно совместное с другими видами топлива или отходов сжигание [1].

Технологическое оборудование: установка термokatалитического сжигания иловых осадков сточных вод [7], состоящая из: усреднительного бункера; насоса для подачи воды; реактора с катализатором (сферические гранулы с размером частиц 1.4–2.0 мм); организующей решетки; бункера с твердым топливом; воздухонагревателя; насоса для подачи воздуха;

теплообменника рекуператора; теплообменника экономайзера; рукавного фильтра; бункера с золой; мокрого скруббера; дымовой трубы.

Требуемые для использования технологического оборудования ресурсы (в скобках значения по опытно-промышленной установке в г. Омск (см. приложение А.6)): воздух [7]; техническая вода (в экономайзере для охлаждения): 112000 кг/час [1] (4 225,2 тыс.руб/год); электроэнергия: (14 224,80 тыс.руб/год); трудовые ресурсы: (13 чел. 6 816 тыс.руб/год); твердое топливо (уголь) в случае падения температуры в псевдооживленном слое катализатора: (602,4 тыс.руб/год).

Оборудование по внедрению технологии: опытно-промышленная установка (г. Омск, ОАО «ОмскВодоканал») (приложение А.6), имеющая следующие характеристики

- производительность – 6 т/ч по влажному осадку (75% влажность);
- объем печи – 19 м³;
- площадь всего комплекса – 1 300 м²
- стоимость строительства: фактическая (первая очередь, 6 т/ч) – 328 млн руб.; планируемая (с учетом второй очереди) – 728 млн руб.

Возможно строительство опытно-промышленной установки общей производительностью не менее 100 тыс. т/год по влажному осадку. И организация производства типоразмерного ряда установок с годовой производительностью не менее 6 комплексов оборудования в год с суммарной производительностью до 300 тыс. т/год по влажному илу (приложение А.6).

Результаты переработки [8]:

- утилизация токсичных отходов с применением отечественной технологии, стоимость которой ниже зарубежных аналогов;
- решение проблем экологии, связанных с образованием и переработкой такого рода отходов.

Основной продукт переработки: зольный остаток (IV класс опасности для окружающей природной среды):

- степень выгорания осадка > 98% (99,5% при 700 °С [9]);
- удельная поверхность зольных остатков 97 м²/г [9];
- химический состав: кремния диоксид SiO₂, алюминия оксид Al₂O₃ и др. (зависит от состава осадков и описано в [9]);
- объем в 8 раз меньше объема осадков [1].

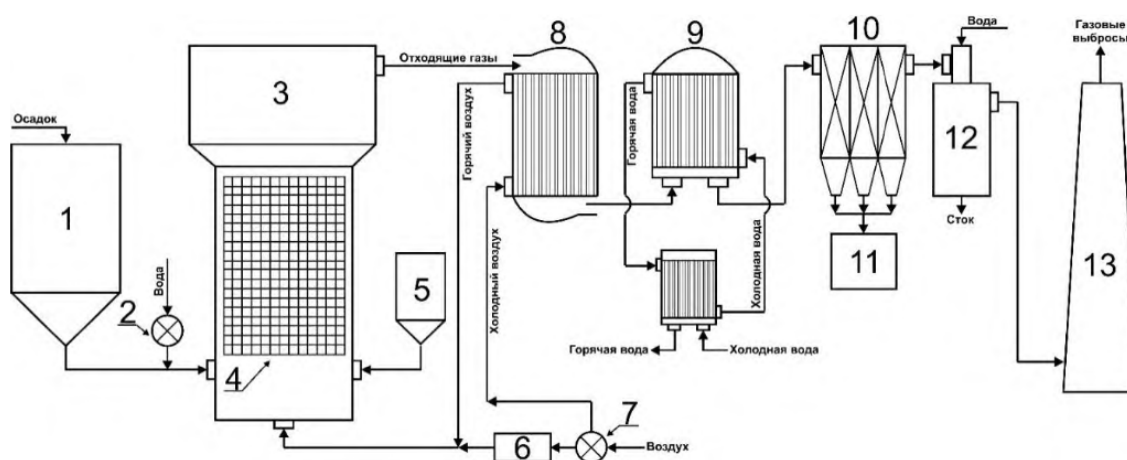
Направления (вторичного) использования результата переработки: производство строительных смесей (в случае производств, в результате деятельности которых в сточные воды не попадает повышенного количества тяжелых металлов) [8], либо захоронение на обычных отвалах [9].

Дополнительный результат переработки: вырабатывается тепловая энергия (тепловая мощность опытно-промышленной установки в г. Омск – 4 МВт [10]), которую возможно использовать для внешнего и внутреннего потребления.

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух (все значения ниже предельно допустимых норм) [7]:

- Азота диоксид (NO_2) – 23 мг/м³;
- Азота оксид (NO) – 23 мг/м³;
- Серы диоксид (SO_2) – 12 мг/м³;
- Взвешенные вещества – 1,1 мг/м³;
- Хлористый водород (HCl) – 1,8 мг/м³;
- Диоксины – 0,047 мг/м³;
- Ртуть и ее соединения (Hg) – 0,09 мг/м³.

Процесс термokatалитического сжигания схематично представлен на рисунке 2.6.1.



1 – усреднительный бункер; 2- насос для подачи воды; 3 – реактор; 4 – организующая решетка; 5 – бункер с твердым топливом; 6 – воздухонагреватель; 7 – насос для подачи воздуха; 8 – теплообменник рекуператор; 9 – теплообменник экономайзер; 10 – рукавный фильтр; 11 – бункер с золой; 12 – мокрый скруббер; 13 – дымовая труба

Рисунок 2.6.1 – Технологическая схема процесса термokatалитического сжигания иловых осадков сточных вод

Источник: [7]

Описание технологического решения, предоставленное разработчиком технологии.

Влажные отходы (70-75 масс.%) при помощи поршневых насосов подаются из усреднительного бункера в псевдооживленный слой катализатора, где при температуре 700–750 °С происходит их сушка и сжигание без использования дополнительного топлива.

Через вентиль предварительно разогретый в нагревателе воздух подается в реактор для поддержания режима псевдооживления частиц слоя (катализатора). После выхода установки на рабочий режим, воздухонагреватель отключается.

Патрубок ввода осадка в реактор снабжен штуцером для ввода воды при необходимости увлажнения поступающего ила. В случае падения

температуры в слое, в системе реализована возможность шнековой подачи дополнительного топлива (угля) из бункера топлива.

Дымовые газы, покидающие реактор, поступают в рекуператор, где нагревают воздух, подающийся в реактор. После рекуператора отходящие газы попадают в экономайзер, где охлаждаются за счет нагрева воды. Вода в экономайзере циркулирует с теплообменником вода-вода для получения тепловой энергии. Охлажденные дымовые газы из экономайзера проходят через рукавный фильтр, в котором улавливаются твердые частицы золы. Зола собирается в бункер, а газы через мокрый скруббер попадают на сброс в дымовую трубу.

Уровень технологической и производственной готовности (TRL/MRL) технологического предложения, защищенность от воспроизводства

На основе предоставленной разработчиком информации, уровни готовности технологий и производственной готовности могут быть оценены следующим образом:

- TRL 7 (изготовлен полнофункциональный опытно-промышленный образец, проведена его демонстрация в реальных условиях эксплуатации на ОАО «ОмскВодоканал» (см. описание выше), работоспособность подтверждена; проработан технологический процесс, процесс разработки оборудования находится на стадии завершения; выход на мелкосерийное производство и тиражирование возможны при условии проведения предварительных НИОКР для учета возможных отличий в составе и характеристиках иловых осадков на различных объектах, а также ввиду наличия нестандартного оборудования);

- MRL 6 (осуществляются завершающие комплексные испытания, по результатам которых могут быть внесены изменения; конструкторские расчеты для пилота завершены и требуют корректировки под состав и характеристики иловых осадков на новых объектах, а также технологические возможности компаний-потребителей).

Разработчик имеет научно-технический и методический заделы, в том числе в части разработки катализаторов глубокого окисления углеводородов для использования в установках сжигания иловых осадков и в части применения катализаторов, проектирования и создания установок утилизации (сжигания) илов различных источников. Работы проводились в рамках нескольких грантов РФФИ, а также в рамках Государственного контракта № 16.526.12.6012 от 6 августа 2011 г. на выполнение научно-исследовательских работ в рамках ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» по теме «Разработка типоразмерного ряда теплогенерирующих модулей на основе каталитического сжигания твердого топлива, включая отходы углеобогащения» [11]. А кроме того, разработчик обладает рядом созданных результатов интеллектуальной деятельности: Симонов А.Д., Пармон В.Н., Яковлев В.А., Языков Н.А. Каталитический реактор для

переработки осадков сточных вод и способ их переработки (варианты). Патент РФ № 2456248, БИ № 20, 20.07.2012; Симонов А.Д., Языков Н.А., Пармон В.Н., Дубинин Ю.В., Яковлев В.А., Федоров И.А. Каталитический реактор для переработки осадков сточных вод и способ их переработки (варианты). Патент РФ № 2536510. БИ № 36, 27.12.2014; Симонов А.Д., Языков Н.А., Яковлев В.А., Пармон В.Н. Способ каталитической переработки осадков сточных вод. Патент РФ № 2568978. БИ № 32, 20.11.2015; Симонов А.Д., Языков Н.А., Яковлев В.А., Пармон В.Н. Способ каталитической переработки осадков сточных вод. Патент РФ № 2568978. БИ № 32, 20.11.2015. Результаты теоретических и практических научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ, непосредственно касающихся каталитического сжигания осадков сточных вод, опубликованы в профильных научных журналах: Симонов А.Д., Языков Н.А., Трачук А.В., Яковлев В.А. Сжигание осадков сточных вод коммунального хозяйства в псевдоожиженном слое катализатора // Альтернативная энергетика и экология, 2010, №6 (86), с. 61-66; Симонов А.Д., Чуб О.В., Языков Н.А. Каталитическое сжигание осадков сточных вод коммунального хозяйства // Химия в интересах устойчивого развития, 2010, № 18, с. 749-753. Общий задел сформирован 29 опубликованными статьями (14 в отечественных и 15 в зарубежных журналах), а также 12 полученными патентами РФ.

Поскольку технологическое предложение является в высокой степени наукоемким, производство установок предполагает полный цикл работ (включает проектирование комплекса оборудования, разработку конструкторско-технологической документации или использование готовых решений для изготовления технологического оборудования, выбор стратегического партнера – производителя нестандартного оборудования, изготовление нестандартного оборудования, комплектацию стандартным оборудованием и материалами, строительно-монтажные работы, пуско-наладочные работы, проведение индивидуальных и комплексных испытаний, а также проведение предварительных и приемочных испытаний [11]), часть из которых предполагает использование запатентованных результатов интеллектуальной деятельности, то технологическое решение является защищенным от воспроизводства и копирования.

Конкурентное окружение

Структура рынка утилизации и обезвреживания иловых осадков сточных вод в разрезе существующих технологий представлена следующим образом (составлено на основе [1, 2, 11, 12]):

1. Депонирование обезвоженного осадка.
2. Сброс осадка в накопители.
3. Термические методы² и методы с окислением:
 - прямое сжигание;

² Сжигание относится к утилизации отходов (а не обезвреживанию), согласно ФЗ от 27 декабря 2019 г. №450-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»

- сжигание в кипящем слое инертного носителя (песок, зола);
- термokatалитическое сжигание;
- пиролиз;
- жидкофазное окисление;
- технологии с применением низкотемпературной плазмы;
- взрывные камеры;
- остеклование.

4. Биотехнологические методы:

- сбраживание в метантенках (анаэробное сбраживание);
- компостирование (использование в качестве органических удобрений);
- производство почвогрунтов (искусственных почв);
- сушка с получением топлива.

Отметим, что для переработки с использованием большинства технологий (кроме остеклования и рассматриваемого ТП) предварительно требуется обезвоживание (механическое, на иловых площадках, с использованием флокулянта [12]) или термическая сушка осадков до получения определенного уровня влажности, сопровождаемые обеззараживанием, что увеличивает затраты на переработку.

Депонирование обезвоженных осадков посредством складирования в котлованах или надземных холмах ландшафтного обустройства, а также сброс осадков в накопители далее рассматриваться не будут, поскольку не являются аналогами или конкурентными технологическими решениями с точки зрения утилизации отходов: они, по сути, представляю собой захоронение отходов и предполагают длительный (от 10 лет и более) процесс депонирования, в течение которого дальнейшая рекультивация и использование земель невозможны [2]. Непосредственными конкурентами рассматриваемого технологического предложения являются технологии с применением термических методов и методов с окислением с образованием золы и шлака, которые могут быть вторично использованы или захоронены, однако с точки зрения технологической конкуренции на анализируемом рынке также представлены технологии с применением биотехнологических методов, причем, как уже было отмечено выше, возможности их применения ограничены. Кроме того, получение вторичного продукта посредством биотехнологических методов часто не является коммерчески эффективным (например, по оценкам ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» себестоимость биогаза при анаэробном сбраживании в 2 раза дороже природного газа, себестоимость электроэнергии при когенерации биогаза – на 20-30% [13]). Однако здесь стоит указать на риски, связанные с влиянием государственной политики в сфере экологии, поскольку введение «зеленых» тарифов, подобно опыту ЕС, на вырабатываемую в процессе утилизации иловых осадков сточных вод энергию совместно с ослаблением административных барьеров и упрощением системы сертификации может усилить конкурентные позиции биотехнологических методов, которые на данный момент слабы (в ЕС в среднем 39% обращения с

иловыми осадками городских очистных сооружений приходится на использование в качестве удобрения и 14% – в качестве компоста³). Среди отечественных производителей, продукция которых представлена на рынке, можно назвать АО «Альфахимпром» (г. Москва, <http://alphachem.ru/biom/>), ООО «Грунт Эко» (Башкортостан, <https://grunteco.ru>), ООО «ЭКОТРАК» (г. Москва, <http://www.eko-track.com>), ООО «АгроБиоТех» (г. Санкт-Петербург, <http://biogaz.ru/>), ООО «Компания по защите природы «Экотоп» (г. Волгоград, <https://ekotor.ru>) и др.

Прямое сжигание (900-1600°C) применяется, как правило, если иные способы утилизации осадков невозможны или экономически нецелесообразны [2, 11]. Сжигание осадка дает возможность получить положительный баланс энергии и эффективно использовать теплотворную способность осадка. Основным фактором, побуждающим к использованию сжигания, является тот факт, что количество образующегося на городских очистных сооружениях осадка несоизмеримо велико по сравнению со свободными площадями, на которых осадок может подвергаться утилизации или другой обработке. Сжигание позволяет быстро сократить объем осадка до минимума, а зола может быть использована при подготовке техногенных грунтов для планировочных работ, как добавка в бетоны, в кирпич [2]. При этом высокая температура горения обуславливает повышенные требования к конструкционным материалам и необходимость расхода дополнительного топлива [11]. И в силу того, что процесс сжигания осуществляется на воздухе с активным газоотведением, то происходит выброс в атмосферу продуктов горения, что создает дополнительную нагрузку на окружающую среду и создает необходимость ликвидации вторичного загрязнения атмосферы СО, оксидами азота, серы, токсичными соединениями тяжелых металлов, бензпиренами и диоксинами [2, 11]. Попытка России перенести зарубежный опыт сжигания оказалась неэффективной: объем твердой фазы снизился всего на 20% при одновременном выбросе в атмосферный воздух большого количества газообразных токсичных веществ и продуктов сгорания [2]. Кроме того, перспективы использования прямого сжигания неоднозначны из-за распространения идей по снижению антропогенной нагрузки на окружающую среду, развития процессов декарбонизации экономики и идей перехода к циркулярной экономике, в контексте которых более актуальными становятся технологии, основанные на принципе «отходы-в-энергию» («sludge-to-energy»).

Так, при использовании печи кипящего слоя из кварцевого песка можно снизить выбросы и получать энергию на отопление и выработку электроэнергии, однако такие установки значительно более сложны и громоздки, с большим набором вспомогательного оборудования и требуют квалифицированного сопровождения [2]. На текущий момент в России на очистных сооружениях г. Санкт-Петербурга (сжигание всего объема вновь образующихся отходов) и на АО «Группа «Илим» (Целлюлозно-бумажный

³ Рассчитано на основе данных Eurostat за 2009-2019 гг. [14]

комбинат в г. Усть-Илимск, Иркутская обл.) установлено оборудование на базе таких технологий, разработанных за рубежом компаниями Pyrofluid (Франция) и Tsukishima Kikai (Япония) соответственно. Они представляют собой наиболее близкие аналоги к рассматриваемому технологическому предложению и вместе с тем уступают по ряду характеристик (см. табл. 2.6.1), являясь более материалоемкими, дорогими и большими по габаритам [11], чем установленная в г. Омске опытно-промышленная установка термokatалитического сжигания. Более того, несмотря на более низкую относительно традиционного горения рабочую температуру, использование указанных технологий сопряжено с большими выбросами токсичных веществ, что приводит к необходимости использования сложной системы очистки дымовых газов (система газоочистки в г. Санкт-Петербурге занимает 80% площади) [11]. Принципиальное отличие технологического предложения разработчика от приведенных в большей экологичности (содержание осадков токсичных соединений в дымовых газах на уровне предельно допустимых санитарных норм), что при подтверждении и соответствующей сертификации является сильным конкурентным преимуществом наряду с более низкой стоимостью и экономией на дополнительном топливе.

Таблица 2.6.1 – Характеристики технологического предложения разработчика и ближайших технологических аналогов, использующих сжигание в кипящем слое инертного носителя

Параметр	Компания Tsukishima Kikai	Компания Pyrofluid	Термокatalитическое окисление*
Влажность осадка, %	83	30-35%	75
Температура процесса, °С	800-1000	900-1100	700-800
Материал слоя	песок	песок	катализатор, носитель для катализатора
Наличие дополнительных систем очистки	да	да	нет
Производительность печи, т/час по сухому осадку	2,3	5-8	1,5
Габариты печи: объем печи, м ³	510	н/д	19
Расход электроэнергии, квт час/т абсолютно сухое вещество	271,1	н/д	280,0
Расход условного топлива, т/т абсолютно сухое вещество	0,405	н/д	0
Стоимость установок, производительностью 5-6 т/час по сухому веществу, млн. руб.	н/д	более 2500	менее 1000

* – расчетные данные, основанные на данных и результатах испытаний на установках лабораторного и опытного уровня.

Источник: составлено на основе [11, 13, 15] и приложения А.6

Пиролиз – процесс высокотемпературной (800-1000°C) обработки осадков сточных вод без доступа воздуха (иногда с регулируемой подачей кислорода), в результате которого из органического вещества осадка образуются твердый углеродный остаток – кокс и горючий газ – синтетический газ. Следует особо отметить, что в настоящее время считаются перспективными комбинированные технологии, объединяющие использование биотермического обеззараживания, анаэробного сбраживания и пиролиза в единый технологический цикл с максимальным выходом полезных компонентов на его этапах. Достоинством технологии пиролизной обработки является достаточно высокая экологичность; процесс бескислородный с высокими температурами, который исключает образование диоксинов, тяжелые металлы в твердом остатке находятся в связанной форме. Кроме того, при пиролизе происходит термическая стерилизация и образуются производные продукты (газ, жидкость, твердый углистый остаток), которые могут быть использованы как топливо или как сырье для нефтехимического производства, при производстве керамзита, бетона. В числе недостатков способа: низкие показатели по возможным объемам генерации электрической энергии; высокие требования к исходному сырью по влажности (необходима сушка сырья до влажности не более 15%); высокое общее энергопотребление комплекса (пиролиз – 25 кВт, сушка – 20 кВт). Для функционирования комплекса требуется энергоснабжение от других источников [2]. И несмотря на наличие отечественных производителей оборудования по данной технологии (ПГ «Безопасные Технологии», г. Санкт-Петербург, <https://i-pec.ru/>; ООО ПТК «Пиролиз-Экопром», г. Нижний Новгород, <https://piroliz-ecoprom.ru>; «Эко-Спектрум», г. Краснодар, <https://ecospectrum.ru> и др.), она не получила распространения в части утилизации иловых осадков в России и используется на малом числе объектов за рубежом [12].

Жидкофазное окисление состоит в окислении органической части осадка кислородом воздуха при поддержании в аппарате высоких температуры и давления, которое осуществляется без горения. Метод жидкофазного окисления имеет ряд преимуществ перед сжиганием, а именно: возможно обезвреживание субстратов с высокой влажностью и жидкостей; продукты окисления остаются в сточной воде, но при этом не содержат вредных веществ; не загрязняется воздух; метод легко контролируется и безопасен для обслуживающего персонала. К недостаткам можно отнести неполное окисление некоторых органических веществ; значительную стоимость оборудования и очень высокую коррозию в кислых средах. В России не применяется [2].

Технологии с применением низкотемпературной плазмы предназначена для переработки широкого спектра отходов, в том числе и осадков сточных вод. Это экологически высокоэффективная технология, выброс вредных газов при применении которой значительно ниже других способов сжигания, а на выходе получается безопасный стеклованный шлак. Способ отличает высокий

расход и стоимость сопровождающих материалов. Кроме того, технология не имеет примеров практического применения в РФ. Экспериментальная установка по плазмохимической переработке экологически опасных отходов находится в ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» (г. Москва). Эксплуатация установок сопряжена с промышленными рисками: использование адсорбционной кислородной станции; в синтез-газе содержится свободный водород – вещество взрывоопасное в сочетании с кислородом; высокая температура в донной части реактора (~1600 °С); высокая себестоимость; низкий КПД преобразования электрической энергии в тепловую энергию газового потока; ограничение по времени работы из-за значительной эрозии поверхности анода (100-500 часов в зависимости от материала); потребность в наличии существенных электрических мощностей; технология не предполагает выработки собственной электроэнергии и не обеспечивает резервного энергопитания в нештатной ситуации. Ее использование целесообразно только для переработки высокотоксичных, радиоактивных и других высокоопасных отходов [2].

Многие системы по термической переработке, как было отмечено выше, объединяет один недостаток – большое потребление топлива, обеспечивающего необходимые температуры для сжигания осадка. Для решения этой проблемы была разработана технология с использованием взрывной камеры. Во время взрыва температура в замкнутом пространстве достигает 2500-5000 °С, что значительно превышает показатели многопородовых печей и пиролизных установок. Кроме того, давление на 1 кг взрывчатого вещества достигает 20-50 ГПа. Таким образом, взрывная камера позволяет производить сушку, прессование и сжигание осадка с иловых площадок, используя энергию взрыва в качестве главного источника. Основной проблемой применения взрывных камер является опасность их воздействия во время взрыва, поэтому при создании таких систем предъявляют высокие требования к прочности и термоустойчивости всей конструкции. В остальном применение взрывных камер отличают такие преимущества как возможность переработки осадка любой влажности, высокая эффективность сжигания и обеззараживания, низкий уровень запыленности отходящих газов [2]. В России также не применяется.

Одной из перспективных конкурирующих технологий, позволяющих получать вторичную продукцию из осадка, согласно ИТС НДТ 10 [12], является остеклование осадка с получением инертного материала вместо золы, которая используется в Японии и США. В России разработана и запатентована технология остеклования с сушкой внутри технологического процесса (патент RU 2704398) специалистами ООО «НТЦ «Экопромтех» (резидент «Сколково», участник Московского инновационного кластера, дочернее предприятие ООО «ФИНПРОМАТОМ»). Создана опытная установка на Щелковских межрайонных очистных сооружениях (Московская обл.). Преимущество технологии в полном исключении риска опасной эмиссии суперэкоотоксикантов, который есть при сжигании. Кроме того, в результате

вместо золы получают стеклогранулят (химически стойкий, инертный материал без запаха, устойчив к внешним воздействиям) V класса опасности, который может быть использован для отсыпки слоев полигонов ТКО, в качестве добавки в цемент, материала для оснований дорог, заменителя обычного песка и др. Вместе с тем, согласно комментариям разработчиков технологического предложения, технология остеклования обладает рядом недостатков в сравнении с термokatалитическим сжиганием: она более металлоемка; предъявляет более жесткие требования к конструкционным материалам; происходит образование термических оксидов азота, разложение сульфатов, фосфатов минеральной части осадка с образованием кислых газов, более высокое выделение других компонентов в газовую фазу; используются более сложные и дорогостоящие системы очистки дымовых газов; снижение коэффициента теплопередачи; используется технологическое оборудование, подлежащее контролю котлонадзора и подведомственное Ростехнадзору из-за повышенной опасности; выше риски попадания загрязняющих веществ в атмосферу.

Стоит отметить, что многие обозначенные выше технологии предполагают производство некоторого конечного продукта или сырья для него (зола и строительные смеси из нее, удобрения, компост, искусственные почвы, стеклогранулят и др.). Одновременно с этим рынки такой продукции из отходов в России не существуют, либо находятся на стадии зарождения. Это связано с устойчивыми паттернами потребления (потребители могут предпочитать продукт из традиционного сырья [16]), а также с высокой себестоимостью производства при невозможности заложить в тариф все издержки. Последнее, как отмечалось ранее, может быть изменено при реализации программ поддержки производства продуктов из различных отходов, в том числе осадков сточных вод, а также частичной компенсации затрат на строительство соответствующих установок за счет бюджетных средств. В настоящее же время такие программы не действуют, а вопрос полезного использования золы остается открытым (например, ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» называет такую задачу актуальной по крайней мере с 2016 г. [17], когда работа по поиску решений уже велась несколько лет). В этой связи перспектива создания конечного продукта из золы может быть рассмотрена только в долгосрочном периоде при условии разработки и проведения государственной политики в области модернизации системы очистки сточных вод с целью сокращения негативного воздействия на окружающую среду. А более актуальной сохраняется проблема утилизации образуемой при сжигании отходов золы.

Конкурентные позиции

Термокatalитическое сжигание отходов не является российским изобретением, оно изучается и применяется за рубежом (например, [18, 19]). Более того, в международной практике термокatalитическое сжигание не выделяют в качестве самостоятельного направления переработки отходов, а

рассматривают как способ оптимизации традиционного и совместного (с другими видами топлива или отходов) сжигания [1]. В этом смысле рассматриваемое технологическое решение не представляет собой уникальное предложение на международном рынке, но, как уже отмечалось, не имеет абсолютных аналогов на российском.

Конкурентные позиции технологического предложения имеет смысл рассматривать в отношении ближайших технологических аналогов, что было сделано выше, а также сравнивать с классическим сжиганием иловых осадков.

Сильные стороны термokatалитического сжигания состоят в следующем:

- технологическое предложение относится к методам утилизации иловых осадков, не требующих предварительной сушки, что упрощает технологическую цепочку и снижает затраты на переработку [1];
- возможно проведение процесса в автотермическом режиме (без использования дополнительного топлива) (приложение А.6);
- обеспечение экологической безопасности процесса [11];
- отсутствие значительного избытка воздуха;
- использование катализатора [2]:
 - снижает температуру горения органического топлива;
 - снижает требования к термохимическим свойствам конструкционных материалов установки и уменьшает их эрозийный износ;
 - снижает потери тепла через стенки аппаратов;
 - облегчает запуск системы в работу и управление процессом;
 - позволяет достичь высокой теплonaпряженности объема топчного пространства, что дает возможность уменьшить габариты, вес и материалоемкость конструкций;
 - снижает выбросы токсичных продуктов в атмосферу;
 - расходы электроэнергии на дутьевое оборудование снижаются на 30%;

Слабые стороны термokatалитического сжигания:

- отсутствие предварительной сушки приводит к возникновению ряда рисков и сложностей (составлено на основе [1, 20, 21]):
 - высокое содержание влаги снижает удельную калорийность осадка;
 - высокое содержание влаги вызывает неполное окисление и повышает риск образования эрозивных серных соединений, что приводит к сокращению срока службы реактора и ужесточает требования к его конструкции;
 - сушка внутри реактора требует дополнительное время и энергозатраты, т.к. помимо сжигания органики необходимо испарить 13,5 т/ч воды (на 4,5 т/ч сухого осадка с влажностью 75%), что ведет к необходимости увеличения объема реактора;

- на выходе из реактора добавляется большое количество перегретого пара, что размывает концентрацию вредных веществ;
- возможна нестабильная работа установки при автотермическом режиме сжигания (без использования дополнительного топлива) из-за нестабильности влажности осадка и ее изменения в диапазоне 75-81% день ото дня [1];
- существует риск эмиссии суперэкотоксикантов [1];
- необходимость захоронения золы и потенциально низкий спрос на нее для производства конечного продукта.

Таким образом, с одной стороны, объемы реактора могут быть сокращены за счет катализатора, но с другой – должны быть увеличены из-за переработки без сушки, что по некоторым оценкам (например, [1]) может не дать выигрыш с точки зрения капитальных затрат. Тем не менее, согласно результатам расчетов разработчика и проведенным испытаниям, даже при увеличении объема дымовых газов за счет влажности осадков достигается сокращение объема реактора, в результате чего достигается экономия на затратах. Необходимо также отметить, что согласно предоставленной разработчиком информации, проведенные лабораторные и опытно-промышленные испытания технологического оборудования не обнаруживают ряд недостатков, указанных выше. В частности, установка термокаталитического сжигания в г. Омске стабильно работает даже при значительных отклонениях влажности от 65% до 80%. Кроме того, результаты сжигания осадка на лабораторной установке свидетельствуют об эмиссии диоксинов и бензпиренов (суперэкотоксикантов) на уровне в 50 раз меньше, чем норматив европейских стандартов, что значительно лучше показателей технологических аналогов. Соответствующие оценки по выбросам на установке в г. Омске будут получены в 2022 г.

Тем не менее, абсолютно исключить указанные выше риски и возможные направления ослабления конкурентных позиций термокаталитического сжигания не представляется оправданным – для этого требуется большее число соответствующих испытаний и подтверждение разработчиком показанных результатов. Последнее позволит более четко обозначить технологические, экологические и экономические преимущества термокаталитического сжигания в сравнении с традиционным сжиганием.

Оценка рынка представленных технологических предложений

Фактическая емкость рынка

В г. Омске объем образования иловых осадков составляет около 100 тыс. т/год [22]. При этом ОАО «ОмскВодоканал» применяет механическое обезвоживание осадка посредством центрифугирования с помощью декантеров до 75% влажности и обеззараживание с помощью флокулянта. Производительность блока механического обезвоживания осадка составляет 2,7-3,5 тыс. м³/сут [23]. При плотности иловых осадков сточных вод (избыточного ила очистных сооружений) равной 1 т/м³ [24] максимальная

производительность оценивается в 2,7-3,5 тыс. т/сут или 985,5-1277,5 тыс. т/год. То есть фактическая мощность обезвоживания сырья до влажности, которая необходима для автотермического режима работы установки, достигает 1277,5 тыс. т/год, что при росте объем образования иловых осадков в г. Омске позволит получать максимальный объем сырья влажностью 75% для термокаталитического сжигания на уровне 977,7 тыс. т/год и покрывает текущие потребности по обезвоживанию осадка, не накладывая ограничений.

При эксплуатации опытно-промышленной установки термокаталитического сжигания иловых осадков сточных вод коммунального хозяйства г. Омска на территории очистных сооружений АО «ОмскВодоканал» то есть первой очереди установки, производительность составляет 6 т/ч по влажному илу (влажность 75%) или 52,6 тыс. т/год. Это покрывает около 52% рынка переработки вновь образуемых коммунальных иловых осадков г. Омска и эквивалентно капитальным затратам в размере 328 млн руб. (приложение А.6). Согласно информации от разработчика, дальнейшие перспективы здесь связаны с введением второй и третьей очередей установки, которые позволят утилизировать 100% вновь образуемых коммунальных иловых осадков в г. Омске и начать утилизацию накопленных ранее.

Потенциальная емкость рынка в России и мире

Ежегодный объем образования иловых осадков в России – 80-100 млн т. (влажность 95-98%) [25]. По оценкам удельный вес осадков, подлежащих переработке – 90% [26], то есть более 72-90 млн т., которые локализованы в местах размещения очистных сооружений и крупных промышленных предприятий и составляют оценку емкости рынка без учета накопленных отходов. При этом, как следует из вышесказанного, на текущий момент рынок переработки иловых осадков в России находится на этапе становления при депонировании до 98%.

Анализ текущего состояния рынка утилизации иловых осадков и долгосрочных тенденций его развития с учетом перспектив зеленой экономики позволяет оценить общую потребность российского рынка во вводе мощностей по переработке иловых осадков в размере 3,6-4,5 млн т. отходов в год при условии выхода на 100% переработку вновь образуемых отходов через 20 лет. При учете срока эксплуатации технологического оборудования, который по оценке разработчика технологического предложения составляет 20 лет, а также стоимости единицы годовой мощности переработки иловых осадков потенциальная емкость рынка по переработке иловых осадков может быть оценена в 27,4-34,2 млрд руб. ежегодно.

При этом заявленная разработчиком возможность по производству типоразмерного ряда установок составляет до 300 тыс. т/год по влажному илу (приложение А.6), что оценивается в 7-8% годового рыночного потенциала. Как следствие, существует значительный потенциал роста при условии

подтверждения эколого-экономической и технологической эффективности, а также повышения конкурентоспособности анализируемого технологического оборудования и соответствующего расширения производственных мощностей.

Объем накопленных отходов на иловых картах также формирует потребность российского рынка во вводе мощностей по сжиганию иловых осадков, однако состав и качественные характеристики такого рода отходов отличаются от вновь образованных, что требует уточнения технологического процесса и подстройки используемого оборудования. Кроме того, о проведении подобных опытно-промышленных испытаний и соответствующих результатах разработчиком технологического решения не сообщалось.

Объем образования иловых осадков сточных вод в мире по оценке превышает 80 млн т. в год (сухого вещества) с перспективой роста до 120 млн т. в год к 2030 г. [27]. В стоимостном выражении прогнозируется устойчивое расширение рынка с 13,1 млрд долл. в 2019 г. до более чем 17,4 млрд долл. к 2025 г., во многом за счет стран Западной Азии и Тихоокеанского региона (рис 2.6.1). При этом обращение с иловыми осадками и соответствующие рынки существенно различаются по региональным сегментам, хотя общим трендом для многих развитых стран является сокращение доли депонирования и использования в качестве удобрения [28].

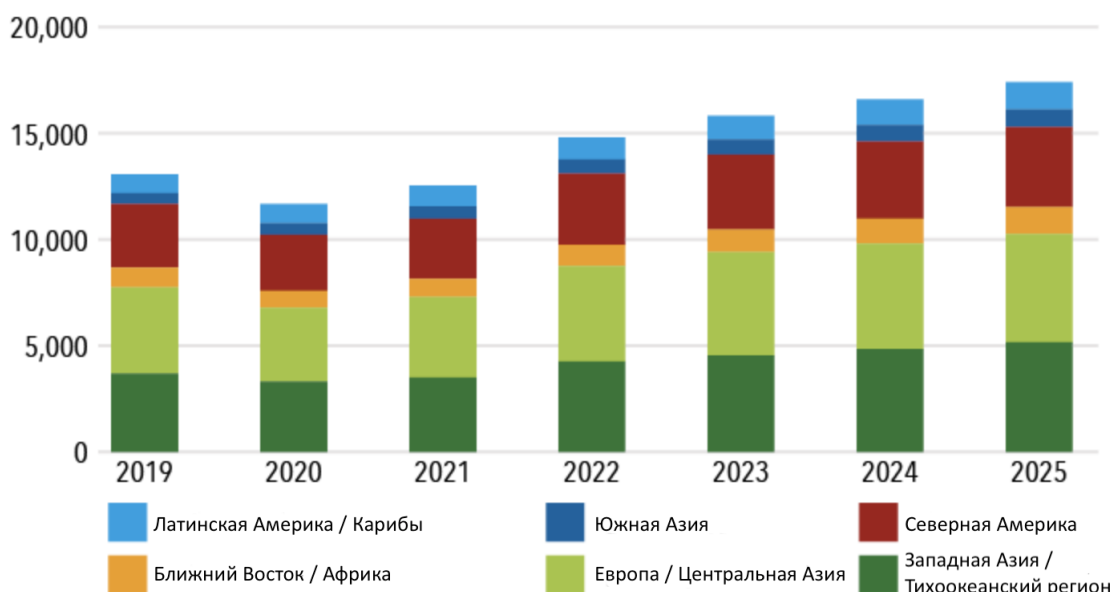


Рисунок 2.6.1 – Стоимостная оценка мирового рынка утилизации и обезвреживания иловых осадков сточных вод, млн долл.

Источник: [28]

Европа является крупнейшим рынком, доля которого в общемировом оценивается в 31% стоимости [28]. При этом общераспространенной практикой здесь является применение анаэробного сбраживания с ростом числа коммунальных предприятий, использующих биогаз для снижения затрат на электроэнергию. Общей тенденцией для ЕС является снижение

объемов депонирования иловых осадков, что связано с директивой по обращению с отходами, согласно которой к 2030 г. не более 10% муниципальных отходов может размещаться на полигонах [28], хотя остаются страны, где на 2019 г. эта доля достигает 100% (рис. 2.6.2). Одновременно с этим потенциалом роста обладает именно сжигание в связи с трендом и соответствующей политикой государств по извлечению фосфора из получаемой в результате применения термических методов золы [28]. Однако по некоторым оценкам сжигание является одним из самых дорогих способов обезвреживания и утилизации иловых осадков (450-800 евро на тонну сухого вещества [29]).

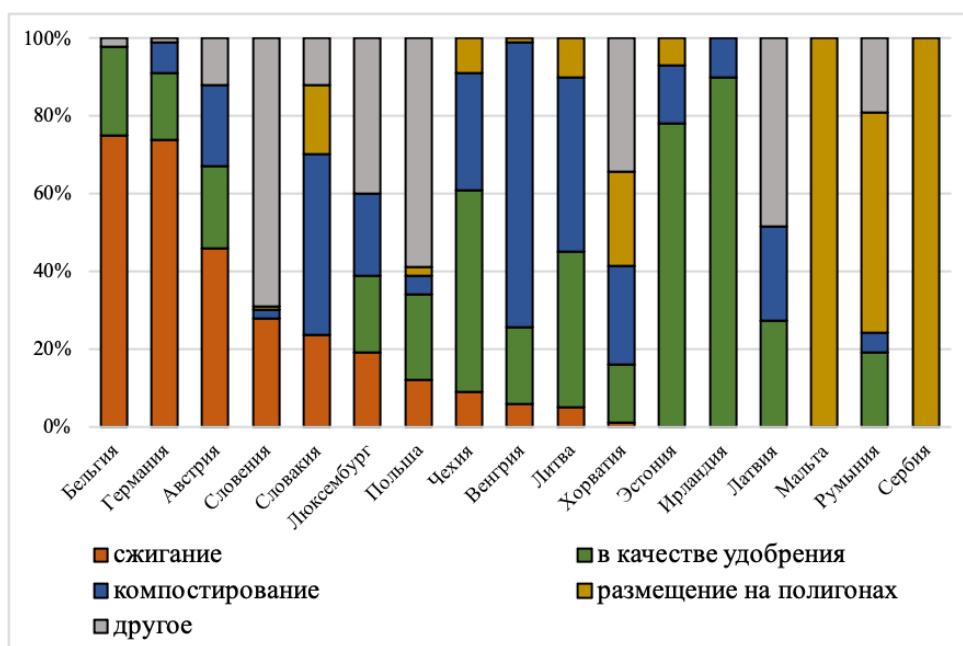


Рисунок 2.6.2 – Структура утилизации и обезвреживания иловых осадков коммунальных сточных вод в некоторых странах Европы в 2019 г. по способам, %

Источник: составлено на основе [14]

Схожие с Европой процессы характерны для США, где рынок твердых отходов биологического происхождения регулируется законодательными ограничениями по депонированию и правилами землепользования, сопряженными с дополнительными затратами для коммунальных предприятий, а использование иловых осадков в качестве удобрений усложняется за счет требований к их составу, что стимулирует применение других способов утилизации. Азиатский рынок в этой сфере скорее находится на начальной стадии своего развития, что создает высокий потенциал для компаний, предлагающих технологические решения, особенно в Индии и Китае [28]. Притом в последнем в 2019 г. около 27% отходов утилизировалось сжиганием, 20% – размещением на полигонах и 29% – внесением в землю, 24% – использованием в качестве строительных материалов и др. [30]. И в то же время сжигание внесло наибольший вклад в эмиссию парниковых газов: 45%

от общего объема выбросов при утилизации иловых осадков [30]. На Ближнем Востоке и в Африке переработка иловых осадков сточных вод на текущий момент почти не получила развитие и может рассматриваться только в долгосрочном контексте.

Таким образом, экспортный потенциал термокаталитического окисления может быть связан с рынками европейских стран, США и некоторых стран Азии, где наблюдаются тенденции на сокращение депонирования при перспективе роста более экологичного сжигания с получением энергии и выделением фосфора. Это, однако, является предварительной оценкой и требует проведения отдельного более полного исследования и большей степени готовности технологического предложения, а также подтверждения заявленных разработчиком характеристик оборудования, особенно в части соблюдения европейских экологических стандартов, возможности использования тепловой энергии и проведения процесса в автотермическом режиме, и меньшей величины капитальных затрат. Указанные факторы, помимо традиционных, могут оказаться ключевыми в части конкурентоспособности технологического предложения (табл. 2.6.2).

Таблица 2.6.1 – Оценка методов переработки иловых осадков сточных вод

Метод	Анаэробное сбраживание	Сжигание	Пиролиз	Газификация
Технологическая адаптируемость к сырому и сброженному осадку	++	+	+++	+
Защищенность и устойчивость экосистем	++	++	+++	+++
Экономическая масштабируемость	+++	++	+	++
Энергоэффективность	+++	++	+++	+++
Технологическая зрелость / промышленная масштабируемость	+++	+++	+	+

Шкала взвешенных индикаторов: +++ – высокое положительное значение, ++ – среднее положительное, + – низкое положительное.

Источник: [31]

Таким образом, технологическое предложение имеет высокие уровни технологической и производственной готовности (TRL 7, MRL 7) при значительных научно-техническом и методическом заделах с признанием

результатов интеллектуальной деятельности. На текущий момент установки термокаталитического сжигания иловых осадков сточных вод эксплуатируются АО «ОмскВодоканал» с мощностью 52,6 тыс. т в год, что покрывает около 52% рынка переработки коммунальных иловых осадков г. Омска и эквивалентно капитальным затратам в размере 328 млн руб. При этом существует значительный потенциал роста при условии подтверждения эколого-экономической и технологической эффективности, соответствующих характеристик технологии, а также повышения конкурентоспособности анализируемого технологического оборудования и расширении производственных мощностей. В частности, потенциальная емкость рынка по переработке иловых осадков оценивается в 27,4-34,2 млрд руб. ежегодно. Конкурентные позиции технологического предложения оцениваются как средние с потенциалом роста до высоких при завершении опытно-промышленных испытаний и исключении ряда рисков, в первую очередь связанных с эмиссией суперэкоотоксикантов, что позволит получить преимущество в части экологичности переработки отходов относительно традиционного сжигания, а также с удорожанием при необходимости использования дополнительного топлива.

2.7 Комплексная переработка отвалов рудообогатительных фабрик

Технология комплексной переработки отвалов рудообогатительных фабрик (Integrated processing of waste dumps from ore-dressing plants) заключается во вторичном сухом обогащении техногенных отходов, накопленных в отвалах, с целью получения трех видов сырьевых материалов: металлосодержащий промпродукт, силикатная (песчаная) фракция и шламистая часть (алюмосиликатное сырье для керамики).

Технологический способ и аппаратное обеспечение подготовки сырья для обогащения включает применение мельницы-сушилки, в которой реализуются одновременно три процесса. Материал, прошедший предварительное усреднение на приемном складе-запаснике, подается в установку для сушки, селективного помола и классификации готового продукта. Так как материалы, подаваемые в установку, имеют естественную (карьерную) влажность, то на их сушку подается от отопительного агрегата тепловая энергия, параметры которой определяются свойствами обрабатываемого материала и производительностью установки. Результатом технологического процесса является получение сухих дисперсных материалов, которые являются или концентратами, пригодными для использования без дополнительной переработки, или полупромышленными продуктами, готовыми для переработки в существующих технологических процессах. Материал подвергается селективному помолу на роторной мельнице, одновременно сушится и транспортируется рабочим телом, которым являются отработанные дымовые газы отопительного агрегата,

разделяется на классы крупности на пневмосепараторах, а по магнитным и электрическим свойствам на соответствующих магнитных и электростатических сепараторах.

Предлагаемая технологическая схема предполагает полную утилизацию текущих хвостов (рис. 2.7.1).

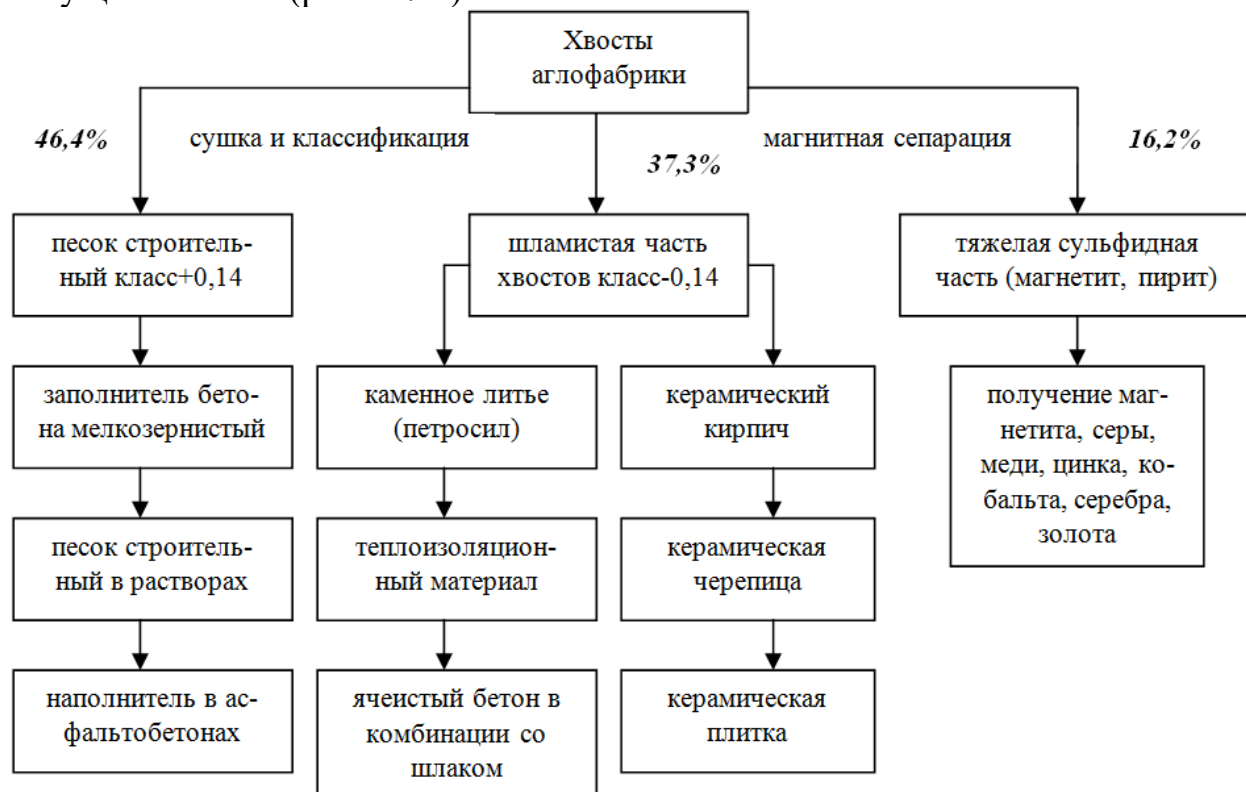


Рисунок 2.7.1 – Общая технологическая схема комплексной переработки и утилизации хвостов

Источник: [1]

Если кратко изложить предлагаемые в рамках технологии процессы, то технологическая схема включает три стадии.

1. Снижение влажности и усреднение отходов, которое может производиться как в процессе добычи, так и непосредственно при организации запасника с использованием загрузочных и разгрузочных комплексов.

2. Частичное выделение тяжелой сульфидной части (магнетит) с помощью магнитной сепарации.

3. Сушка и разделение хвостов на классы с целью получения песка и сырья для производства кирпича на основе электросепарации, что также позволит дополнительно извлечь магнетит и пирит из тонких классов хвостов.

Технологическая линия для сушки, помола и сухого обогащения отходов обогащения железных руд состоит как из стандартного оборудования, серийно выпускаемого (питатели, дозаторы, теплогенератор, рукавные фильтры, вентиляторы, дымососы), так и нестандартного оборудования – измельчительно-сушильной установки. Характеристики технологической линии приведены в табл. 2.7.1.

Таблица 2.7.1 – Характеристики производственной линии для сушки, помола и сухого обогащения отходов обогащения железных руд

№	Наименование характеристики	Значение
1	Производительность линии	15-20 т/час
2	Температура теплоносителя, подаваемого на сушку сырья	150-200 °С
3	Установленная мощность агрегатов (суммарная)	92,57 кВт
4	Расход теплоносителя (max)	39900 м ³ /час
5	Исходная влажность перерабатываемого продукта	до 18%
6	Конечная влажность продукта	5-10%
7	Максимальная крупность частиц перерабатываемого сырья	10-15 мм
8.	Фракционный состав переработанного продукта: 1-я ступень 2-я ступень рукавный фильтр	-0,315+0,15 мм -0,25+0,06 мм -0,063 + 0 мм
9	Габаритные размеры линии: длина ширина высота	11920 мм 2350 мм 9453мм
10	Масса	20000 кг

В качестве нестандартного оборудования выступает разработанная в Институте теплофизики СО РАН мельница-сушилка (Патент РФ № 2619905). Срок действия патента истекает в 2036 г. Поскольку технологическое решение строится вокруг указанного нестандартного оборудование, наличие исключительных прав на него ограничивает возможности копирования технологии. Кроме того необходимость проведения анализа состава отвалов также снижает возможность копирования производителями оборудования для технологических линий, поскольку данную работу в основном выполняют научно-исследовательские учреждения. В результате ИТ СО РАН имеет конкурентное преимущество, совмещая инжиниринг и наличие исключительных прав на оборудование. Отметим, что для более точного установления уровня конкурентоспособности предлагаемой технологии требуется подтверждение ее производственных, экономических и экологических преимуществ, заявленных разработчиками, по сравнению с аналогичными решениями, предложенных другими разработчиками.

Стоимость производства мельницы-сушилки без системы автоматизации и управления, но с пылеочистными устройствами (рукавный фильтр) составляет 30 млн рублей. Обозначенная разработчиками общая стоимость технологического комплекса по сушке, помолу и вторичному обогащению хвостов для получения концентратов и промпродуктов составляет 58 млн руб. без учета создания сопутствующей инфраструктуры и закупки техники. Разработанная ИТ СО РАН мельница-сушилка обладает некоторыми преимуществами по сравнению с аналогами [2; 3] (табл. 2.7.2).

Таблица 2.7.2 – Технические характеристики мельниц-сушилок

Показатели	Мельницы-сушилки			
	"Novotor", ФРГ	"Finpulva" Финляндия	MF 2012 США	Измельчительно- сушильная установка
Назначение	Помол минерального сырья (глин) с одновременной сушкой			Помол, сушка, классификация
Производительность, тн/час	10	0,3	1,5-2	10-15
Мощность главного привода, кВт	400	350	60	105
Влажность, % -поступающего сырья -готового продукта	20 3-4	15 3-4	15 1-2	20 1-2
Размер частиц, мм -поступающего сырья -готового продукта	3 0,009-0,02	50 0,006	5 0,015-0,02	10-15 0,020-0,5
Расход тепла на сушку, кДж/кг влаги	4100	3600	3900	3300

Для каждого вновь рассматриваемого объекта необходимо проводить технологические исследования в силу различных свойств техногенных отходов, которые находятся в отвалах, шламохранилищах и т.д. Как заявлено разработчиками технологии, в целом технологическая линия не изменяется и является унифицированной. Однако требуется проведение исследований состава отвалов, корректировка и разработка комплекта технической документации и технологической карты процесса применительно к материалу конкретного объекта с возможным изменением состава оборудования перерабатывающего комплекса, что в условиях высокой унифицированности технологической линии можно обозначить как основной элемент наукоёмкости рассматриваемой технологии. Другими словами при наличии унифицированной линии с возможностью замены определенных блоков в ней, каждый объект требует проведения инжиниринговых работ, результатом которых является составление проекта на локальную отработку хвостохранилища обогатительной фабрики. Обозначенная разработчиками стоимость таких работ составляет 3,2 млн руб. В случае же включения в процесс оформление горного и земельного отводов и другой разрешительной документации стоимость составит 6,6 млн руб.

Характеристика технологического процесса (Приложение А.7, [1-4])

Перерабатываемые отходы: отходы обогащения железных руд в отвалах. Химический состав тонкодисперсной породы (54,5% класса -0,14 мм): гранаты, амфиболы, пироксены, карбонаты, хлорит с примесью сульфидов железа. В общей массе отходов кроме тонкодисперсной «пустой» породы содержатся золото, серебро и железо.

Возможное тиражирование: обогатительные фабрики, обогащение коалина, вермикулитовой руды, баритового концентрата; применение в пищевой промышленности для сушки и шелушения.

Применяется технология сухого обогащения на основе гравитационного разделения, магнитной и электромагнитной сепарации.

Характеристики технологического оборудования:

- производительность: 150 тыс. т. в год перерабатываемых отходов;
- электроэнергия: около 13 кВт/т.;
- условное топливо: 7,5 кг/т. (при сушке отходов).

Результат переработки: разделение техногенного сырья по фракциям:

- 1) металлосодержащие (тяжелые) промпродукты с дальнейшей переработкой в концентраты;
- 2) силикатная (песчаная) фракция для отрасли строительных материалов;
- 3) шламистая часть отходов для производства стеновых и строительных керамических материалов, в перспективе при разработке технологии для производства цемента и бетона.

В настоящее время самым распространенным методом является непосредственное использование хвостов в качестве материала для строительства дорог, компонента шихты для керамических строительных изделий, наполнителей бетонов, компонента для кладочных материалов и т. д. Но годовые потребности всех этих производств невелики, поэтому такие объёмы не вызывают сложностей в технологии добычи. Более перспективным направлением использования хвостов обогащения является их переработка для извлечения компонентов основного производства или попутных компонентов. Это связано с рядом причин, среди которых можно выделить две основные. Первая заключается в том, что уровень развития технологий, применяемых в прошлом, не позволял извлекать из руды часть полезного компонента и оставшиеся после обогащения компоненты складировались в хвостохранилища в общей массе отходов. В результате в отвалах накопились существенные запасы техногенного сырья, извлечение которого позволит частично заменить исходное сырье в виде руды. Ухудшение качества природного минерального сырья и условий добычи полезных ископаемых, исчерпание разрабатываемых месторождений ведет к тому, что качество природных минеральных ресурсов становится сравнимым с качеством накопленного техногенного сырья [5].

Второй немаловажной причиной переработки отвалов является снижение негативного воздействия на окружающую среду. Основной составляющей негативного воздействия отвалов на окружающую среду является пыление при неблагоприятных метеорологических условиях. Неорганическая пыль оказывает существенное влияние на химический состав атмосферы и метеорных вод. В результате разноса ветром она также попадает на растения. При повышенной запыленности воздуха засоряются устьица растений, что ведет к ухудшению газообмена (поглощению и выделению CO_2 и O_2). Щелочные растворы, образующиеся при взаимодействии пыли с осадками, вызывают ожоги и некрозы растений и приводят, в конечном счете, к их деградации [6]. Выпадая с осадками, пыль с отвалов обогащения приводит к формированию в почвенном покрове вторичного загрязнения. Железородная

пыль отрицательно влияет на продуктивность сельхозугодий, из-за попадания в почву различных металлов. Еще одним каналом загрязнения окружающей среды, в первую очередь почвы, грунта и подземных вод, является фильтрат, который образуется при вымывании различных веществ из отвалов водой атмосферных осадков. При этом наибольшее негативное воздействие оказывают отвалы обогащения, поскольку в результате флотации происходит наибольшее загрязнение шламов и хвостов разнообразными химическими веществами [7].

В развитых странах процесс переработки металлургических отходов является промышленно освоенным. В настоящее время разработаны различные технологии комплексной переработки, часть из них реализована в промышленном масштабе за рубежом. В России такие технологии разрабатываются на уровне исследовательских работ и полупромышленных испытаний. Разработана технология использования шламов доменного, мартеновского, конвертерного и частично электросталеплавильного производств на Челябинском металлургическом комбинате (ЧМК). Институтом «Уралмеханобр» совместно с Карагандинским металлургическим комбинатом разработана технология утилизации железосодержащих шламов в аглопроизводстве. Важным условием является то, что способ переработки отходов следует выбирать для каждого металлургического производства в соответствии с характеристиками образующихся отходов [8].

Среди российских разработок в направлении переработки отвалов обогатительных фабрик можно рассмотреть две технологии. В первую очередь в связи с высокой степенью готовности следует выделить технологию обогащения техногенных железосодержащих отходов (Горный институт НИТУ «МИСиС» – Госконтракт № 14.578.21.0049). Утилизацию железосодержащих отходов в печи Ромелт рассматривалась на примере вероятной переработки хвостов Верхне-Чурбашского хвостохранилища и отвала Камыш-Бурунского железорудного комбината республики Крым. В минеральном составе пробы отвала преобладают рудные минералы, представленные оолитами, мелкокристаллическим и тонкодисперсным гидрогетитом. В меньших количествах присутствуют железосодержащий хлорит, а также кварц и полевые шпаты. В составе данной пробы отмечается достаточно высокое количество фосфорсодержащих фаз (апатит, фосфаты РЗЭ). Микрозондовым анализом установлено, что помимо самостоятельных минералов фосфор входит в состав гидрогетита. Обогащение проводилось магнитной сепарацией (рис. 2.7.2).

Представленная технология позволяет с подшихтовкой богатого высокофосфористого железосодержащего материала отвала получать исходную техногенную железную руду с содержанием железа более 40 %, что является критерием экономически целесообразной металлургической переработки по технологии Ромелт и детоксикации образующихся отходов, ликвидных в промышленных отраслях.

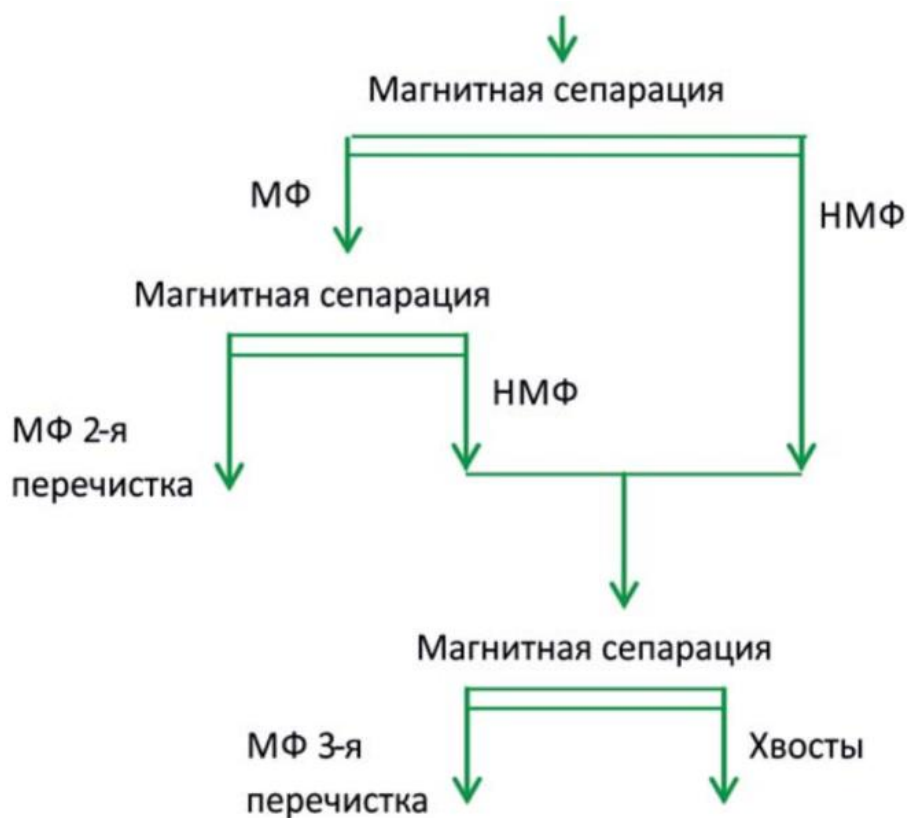


Рисунок 2.7.2 – Принципиальная технологическая схема магнитного обогащения при утилизации железосодержащих отходов в печи Ромелт (МФ – магнитная фракция; НМФ – немагнитная фракция) – Горный институт НИТУ «МИСиС»
Источник: [9]

По шкале уровня технологической готовности, разработку МИСиС можно отнести к TRL8 «Верификация технологии», по шкале уровней производственной готовности к MRL8 «Испытана пилотная производственная линия». Отметим, что авторами технологии не указано на ее комплексность, что снижает экономическую ее привлекательность по сравнению с комплексной технологией переработки и обогащения техногенного сырья отвалов. Кроме того, данная технология переработки привязана к технологии внедоменного производства чугуна Ромелт, что без проведения дополнительных исследований ограничивает ее тиражирование. Важным преимуществом технологии является возможность ее применения для переработки бедных железных руд вне крупных металлургических комбинатов.

Второй технологией является технология переработки и использования отходов обогащения железной руды как вторичного минерального ресурса для стройиндустрии (Сибирский государственный индустриальный университет – СибГИУ). На основе анализа отвала Абагурской обогатительной фабрики выделены три части: глинистая, хвосты, железо хвостов, которое отбиралось с помощью магнита. Основными минералами, составляющие отходы

обогащения железных руд, являются хлориды, полевые шпаты, биотит, кальцит, магнетит, небольшое количество смешанослоистых глинистых минералов. Для извлечения железа применялась магнитная сепарация. Минеральные породы после измельчения и многократного отмагничивания (до 5 стадий) гидротранспортом под давлением подаются в систему, установленную по периметру отвала, и выбрасываются через специальные выпуски. Образующийся шлам был применен в качестве добавки к керамической шихте и как опудриватель при производстве керамзита. Рудные хвосты, имея дисперсный состав, могут применяться как мелкий заполнитель. Мелкая фракция отходов после доизвлечения железа может использоваться для получения плотных автоклавных и безавтоклавных бетонов, в качестве отощающей добавки для получения керамического кирпича и компонента для силикатных изделий [10]. По шкале уровня готовности технологии, разработку СибГИУ можно отнести к TRL3 «Аналитическая апробация концепции», по шкале уровней производственной готовности к MRL1 «Формирование базовых вводных производства». Недостатком технологии можно назвать отсутствие проработанной методики обогащения металлической части и зависимость от времени года в связи с гидратацией (низкая эффективность в зимний период, в условиях Севера).

Уровни готовности технологического предложения

TRL 3. Согласно информации, предоставленной в заявке разработчиком, в Институте теплофизики СО РАН в течение нескольких лет проводились исследования по переработке отходов угольных и железорудных обогатительных предприятий. Результатом этих исследований стала разработка технологии сухого обогащения различных видов минерального и техногенного сырья и ее аппаратного обеспечения (Приложение А.7). Основным внедряемым нестандартным компонентом предлагаемой технологии выступает мельница-сушилка, в результате разработки которой ИТ СО РАН получен Патент РФ № 2619905. Остальное оборудование является стандартным, серийно выпускаемым. Что касается технологии в целом, представленной в заявке, то на текущем этапе предложена технологическая схема комплексной переработки отвалов рудообогатительной фабрики с обогащением полезного компонента, что требует перехода к следующему этапу в виде проведения апробации в лабораторных и промышленных условиях. Описание технологии и технологическая схема, возможности применения схемы сухого обогащения для переработки железорудных отходов Кузбасса приведены в [1].

MRL 1. На текущем этапе предложена технологическая схема, определено требуемое оборудование в соответствии с требованиями сырья для производства и предполагаемым продуктом. Поскольку технология еще не прошла апробации в промышленных условиях, пока отсутствует возможность определения производственной концепции и проектирования производственной линии.

CRL 1. Определен потенциальный заказчик в лице ЕВРАЗ, имеющий потребность в переработке отвалов Мундыбашской обогатительной и Абагурской агломерационно-обогатительной фабрик. Определены основные качественные показатели требуемой технологии. На текущем этапе проходит оценка потенциального объема рынка. Для следующего этапа, а именно определения целевых потребительских сегментов и оценки общих объемов целевого рынка (CRL 2), требуется уточнение ряда положений по разрабатываемой технологии, в частности в результате проведения промышленных испытаний, например, подтверждение предполагаемых преимуществ внедрения предполагаемой технологической линии, базирующейся на сухом методе обогащения.

Преимуществами предлагаемого проекта по сравнению с рассмотренными альтернативными технологиями выступают [1]:

1. Снижение себестоимости переработки отходов за счет отказа от использования воды и флотореагентов (удешевление процесса обогащения на 20-30% по сравнению с мокрым способом). Отпадают капитальные и эксплуатационные расходы на все водо-насосное хозяйство (нет насосов, сгустителей, фильтрации, хвостохранилища с дамбой, водоводами и т.п.), нет флотореагентов и всего, что с ними связано, нет сушки концентрата.

2. Разделение отходов на классы, что позволяет использовать для получения железосодержащего концентрата сухую магнитную и электрическую сепарацию, выделить попутное сырье для реализации строительной отрасли.

Анализ вариантов решения проблемы переработки фабричных отходов показывает, что легкая фракция хвостов может стать дешевым сырьем для строительной индустрии при сухой технологии обогащения. Технология «мокрого» обогащения в качестве новых отходов будет сбрасывать в шламоотстойники именно силикатную часть хвостов, превращение которой в строительные материалы при их дисперсности и влажности становится невыгодным. Кроме того развитие и применение сухих способов обогащения хорошо подходит для районов крайнего севера, в котором применение водно-шламового хозяйства является затратным.

В условиях исключения затрат на использование воды и флотореагентов, а также требований подачи сухого сырья на оборудование сепарации основными статьями затрат становятся затраты на тепловую энергию (сушка) и электроэнергию. Поскольку все стадии разделения отходов собраны в один блок, снижаются затраты на транспортировку за счет исключения дополнительных механизмов перемещения и энергии на их работу.

Потенциал реализации технологии комплексной переработки отвалов представляется широким. Ежов А. И. отмечает, что Россия является импортозависимой по отдельным видам твердых полезных ископаемых, тогда как в отходах и отвалах отработанных и разрабатываемых месторождений сосредоточено большое количество запасов драгоценных, цветных, черных

металлов и редкоземельных элементов, что указывает на необходимость комплексной переработки отвалов рудообогатительных фабрик [11]. Ежегодно в России образуется свыше 5 млрд тонн отходов [12]. Основными отходообразующими отраслями в России являются: угольная промышленность (55-57% промышленных отходов, включая добычу, обогащение и агломерацию угля); черная металлургия (10-12%, включая добычу, обогащение и переработку железных руд); цветная металлургия (14-16 %, добыча урановой и ториевой руд – около 5%); добыча прочих полезных ископаемых – 8-10% [5]. Следовательно, в черной металлургии, включая добычу, обогащение и переработку железных руд, ежегодно образуется свыше 500 млн тонн отходов. Например, современный процесс выплавки 1 тонны чугуна сопровождается образованием в среднем 1,2 тонн отходов обогащения и 0,9 тонн золы [9]. Если учитывать, что в период 2010-2020 гг. в России в среднем ежегодно производился 51 млн тонн чугуна, то только доменное производство черной металлургии дало прирост отходов в результате обогащения в среднем на 61,2 млн тонн ежегодно. Отметим, что Государственным балансом запасов учтено 17 железорудных техногенных объектов [5]. В целом горно-обогатительные комбинаты черной металлургии России в 2016 г. эксплуатировали свыше 35 крупных хвостохранилищ, в которых уложено более 2,5 млрд м³ пустой породы (около 4,5 млрд тонн). Только на предприятиях Курской магнитной аномалии площадь непрерывных источников загрязнений в виде намывных и наливных хвостохранилищ превышает 5000 га. [13]

Быховский Л. З. и Спорыхина Л. В. отмечают, что содержание общего железа в хвостах магнитной сепарации колеблется от 6,31% до 27,63 %. Некоторые же виды металлургических отходов, согласно Волыхиной Е. П., не нуждаются даже в обогащении и могут быть приравнены к рудным концентратам [14]. Если даже взять нижнее значение в 6,31%, то объем получаемого сырья для черной металлургии при переработке отходов составит свыше 32 млн тонн в год, что составляет 10% от среднегодового объема добычи железной руды. В условиях истощения железорудной сырьевой базы ряда регионов (например, Кузбасса, Урала), низкого значения собственного сырьевого обеспечения (например, ЕВРАЗ, Мечел, ММК), высокого уровня и нестабильного значения мировых цен на железную руду, получение сырья путем обогащения отвалов может стать существенным подспорьем для ряда производств.

Разработчиками предлагаемой технологии сухого обогащения отвалов рудообогатительных фабрик отмечается, что для каждого вновь рассматриваемого объекта (хвосты обогащения железных руд) необходимо проводить технологические исследования в силу различных свойств техногенных отходов, которые находятся в отвалах, шламохранилищах и т.д. Может оказаться, что на различных объектах потребуется оснащение технологического комплекса различным оборудованием, что требует изменение оснащения цепочки технологического процесса. Поскольку данный

проект разрабатывается на базе Мундыбашской обогатительной и Абагурской агломерационно-обогатительной фабрик Кемеровской области, входящих в состав Евразруды, и, основываясь на особенностях отвалов конкретных рудообогатительных фабрик, на текущий момент перспективы внедрения технологии могут быть рассмотрены на основе указанных фабрик.

В процессе эксплуатации отходов Мундыбашской обогатительной и Абагурской агломерационно-обогатительной фабрик Кемеровской области в хвостохранилищах накоплено более 130 млн тонн лежалых железорудных хвостов. С учетом производительности разрабатываемой установки в объеме 150 тыс. тонн отходов в год, целесообразно внедрять комплекс установок, что обеспечит переработку отвалов Мундыбашской обогатительной фабрики и снизит уровень ежегодного складирования отходом в хвостохранилищах Абагурской агломерационно-обогатительной фабрики.

Разработчиком технологии задан срок переработки отвалов 20-25 лет. Если внедрять комплекс установок на хвостохранилище №1 Мундыбашской обогатительной фабрики, объем отходов в котором составляет 45 млн тонн, то для переработки за 25 лет необходимо внедрение 12 установок. Учитывая, что по Налоговому кодексу РФ данный тип оборудования относится к третьей амортизационной группе со сроком полезного использования 3-5 лет [15] (подгруппа «Машины и оборудование», код ОКОФ 330.28.92.40.110 «Машины для сортировки, грохочения, сепарации или промывки грунта, камня, руды и прочих минеральных веществ» [16]), то при сроке полезного использования 5 лет достаточно внедрение 2-3 установок в год (2 года по 3 установки и 3 года по 2 установки), общей стоимостью 60 млн рублей в год при внедрении 2 установок и 90 млн рублей в год при внедрении 3 установок. В случае реализации такой схемы за 5 лет будет внедрено требуемое количество установок, а на 6 год начнется обновление устаревших основных средств. Это позволит получить 7,29 млн тонн полезного компонента или 291,6 тыс. тонн в год.

В случае подтверждения заявленных разработчиками преимуществ технологии, а именно комплексность переработки отвалов рудообогатительных фабрик, снижение затрат за счет сухой сепарации, что обеспечивает экономическую целесообразность применения данной технологии, возможно рассмотреть вариант внедрения комплекса установок для переработки в целом отвалов Мундыбашской обогатительной и Абагурской агломерационно-обогатительной фабрик. В таком случае без учета вновь образующихся отходов на Абагурской фабрике, что требует дополнительного уточнения, для переработки 130 млн тонн с учетом производительности предлагаемых установок необходимо внедрение 35 установок для полной переработки отвалов за 25 лет. С учетом полезного срока использования в 5 лет необходимо внедрение в год 7 установок общей стоимостью 210 млн рублей. В случае реализации такой схемы за 5 лет будет внедрено требуемое количество установок, а на 6 год начнется обновление

устаревших основных средств. Это позволит получить 21,06 млн тонн полезного компонента или 842,4 тыс. тонн в год.

С учетом недозагруженности металлургических комбинатов Евраза собственным сырьем реализация технологии в комплексе позволит дополнительно поставлять железорудный концентрат, что также повышает привлекательность указанной технологии для потенциальных заказчиков в лице металлургических комбинатов. Кроме того возникнут дополнительные репутационные выгоды, связанные с переработкой отходов, а именно с тем, что предприятие будет выполнять часть требований устойчивого развития и повести ESG. Что касается иных заказчиков, то в первую очередь необходимо ориентироваться на предприятия, не имеющие самообеспеченности собственным производственным сырьем, а именно железорудным концентратом. Среди таких, например, Мечел и Магнитогорский металлургический комбинат.

В целом же при внедрении технологии для переработки накопленных отходов потенциальная емкость российского рынка может составить 7,2 млрд руб. в год с учетом поставок только нестандартного оборудования технологической цепи, сроком полезного использования оборудования 5 лет, заданным сроком переработки отвалов в течение 25 лет и без проведения инжиниринговых работ или 13,93 млрд руб. в год при полном строительстве технологического комплекса по сушке, помолу и вторичному обогащению хвостов для получения концентратов и промпродуктов. Стоимость проведения инжиниринговых работ на хвостохранилищах горно-обогатительных комбинатов составляет 112 млн руб. без оформления горного и земельного отводов и другой разрешительной документации или 231 млн руб. с учетом таких работ.

В случае внедрения предлагаемой технологии в качестве одной из стадий производственного процесса на предприятиях черной металлургии, что позволит перерабатывать отходы в процессе их образования, потенциальная емкость российского рынка составит 20 млрд руб. с учетом поставок только нестандартного оборудования технологической цепи, сроком полезного использования оборудования 5 лет и без проведения инжиниринговых работ или 38,7 млрд руб. в год при полном строительстве технологического комплекса по сушке, помолу и вторичному обогащению хвостов для получения концентратов и промпродуктов.

Перспективы продвижения разрабатываемой технологии внутри России в первую очередь связаны с преимуществами сухого метода обогащения отвалов рудообогатительных фабрик, а также с возможностью комплексной переработки таких отвалов в случае подтверждения наличия этих преимуществ у заявляемой технологии, а также ее экологичности. Привлекательность комплексной переработки заключается в снижении затрат, связанном с использованием отходов для замены первичных минеральных ресурсов, исключения складирования хвостов и содержания отвалов, предотвращением опасного воздействия на окружающую среду и

необходимости проведения мероприятий по борьбе с таким воздействием [17]. Ограничением выступает необходимость дополнительных вложений, связанных с изучением строения отвалов на конкретных объектах, а также с проработкой технического задания и возможного изменения состава оборудования.

Для продвижения технологии на мировой рынок в случае успешной реализации проекта возможно предложение распространения технологии силами АО «ВО «Тяжпромэкспорт». При этом основными рынками могут выступить развивающиеся страны, в первую очередь страны Африки, Южной Америки и Азиатско-Тихоокеанского региона. Продвижение на рынки развитых стран сомнительно в связи с распространением технологий переработки отвалов их собственных разработок. В США и странах Западной Европы горнопромышленные отходы используются в производстве на 85-90% [5].

Таким образом, предлагаемая технология комплексной переработки отвалов рудообогатительных фабрик, разрабатываемая на базе Мундыбашской обогатительной и Абагурской агломерационно-обогатительной фабрик Кемеровской области, находится на стадии TRL3 «Аналитическая апробация концепции». Дальнейшим шагом является ее внедрение на базе хвостохранилища №1 Мундыбашской обогатительной фабрики, что позволит испытать ее в реальных условиях, осуществить требуемые доработки технологии и подготовить к производственному процессу. Стоимость внедрения на данном хвостохранилище с учетом заявленного срока переработки отходов 25 лет и амортизацией составит 60-90 млн рублей в год. Поскольку технология разрабатывается на базе отвалов предприятия Евразруда, в первую очередь внедрение осуществимо на мощностях указанного предприятия. Тиражирование технологии в целом на отвалы Мундыбашской обогатительной и Абагурской агломерационно-обогатительной фабрик потребует вложений в размере 210 млн рублей в год. В случае подтверждения преимуществ предлагаемой технологии и экономии затрат, заявленных разработчиками, с учетом накопленных запасов техногенного сырья в хвостохранилищах обогатительных фабрик существует более широкий потенциал ее тиражирования. В первую очередь необходимо обратить внимание на предприятия, имеющие недостаток собственного железорудного сырья для металлургического производства, поскольку предлагаемая технология позволяет получить заменитель исходного сырья для производства. При этом требуется учитывать различную структуру отвалов фабрик, что определяет и одно из направлений технологических исследований, а именно уточнение возможности тиражирования технологий на отвалы с разной структурой содержащихся в них элементов с минимальным изменением технической документации и уровнем издержек адаптации к иному строению отвалов.

2.8 Плазменная газификация RDF

Технологический проект плазменной газификации RDF (Plasma Gasification of MSW) предполагает внедрение оригинальной разработки реактора-газификатора с плазматроном в технологическую схему завода плазменной газификации. В целом схема состоит из узлов приема и хранения ТКО, системы подготовки и подачи сырья (готовые системы), реактора-газификатора с плазматроном (разрабатываемое оборудование), системы очистки и охлаждения полученного синтез-газа (готовые системы – стандартное химическое оборудование). В качестве дополнения может быть добавлен энергетический блок для получения электрической и тепловой энергии (готовые системы – стандартное энергетическое оборудование). На установке предусмотрена одновременная работа трёх генераторов плазмы. Используются трехфазные высоковольтные генераторы плазмы со стержневыми электродами. В качестве плазмообразующих сред могут использоваться воздух, водяной пар, углекислый газ.

В процессе газификации органическая составляющая отходов подвергается частичному окислению воздушной плазмой. При этом образуются водород, водяной пар, монооксид и диоксид углерода, метан и другие углеводороды. Большая часть углеводородов разлагается в высокотемпературной зоне. Углекислый газ, водяной пар и твердые продукты полукоксования участвуют в восстановительных реакциях в зоне восстановления. Пройдя эти стадии газы удаляются из реакционной камеры. Выходящий из реактора газ представляет собой влажный синтез-газ. Далее этот газ направляется в систему очистки и в энергетический узел при его наличии. Минеральная составляющая отходов образует зольный остаток или шлак.

Характеристика технологического процесса (Приложение А.8, [1-2])

Перерабатываемые отходы – широкий спектр сырья, доступного для переработки: твердые коммунальные отходы (ТКО); отходы древесины; отходы сельского хозяйства; осадки сточных вод; отработанные автомобильные покрышки и резинотехнические изделия; отходы пластмасс; каменный уголь, бурый уголь, торф, лигнит, сланцы; нефтешламы; битуминозные пески; частично промышленные органические отходы 1-3 классов. Непосредственно в процессе газификации предполагается применение любых твердых органических отходов с примесью минеральной компоненты, подготовленной в виде RDF (Refuse Derived Fuel – топливо полученное из отходов). Опасные медицинские и промышленные отходы. RDF можно использовать в качестве основного или дополнительного топлива в печах цементных заводов, ТЭЦ, металлургических печах.

Из твёрдых коммунальных отходов отбираются минеральные включения и вторсырьё. Отходы измельчаются, подсушиваются и гранулируются. Гранулированные отходы загружаются в плазменный

газогенератор. Осуществляется подбор температурного режима в зависимости от состава RDF путем изменения тока в плазматроне. Выпускаются расплавленный шлак и металлы через летку на дне газогенератора. Далее происходит вывод синтез-газа в верхней части реактора, его охлаждение (часто, за счет впрыска воды), очистка.

Типовой мощный дуговой плазматрон (основной элемент плазменного газогенератора) имеет следующие параметры: мощность – 2 МВт, ток дуги – 600-1000 А, напряжение – 2-3 кВ, расход газа – 0,2 кг/с. Срок службы сменных электродов от 100 до 300 часов.

Для газификации 1 кг ТКО требуются затраты электроэнергии в диапазоне 0,2 – 0,5 кВт·ч в зависимости от состава отходов и режима газификации. Для несортированных отходов с большим содержанием минеральной части эта цифра может достигать 1 кВт·ч.

Срок службы сменных электродов в рамках предлагаемой технологии более 2000 часов. Производительность комплекса составляет 50-75 тыс. тонн отходов в год.

В результате вырабатывается газообразное топливо, оценка диапазона удельной теплоты сгорания топлива: 5-8 МДж/Нм³ (20000 кДж/кг). Производство RDF из ТКО с целью последующего сжигания или газификации – 5 тыс. т в год. Получение синтез-газа для энергетики в парогазовом цикле, обеспечивающем высокий КПД получения электрической энергии. Из 1 кг отходов можно получить 0,6-1,2 кг синтез-газа с теплотворной способностью 3200-3500 ккал/кг (13-15 МДж/кг). При воздушно-плазменной газификации ТКО может быть получен высококалорийный синтез-газ с концентрацией 82,4%, а при паро-плазменной газификации – с концентрацией 94,5%.

Побочные продукты: лом черных и цветных металлов, бой стекла; отсеб песка, камней и т.п.; остеклованный шлак.

При наличии энергетического блока:

- электрическая энергия – возможно потребление для собственных нужд завода, реализация на рынке;

- тепловая энергия – возможно потребление для собственных нужд завода, реализация на рынке.

Возможно производство жидких углеводородов или водорода.

Выделяются 4 основных способа обращения с отходами – захоронение на полигонах, переработка во вторичное сырье (рециклинг), компостирование и термическое обезвреживание (преимущественно, сжигание). Все они могут рассматриваться в качестве альтернативных технологий. Однако не любым способом можно перерабатывать любой тип отходов, поэтому требуется применение комплекса методов [2]. Поскольку в проекте задана технология, позволяющая перерабатывать твердые органические отходы с примесью минеральной компоненты, опасные медицинские и промышленные отходы с получением газообразного топлива (синтез-газ), то необходимо сузить как

рассматриваемые технологии, так и рынок до технологий газификации отходов плазменным методом.

Плазменные методы уже несколько десятков лет успешно используются в промышленности, в том числе для переработки опасных отходов. Среди зарубежных разработчиков можно назвать такие компании как Westinghouse, Europlasma, Tetronics, Phoenix Solutions Company, PyroGenesis, Air Products. Среди альтернативных плазменных методов можно выделить технологии плазмохимической ликвидации супертоксикантов (переработка жидких и диспергированных (пылевидных) твердых отходов), воздействия на слой токсичных отходов ударной плазменной струей, термического обезвреживания отходов в плотном фильтруемом слое (использование шахтной печи), технология плазменной газификации. Для переработки RDF наиболее близкими являются две последние. Остальные технологии более узкого использования, например, для обезвреживания опасных отходов.

В 1990-х годах в Швейцарии была разработана и внедрена в г. Муттенц установка высокотемпературного обезвреживания опасных отходов мощностью 1 т/ч с названием технологии «Плазмокс». Технология разработана Retech Inc. и передана MGC Plasma, Ltd [3]. Центральным элементом установки является центрифуга с установленной в ней плазменной горелкой постоянного тока мощностью 1,2 МВт, что позволяет нагревать материал и уничтожать токсичные органические вещества. Образующиеся газы через пережим, в котором устроена еще одна горячая зона с помощью второй плазменной горелки мощностью 0,3 МВт, поступают в окислительную камеру, в которой они находятся в течение 2 с при 1200 °С, что обеспечивает их вторичную переработку.

Технология и установка плазмохимического уничтожения ПХБ-содержащих конденсаторов (ПХБ – Полихлорированные бифенилы) предложена американской фирмой Retech Systems LLC. Разработана плазменно-дуговая центробежная установка Plasma Arc Centrifugal Treatment System, «РАСТ-8» (цифра 8 соответствует диаметру центрифуги в футах), в которой используется оригинальная система формирования факела плазмы с использованием водоохлаждаемых электродов. В первичной камере переработки измельченные ПХБ-содержащие конденсаторы подвергаются воздействию температуры 1300 °С. В результате происходит деструкция ПХБ (пиролиз и сжигание) и плавление неорганических компонентов отходов. Образуются газообразные отходы, направляемые на дальнейшую переработку, и шлак. Для равномерного прогрева и перемешивания отходов и шлакового расплава центрифуга вращается, что позволяет достигнуть высокую степень деструкции ПХБ и других токсичных отходов. Газообразные отходы поступают во вторичную камеру переработки, где выдерживаются при температуре 980 °С не менее 2 с при концентрации кислорода не менее 6 % [5].

Специалистами Института тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова и ООО «Плазмактор» в Республике Беларусь [6] разработана, изготовлена и

испытана плазменная камерная печь периодического действия мощностью до 50 кВт и производительностью 20-30 кг/ч. Печь предназначена для обезвреживания сравнительно небольших объемов медико-биологических отходов [7].

Плазменная установка переработки инфицированных медицинских отходов разработана и спроектирована специалистами ЗАО «Плазма Тест» и построена на территории Московской городской инфекционной клинической больницы № 1. Основу оборудования составляет двухкамерная кессонная металлургическая печь с ванной расплава шлака и металла и плазмотроном на боковой стенке, обеспечивающим температурный уровень от 2000 °С до 5000 °С. Максимальная проектная пропускная способность по отходам – 60 кг/ч (500 т в год). По причине ряда технических и экономических факторов данная установка не была введена в постоянную эксплуатацию [8].

Еще одной разработкой Института тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова совместно с другими организациями Республики Беларусь является шахтная печь для термической переработки твердых бытовых, промышленных и медико-биологических отходов с агрегатной нагрузкой до 200 кг/ч. Глубокое регенеративное использование теплоты отходящих газов, присущее противоточным шахтным печам пиролиза и газификации органических отходов, обеспечивает минимальные затраты дополнительной энергии на процесс. Однако при использовании противоточных печей (реакторов) проявляются и существенные недостатки. Пиролизные смолопродукты выносятся из печи восходящим (встречным) газовым потоком, загрязняя собой продуцируемый синтез-газ. Это ведет к необходимости тщательной многоступенчатой очистки синтез-газа, существенно усложняя процесс и увеличивая как стоимость оборудования, так и эксплуатационные расходы [9].

Прямоточный газогенератор разработан в Институте электрофизики и электроэнергетики РАН. Условная производительность установки составляет 50 кг/ч и зависит от типа отходов. Проведение процесса газификации при температуре более 1200 °С позволяет избежать появления в синтез-газе жидких фракций (смол). Высокая температура процесса обеспечивает разрушение токсичных органических составляющих отходов и при наличии в отходах хлорсодержащих примесей исключает синтез вторичных супертоксикантов [10]. За счет использования плазменно-дуговых источников энергии возникла возможность и целесообразность использования в качестве теплоносителя и реагента-окислителя водяного пара. Помимо существенного повышения теплоты сгорания синтез-газа, а, следовательно, общей энергетической эффективности процесса газификации, использование H_2O в качестве плазмообразующего газа исключает разбавление целевого продукта инертным (балластным) компонентом – азотом воздуха, не создает вредных примесей оксидов азота, упрощая систему газоочистки и сокращая объемы ее аппаратов. Эти два фактора повышают энергетическую и экологическую

привлекательность высокотемпературной паровой газификации твердых бытовых, промышленных и медицинских отходов [5].

В последние годы практикуется двухступенчатое термическое обезвреживание органических отходов: в первой ступени, реализуемой в виде камерной, барабанной, шахтной печи или реактора псевдоожиженного слоя, осуществляется неполное сжигание, пиролиз или газификация отходов, а во второй ступени проводится дожигание продуктов неполного горения, поступающих с газообразным потоком из первой ступени. Отдельные разработчики (например, Франция) предлагают использовать в камерах дожигания плазменный источник энергии. Аналогичное решение применил ряд российских фирм и организаций, установив плазмотроны в камере дожигания газов пиролиза, отходящих из шахтной печи. Однако расчетные и экспериментальные исследования показывают, что плазменные генераторы не могут обеспечить эффективное перемешивание относительно большого объема дымовых газов [5].

Основными недостатками указанных технологий плазменной газификации являются низкий срок службы электродов (100-300 часов) и высокий уровень выбросов в атмосферу при сжигании отходов [11]. Отметим, что существует технология сменных электродов Westinghouse Plasma Corporation, которые в среднем работают более 1000 часов и легко заменимы без остановки технологического процесса. Кроме того, технологии обработки неподвижного слоя токсичных отходов ударной плазменной струей характеризуются низкой эффективностью тепло- и массообмена. Существенное усложнение установок за счет встроенной центрифуги для перемешивания расплава на поду печи кардинально не повышает эколого-технологические параметры процесса [8].

Поскольку продуктом реализации технологии является синтез-газ, конкурирующими технологиями могут выступить технологии его получения из угля, природного газа или биомассы. Однако такие производства ориентированы на получение синтез-газа в больших объемах для промышленного применения (например, в химической промышленности, металлургии). В случае же переработки твердых бытовых отходов, включая промышленные, экспертами отмечается рациональность использования плазменной газификации для последующей выработки электрической и тепловой энергии [12]. Поэтому рассматривать в качестве конкурирующих предлагаемой разработке технологии производства синтез-газа, что может оказать влияние на границы рынка, на наш взгляд не нужно, т.к. у них разные потребительские сегменты.

В предлагаемом проекте предполагается использование собственных плазмотронов со съемными электродами, ресурс которых составляет более 2000 часов. Это является первым существенным преимуществом предлагаемого проекта, позволяющим снизить как затраты на приобретение электродов (при условии отсутствия существенного превышения их стоимости по сравнению с аналогами), так и потери от простоя оборудования

в период их замены. Однако требуется подтверждение заявляемых характеристик электродов в лабораторных и промышленных испытаниях, поскольку разработчиком не приводится аргументация данного преимущества. Вторым преимуществом разрабатываемой технологии выступает использование подготовленного топлива из отходов (RDF), которое имеет альтернативные варианты использования в цементной, металлургической отраслях, а также на ТЭЦ. Что касается воздействия данного топлива на окружающую среду, то его использование как заменитель, например, угля при выработке синтез-газа, приводит к снижению воздействия на окружающую среду [13]. Кроме того, российский поставщик линий производства RDF утверждает о снижении выбросов по сравнению со сжиганием мусора [14].

На текущий момент в России реализуется строительство 5 мусоросжигательных заводов (4 в Московской области (рис. 2.8.1) и 1 в городе Казань) по технологии японско-швейцарского концерна Hitachi Zosen Inova, выступающего партнером в данных работах, стоимость строительства которых оценивается в 180 млрд. руб., срок введения 2022-2023 гг., ожидаемый объем сжигаемых отходов: около 3,35 млн тонн ежегодно [15]. Кроме того, заявлен проект строительства еще 25 таких заводов, со сроком введения в эксплуатацию в 2025-2027 гг., оцениваемая стоимость строительства 800 млрд руб., ожидаемый объем сжигаемых отходов 14,6 млн тонн ежегодно [17].



Рисунок 2.8.1 – Строящиеся МСЗ в Московской области и их параметры
Источник: [15]

По данным Росприроднадзора в России образование отходов производства и потребления составило в 2019 г. 7,751 млрд тонн, что больше 2015 г. на 53,2%. При этом утилизировано и обезврежено лишь половина из

данного объема. Из вывезенных ТКО с территорий городских поселений в объеме 50,9 млн тонн в 2019 г. 82,3% подверглось захоронению [16]. Учитывая, что разработчиками заявлена возможность использования в качестве сырья в технологии плазменной RDF практически любых твердых коммунальных отходов, то, основываясь на показателях 2019 г., емкость рынка можно оценить в 41,89 млн тонн в год. После ввода в эксплуатацию 5 строящихся МСЗ емкость сократится до 38,54 млн тонн, а в случае реализации проекта строительства 25 МСЗ еще до 23,94 млн тонн. Поскольку Минэнерго выступило с критикой проекта 25 МСЗ и предложило сократить их количество вдвое [17], в качестве более вероятного варианта можно рассмотреть промежуточный и тогда объем возможного ТКО для переработки составит 30,95 млн тонн.

Направленность современного общества на сохранение окружающей среды, формирование зеленой экономики приводит к формированию спроса на технологии переработки отходов, включая предлагаемую в проекте. Однако наличие разных способов переработки требует изучения вопроса конкурентоспособности технологии с точки зрения получаемых продуктов. В случае рассматриваемого проекта необходимо учитывать, что в результате плазменной газификации RDF образуется синтез-газ, который может использоваться как топливо при производстве электрической и тепловой энергии или восстановитель в химической промышленности, металлургии. В качестве топлива для производства синтез-газа используется природный газ, кокс, уголь, различного рода отходы и биомасса [18]. Также в рынок необходимо включить возможность конкуренции со стороны цементных и металлургических заводов, которые могут использовать RDF в качестве топлива. Реализация проектов МСЗ, несмотря на критику со стороны Минэнерго, «Сообщества потребителей энергии» и НПО «Совет рынка», также составляет конкурирующую технологию. Это объясняется тем, что основным пунктом критики выступает не экологическая сторона строящихся МСЗ, а цена производимой ими электроэнергии, которая в 4-5 раз превышает средневзвешенную цену на нерегулируемом рынке. Кроме того, высокая стоимость заводов требует и высоких вложений, основная часть которых ложится на промышленных потребителей в форме финансирования на основе договоров покупки мощностей, которые оказываются в разы дороже, чем в случае модернизации ТЭЦ или постройки ветровых и солнечных электростанций. Чтобы обозначить конкурентоспособность предлагаемой технологии плазменной газификации RDF необходимо более глубокое изучение технологических процессов и показателей предлагаемого проекта. Кроме того требуется на технологическом уровне обоснование преимуществ и недостатков технологии плазменной газификации, а также сравнение с предлагаемой ИТ СО РАН технологии «Плазменная газификация ТКО и других органических отходов с получением синтез-газа и инертного шлака», которая также выступает конкурирующей технологией.

Мировой тенденцией в вопросе обращения с отходами является формирование комплекса из переработки отходов, пригодных ко вторичному использованию, и сжигание остальной части. При этом под сжиганием в таких странах подразумеваются современные комплексы, оснащенные специальным оборудованием и фильтрами, обеспечивающими около нулевые выбросы вредных веществ. Развитые страны и многие развивающиеся отказываются от захоронения, особенно на неконтролируемых полигонах (рис. 2.8.2).

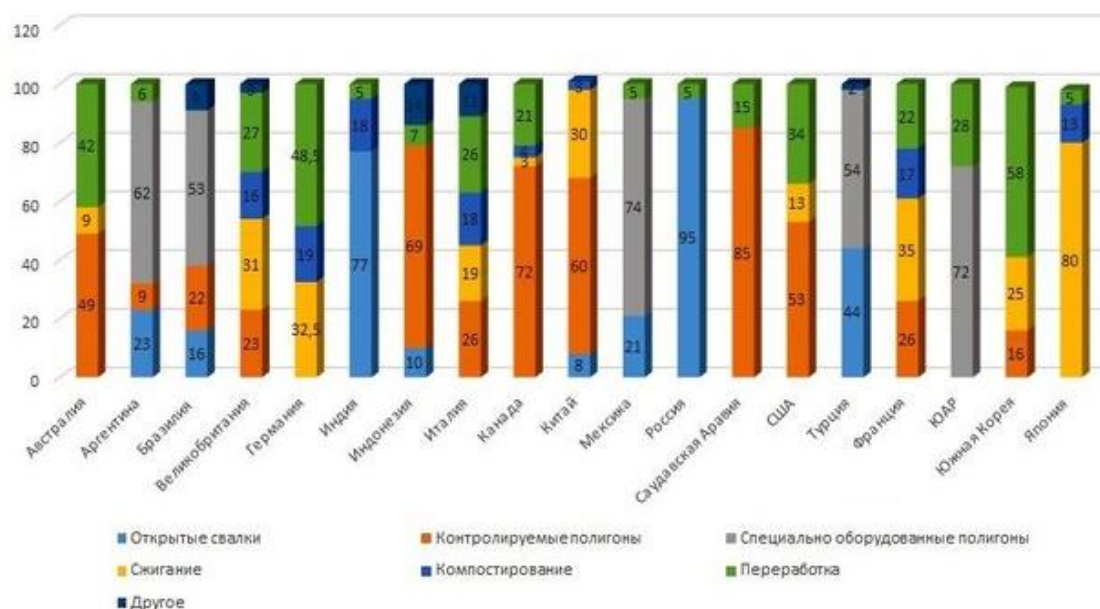


Рисунок 2.8.2 – Виды обработки мусора по странам в 2018 г.
Источник: [19]

В отчете «Waste Management Market by Waste Type, by Service – Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2021-2030» приведена оценка мирового рынка обращения с отходами (включает в себя сбор отходов, утилизацию твердых отходов и утилизацию нежелательных веществ наиболее безопасным и эффективным способом) в размере 394,1 млрд долл. И прогнозируется рост этой цифры до 715 млрд долл. к 2030 г. На текущем этапе наравне с высокой степенью переработки отходов в развитых странах отмечается более широкое внедрение процессов обращения с отходами в Азиатско-Тихоокеанском регионе, что связано с ростом инфраструктуры по переработке отходов в регионе и увеличением степени осведомленности об окружающей среде в развивающихся странах. При этом отмечается, что данный рынок является высококонкурентным с большим количеством участников, среди которых лидерами являются Biffa Group, Advanced Disposal Services, Covanta Holding Corporation, Clean Harbors, Inc., Hitachi Zosen Corporation, Daiseki Co. Ltd., Suez Environment S.A., Remondis AG & Co. Kg, Waste Management Inc. и Veolia Environment S.A. [20].

Всего в мире образуется около 25 млрд тонн отходов в год. Согласно данным Европейского статистического агентства, в 2018 году 28 стран ЕС

произвели 2,17 млрд тонн мусора. На переработку направили 37,9% (822 млн т) этого объема. Мусоросжигательные заводы преобразовали в энергию 6% (130 млн т), еще 0,7% (15 млн т) было сожжено на заводах без установок по электро- и теплогенерации (табл. 2.8.1).

Таблица 2.8.1 – Разработка отходов в ЕС и некоторых его странах в 2018 г., %

	Переработка	Обратная засыпка	Энергетическая утилизация	Сжигание без производства энергии	Захоронение
ЕС	37,9	10,7	6	0,7	44,7
Италия	79,3	0,1	5,7	2,5	12,4
Бельгия	77,4	0	11,2	3,6	7,8
Венгрия	63,2	5,4	6,4	0,5	24,5
Латвия	57,6	4,6	10	0,01	27,8
Франция	55,8	10,4	5,5	1,3	27
Хорватия	52,3	3,5	2	0	42,2
Чехия	50,9	34,6	3,5	0,3	10,7
Польша	49,3	20,3	3,6	0,4	26,4
Германия	42,7	26,4	12	0,5	18,4
Швеция	13,1	2,7	6,8	0,1	77,3
Ирландия	11,5	51,4	9,8	0,07	27,2
Греция	10,7	3,5	0,7	0,02	85,1
Финляндия	9,2	2,4	5	0,08	83,3
Румыния	3,2	0,3	1	0,04	95,5
Болгария	2,9	0	0,5	0	96,6

Источник: [21]

По информации Европейской конфедерации заводов по выработке энергии из отходов (CEWEP), в 2018 году в ЕС работало более 492 заводов по энергетической утилизации мусора. Основная их часть сосредоточена в Западной Европе. В Восточной Европе данное направление на текущий момент развивается, о чем в частности свидетельствует количество проектов по постройке мусоросжигательных заводов, по аналогичной технологии, применяемой в российских проектах. Это может стать возможным направлением тиражирования предлагаемой технологии плазменной газификации RDF. Однако в 2017 г. в ЕС в директиве по отходам (Waste Framework Directive) была законодательно закреплена норма, предписывающая минимизировать сжигание отходов и увеличить долю их переработки, а наиболее предпочтительным способом обращения с мусором признано предотвращение его образования. Поэтому Еврокомиссия прекратила финансирование строительства новых мусоросжигательных заводов [21]. В связи с этим, учитывая степень разработанности технологии, перспективы тиражирования плазменной газификации в данном направлении не представляются высокими.

Уровни готовности технологического предложения

TRL 4. Из предоставленной разработчиками информации можно сделать вывод, что имеется лабораторный образец, что позволяет проверить работоспособность основных технологических компонентов в единой модели. При этом разработчики подчеркивают, что необходимы еще дополнительные исследования для некоторых узлов разрабатываемой установки (Приложение А.8). Проведение дополнительных исследований позволит подтвердить возможность работы составляющих элементов в комплексе и перейти к изготовлению экспериментального образца в реальном масштабе по полупромышленной технологии.

MRL 1. На текущем этапе предложена технологическая схема, проверяется работоспособность и соответствие заявленным показателям производительности в лабораторных условиях оригинальная установка реактор-газификатор с плазмотронами, определены требования по сырью для производства и предполагаемые продукты. Поскольку технология еще не прошла апробации в промышленных условиях, пока отсутствует возможность определения производственной концепции и проектирования производственной линии.

CRL 1. На рынке существует потребность в технологиях, позволяющих перерабатывать отходы. При этом существует ряд конкурирующих технологий, в некоторых странах объявлен переход от сжигания отходов к иным способам переработки. Отметим, что у разработчиков нет четко определенного потенциального заказчика, а определены только возможные группы потребителей технологии. Поэтому можно оценить потенциальный объем рынка, но существуют сложности с точной оценкой целевых потребительских сегментов, что является следующей ступенью оценки уровня рыночной готовности и коммерциализации.

В условиях необходимости экологичной переработки твердых коммунальных отходов, с учетом заявленной разработчиками способности данной технологии перерабатывать практически любые компоненты ТКО и с учетом реализуемых в России проектов постройки мусоросжигательных заводов емкость рынка можно оценить как 30,95 млн тонн отходов в год. Преимуществом предлагаемой технологии является в экономическом плане использование собственных плазматронов со съёмными электродами, ресурс которых составляет более 2000 часов, а в экологическом это использование в качестве сырья RDF, которое обладает меньшими выбросами по сравнению с простым сжиганием отходов, а при производстве синтез-газа меньшими выбросами по сравнению с сырьем для его производства в промышленных масштабах.

Однако с учетом объема вырабатываемого синтез-газа представляется маловероятным его использование в химической промышленности или металлургии, а скорее для выработки на основе энергетического блока в рамках завода электроэнергии и тепловой энергии, на что указывают и эксперты, частично для собственных нужд, частично для продажи. Однако, на наш взгляд, требуется на технологическом уровне уточнение преимуществ и

недостатков технологии плазменной газификации по сравнению с остальными способами переработки ТКО. Особенно это важно в вопросе воздействия на окружающую среду такого способа переработки, т.к. существует и противоположная ранее указанной точка зрения о существенном отрицательном воздействии плазменной газификации на окружающую среду, в частности представителями Гринпис в России. Кроме того требуется сравнение с предлагаемой ИТ СО РАН технологии «Плазменная газификация ТКО и других органических отходов с получением синтез-газа и инертного шлака», которая представляется конкурирующей технологией, при этом разрабатывается в рамках одной комплексной научно-технической программы.

3 ОТБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ

Для целей отбора технологических предложений используется подход, описанный в Разделе 1 Отчета, а также полученные результаты оценки рынков и конкурентных позиций технологических предложений, представленные в Разделе 2 Отчета и сведенные в Таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Основные характеристики технологических предложений*

Технологическое предложение	TRL MRL	Ёмкость отраслевого рынка и рыночный потенциал	Конкурентная позиция	Востребованность на рынке
Технологии генерации электроэнергии из низкокалорийного топливного газа	TRL 3 MRL 1	Ёмкость: 1,56 ГВт(э) 163-400 млрд руб. Годовой потенциал: 31,2 МВт (э) 3,2-8,0 млрд. руб.	Слабая	Низкая
Технология низкоэмиссионного сжигания жидких горючих отходов в присутствии водяного пара с производством тепловой энергии	TRL 5 MRL 1	Ёмкость: 111 млн тонн ЖГО 176-329 млрд руб. Годовой потенциал: 0,7-2,1 млн тонн годовой мощности по сжиганию ЖГО 2,1-6,2 млрд руб.	Средняя	Средняя
Плазменная газификация ТКО и других органических отходов с получением синтезгаза и инертного шлака	TRL 5 MRL 4	Ёмкость: всего 10-25 млн тонн мощности по сжиганию ТКО и других видов отходов Годовой потенциал: 1-2 млн тонн мощности по сжиганию ТКО 20-90 млрд руб.	Средняя	Высокая
Сортировка вторсырья с использованием технологии распознавания на основе искусственных нейронных сетей и мультиспектрального машинного зрения	TRL 3 MRL 2	Ёмкость: всего 60-70 млн тонн ТКО Годовой потенциал: 10 млн тонн вводимой мощности по сортировке ТКО 2,5 до 17,5 млрд руб. Рыночная ниша: 0,5-3,5 млрд руб.	Средняя	Средняя

Таблица 3.1 (Продолжение)

Технологическое предложение	TRL MRL	Емкость отраслевого рынка и рыночный потенциал	Конкурентная позиция	Востребованность на рынке
Сухое обогащение угольных кеков тощих углей	TRL 2 MRL 1	Емкость: 8,4-19,5 млн тонн отходов обогащения Годовой потенциал: 0,4-1,4 млрд руб.	слабая	низкая
Термокаталитическое окисление иловых осадков сточных вод коммунальных и промышленных очистных сооружений	TRL 7 MRL 7	Емкость: всего 72-90 млн т. иловых осадков Годовой потенциал: 27,4-34,2 млрд руб.	средняя	средняя
Комплексная переработка отвалов рудообогатительных фабрик (мельница-сушилка)	TRL 3 MRL 1	Емкость: 4,5 млрд тонн мощности по переработке отвалов в год Годовой потенциал: 36 млн тонн вводимой мощности при переработке накопленных отвалов, 7,2 млрд руб.; 100 млн тонн вводимой мощности при переработке вновь образуемых отходов, 20 млрд руб.	средняя	средняя
Плазменная газификация RDF	TRL 4 MRL 1	Емкость: всего 10-25 млн тонн мощности по сжиганию ТКО и других видов отходов Годовой потенциал: 1-2 млн тонн мощности по сжиганию ТКО в год; 20-90 млрд руб.	слабая	низкая

* Представленные оценки основаны на результатах проведенного в Разделе 2 анализа с использованием информации, предоставленной разработчиками технологий и полученной из открытых источников, и по мере совершенствования и уточнения технологии могут быть скорректированы

Представленные в таблице 3.1 результаты по оценке рынка отражают незначительный уровень рыночной готовности технологий и основаны на тех данных, которые предоставлены их разработчиками, поэтому их необходимо рассматривать исключительно в этом ракурсе. Оценки емкости отраслевого рынка отражают оценку максимально возможной потребности в утилизации соответствующих отходов, с учетом как образуемых, так и уже накопленных, годового потенциала – оценку потребности в ежегодном вводе соответствующих производственных мощностей, исходя из полученных оценок емкости отраслевого рынка. По мере совершенствования предложенных технологий и основанных на них технологических решений, уточнения их характеристик и повышения уровней готовности, формирования и развития соответствующих отраслевых рынков сферы обращения с отходами и технологического оборудования, а также совершенствования государственного регулирования этой сферы оценки рыночного потенциала, конкурентных позиций и рыночной востребованности технологических предложений могут и должны корректироваться. В связи с этим рекомендуется предусмотреть соответствующие процедуры и механизмы корректировки представленных оценок по мере продвижения стадии НИОКР для последующего внедрения и вывода на рынок в рамках управления трансфером данных технологий.

С учетом результатов проведенного анализа к числу наиболее востребованных на рынке технологических предложений в сфере обращения с отходами для управления по трансферу технологий могут быть отнесены следующие:

- сортировка вторсырья с использованием технологии распознавания на основе искусственных нейронных сетей и мультиспектрального машинного зрения;
- термokatалитическое окисление иловых осадков сточных вод коммунальных и промышленных очистных сооружений;
- плазменная газификация ТКО и других органических отходов с получением синтезгаза и инертного шлака.

Общей особенностью отобранных в качестве наиболее востребованных на рынке технологий является высокая перспективность и общественная значимость в свете «зеленой» трансформации экономики России и мира формирующихся отраслевых рынков, на которые ориентированы соответствующие разрабатываемые технологическое оборудование и технологические решения. Это позволяет снизить требования к коммерческой эффективности данных технологических предложений с учетом обширного мирового опыта активной государственной поддержки функционирования данной сферы и решаемых на их основе экологических проблем. Данное замечание особенно важно в силу преимущественно низкой степени рыночной готовности данных технологических предложений.

Потенциально перспективными могут также выступить следующие технологические предложения:

- комплексная переработка отвалов рудообогатительных фабрик;
- плазменная газификация RDF;
- технология низкоэмиссионного сжигания жидких горючих отходов в присутствии водяного пара с производством тепловой энергии.

По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что оба технологических предложения по плазменной газификации являются прямыми аналогами и конкурируют в рамках одной рыночной ниши, в этой связи требуется их дополнительное сопоставление между собой для определения и поддержки наиболее перспективного технологического предложения из них (или их объединении в одно технологическое предложение с осуществлением совместной разработки прототипа на основе объединения имеющихся результатов интеллектуальной деятельности, что позволит повысить конкурентоспособность итогового технологического решения). В то же время наличие комплексного технологического решения в виде интеграции перспективной технологии сортировки вторсырья с использованием технологии распознавания на основе искусственных нейронных сетей и мультиспектрального машинного зрения, других разрабатываемых технологий второго уровня, и технологии плазменная газификация ТКО и других органических отходов с получением синтезгаза и инертного шлака повышает обоснованность выбора последней.

Технология низкоэмиссионного сжигания жидких горючих отходов имеет ограниченную сферу применения в силу наличия альтернативных способов утилизации жидких горючих отходов, позволяющих в том числе получать вторичные ресурсы.

Необходимо отметить и отсутствие консенсуса в части оценки перспективности развития технологий сжигания отходов в целом, в особенности в части связанных с их применением проблем загрязнения атмосферного воздуха и распространения циркулярной экономики.

Отметим, что часть технологических предложений потенциально хорошо интегрируются между собой, что позволяет предполагать наличие возможных синергетических эффектов, повышающих общую экономическую эффективность при их совместном применении в рамках единого технологического комплекса, что, однако, требует отдельных исследований.

Таким образом, по результатам осуществленного отбора на основе предоставленной разработчиками технологий информации, при условии, что все заявляемые разработчиками характеристики предлагаемых технологических решений будут подтверждены или улучшены в дальнейшем, в число наиболее востребованных на рынке технологических предложений в сфере обращения с отходами для управления по трансферу технологий отнесены следующие:

- сортировка вторсырья с использованием технологии распознавания на основе искусственных нейронных сетей и мультиспектрального машинного зрения;

- термokatалитическое окисление иловых осадков сточных вод коммунальных и промышленных очистных сооружений;
- комплексная переработка отвалов рудообогатительных фабрик;
- плазменная газификация ТКО и других органических отходов с получением синтезгаза и инертного шлака;
- технология низкоэмиссионного сжигания жидких горючих отходов в присутствии водяного пара с производством тепловой энергии.

По итогам отбора не вошли в список наиболее востребованных на рынке ТП:

- технология плазменной газификации RDF, в целом являющейся потенциально перспективной, но вместе с тем конкурирующей на одной рыночной нише с технологическим предложением Плазменная газификация ТКО и других органических отходов с получением синтезгаза и инертного шлака, имеющим исходя из представленной разработчиками информации большой рыночный потенциал и уровни технологической и производственной готовности;

- технологии генерации электроэнергии из низкокалорийного топливного газа, как решение второго уровня с низкой технико-экономической эффективностью и отсутствием прямой связи с утилизацией отходов, однако в случае существенного улучшения технико-экономических характеристик данное предложение может стать перспективным для коммерческого внедрения, кроме того, оно представляет сильный интерес для удаленных от централизованных систем электроснабжения объектов теплогенерации;

- сухое обогащение угольных кеков тощих углей в силу существенной ограниченности целевого рынка и существенной неопределенности в оценке востребованности предлагаемого технологического решения на рынке, в том числе по причине отсутствия универсального решения. Разработчику рекомендуется рассмотреть в качестве предлагаемого продукта комплекс инжиниринговых услуг, включающих как проведение исследований по определению наиболее эффективного технологического решения и калибровки его параметров под особенности кеков, так и проектировку, сборку, наладку и запуск соответствующей технологической линии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного анализа на основе предоставленной разработчиками технологий информации, при условии, что все заявляемые разработчиками характеристики предлагаемых технологических решений будут подтверждены или улучшены в дальнейшем, к числу наиболее востребованных на рынке технологических предложений в сфере обращения с отходами для управления по трансферу технологий отнесены следующие:

- сортировка вторсырья с использованием технологии распознавания на основе искусственных нейронных сетей и мультиспектрального машинного зрения;
- термokatалитическое окисление иловых осадков сточных вод коммунальных и промышленных очистных сооружений;
- комплексная переработка отвалов рудообогатительных фабрик;
- плазменная газификация ТКО и других органических отходов с получением синтезгаза и инертного шлака;
- технология низкоэмиссионного сжигания жидких горючих отходов в присутствии водяного пара с производством тепловой энергии.

Общей особенностью отобранных в качестве наиболее востребованных на рынке технологий является высокая перспективность и общественная значимость в свете «зеленой» трансформации экономики России и мира формирующихся отраслевых рынков, на которые ориентированы соответствующие разрабатываемые технологическое оборудование и технологические решения. Это позволяет снизить требования к коммерческой эффективности данных технологических предложений с учетом обширного мирового опыта активной государственной поддержки функционирования данной сферы и решаемых на их основе экологических проблем.

Отметим, что часть представленных технологических предложений потенциально хорошо интегрируются между собой, что позволяет предполагать наличие возможных синергетических эффектов, повышающих общую экономическую эффективность при их совместном применении в рамках единого технологического комплекса, что, однако, требует отдельных исследований.

Наконец, отметим, что по мере совершенствования предложенных технологий и основанных на них технологических решений, уточнения характеристик, формирования и развития соответствующих отраслевых рынков сферы обращения с отходами и технологического оборудования, а также совершенствования государственного регулирования этой сферы оценки рыночного потенциала и конкурентных позиций технологических предложений могут и должны корректироваться. В связи с этим рекомендуется предусмотреть соответствующие процедуры и механизмы корректировки в рамках управления трансфером данных технологий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

К разделу 2.1

1 Патент RU 2745468 C1, 2021 – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_45807529_48727853.PDF (дата обращения 10.12.2021).

2 ORC-генерация. Органический цикл Ренкина – URL: <https://1-engineer.ru/products/orc-generaciya-organicheskii-cikl-renkina/> (дата обращения 9.12.2021).

3 Cyplan® ORC — органический цикл Ренкина – URL: <https://www.durr.com/ru/products/environmental-technology/decentral-power-generation/cyplan-orc> (дата обращения 07.12.2021).

4 World Energy Outlook 2021 – URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/888004cf-1a38-4716-9e0c3b0e3fdbf609/WorldEnergyOutlook2021.pdf> (дата обращения 10.12.2021).

5 Российский статистический ежегодник 2020 – URL: https://gks.ru/bgd/regl/b20_13/Main.htm (дата обращения 10.12.2021).

6 Organic Rankine Cycle Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application (Geothermal, Biomass, Waste Heat Recovery, Solar Thermal), By Region, And Segment Forecasts, 2020-2028 – URL: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/organic-rankine-cycle-market?__cf_chl_f_tk=K4WLoP.3wysSFGJq9HmczSesMuVW5WaMBdZCdx3wglw-1642180261-0-gaNycGzNCNE (дата обращения 04.12.2021).

7 ORC Market – Updated Analysis (2017) - URL: <https://orc-world-map.org/analysis> (дата обращения 05.12.2021).

8 T. Tartiere, M. Astolfi. A World Overview of the Organic Rankine Cycle Market. Energy Procedia, 129. 2017, p. 2-9. – URL: <https://orc-world-map.org/docs/WorldOverview2017.pdf> (дата обращения 05.12.2021).

9 ORC World Map - URL: <https://orc-world-map.org/> (дата обращения 05.12.2021).

10 Цикл Ренкина на НРТ (низкокипящее рабочее тело) – URL: <https://www.turbunist.ru/page,4,49625-cikl-renkina-na-nrt-nizkokipyaschee-rabochee-telo.html> (дата обращения 10.12.2021).

11 В ООО «Газпром трансгаз Югорск» дан старт проекту по внедрению технологии по утилизации тепла отходящих газов – URL: <https://yugorsk-tr.gazprom.ru/press/news/2018/12/utilizatsiz-tepla-otkhodyashchikh-gazov/> (дата обращения 10.12.2021).

12 Жилищное хозяйство в России 2019. Росстат. Статистический сборник. Москва, 2019. – URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Jil-kom_hoz-vo%202019.pdf (дата обращения 10.12.2021).

13 Теплоэнергетика и централизованное теплоснабжение России в 2014-2018 годах. Информационно-аналитический доклад. Министерство энергетики Российской Федерации. Москва, 2020 - URL: <https://minenergo.gov.ru/node/17737> (дата обращения 10.12.2021).

14 ORC-турбины «Инфинити Турбайн Украина». 4. Стоимость турбины, комплект поставки. - URL: http://сссenergo.com/-_orc_турбины-вопросы_и_ответы (дата обращения 10.12.2021).

15 БИОТЭК. Техничко-коммерческое предложение на строительство котельной с ОЦР-модулем. 8.5. Капитальные затраты по проекту, стр. 24. – URL: <http://rustrade.org.uk/eng/wp-content/uploads/Bulgin-ОСР-2500.pdf> (дата обращения 10.12.2021).

16 Малая энергетика России – URL: <https://www.elektro-expro.ru/ru/articles/malaya-energetika-rossii/> (дата обращения 10.12.2021).

17 Оценка перспектив и целесообразности перехода субъектов Российской Федерации, использующих нефтепродукты с целью теплоснабжения, на местные и возобновляемые виды топлива. Аналитический доклад. Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации – URL: https://ac.gov.ru/uploads/_Projects/PDF/8084.pdf (дата обращения 10.12.2021).

К разделу 2.2

1 Anufriev I.S., Kopyev E.P., Sadkin I.S., Mukhina M.A. Diesel and waste oil combustion in a new steam burner with low NO_x emission // Fuel. – 2021. – No. 290. P. 1-9.

2 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами». ИТС 9 - 2020. - М: Бюро НДТ, 2020. – 200 с.

3 Дубинин Ю.В., Языков Н.А., Симонов А.Д., Яковлев В.А. Сжигание модельных и реальных нефтешламов в кипящем слое катализатора // Известия ТПУ. 2019. №7. С. 44-50

4 Ануфриев И.С. Экспериментальное исследование процессов при сжигании жидких углеводородов в горелочных устройствах с подачей перегретого водяного пара: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук – URL: https://www.nstu.ru/files/dissertations/dissertaciya_anufriev_is_156212451291.pdf (дата обращения 10.12.2021).

5 Универсальные горелки MASTER. URL: https://master-russia.ru/u_gorelki/ (дата обращения 10.12.2021).

6 Горелки. URL: <https://www.teplomatica.ru/gorelki-k-kotlam.html> (дата обращения 10.12.2021).

7 Горелка на отработанном масле. URL: <https://5energy.ru/gorelki/ecoboil-2000> (дата обращения 10.12.2021).

8 Горелки Riello. URL: <https://riello-gorelki.ru/katalog/gorelki> (дата обращения 10.12.2021).

9 Бойко Е.Е. Разработка методических основ сжигания тонкодисперсных водоугольных суспензий при плазменном сопровождении в котлоагрегатах ТЭС: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – URL:

https://www.nstu.ru/files/dissertations/boyko_1537381218.pdf (дата обращения 09.12.2021).

10 Нефтешламы как вторичное сырье. – URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/pererabotka/543315-nefteshlamy-kak-вторичное-сырье/> (дата обращения 10.12.2021).

11 Утилизация нефтеотходов. – URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/prombezopasnost/550491-utilizatsiya-nefteotkhodov/> (дата обращения 10.12.2021).

12 Ассоциация рециклинга отходов. – URL: <https://www.ros-aro.ru/upload/proektyARO2020.pdf> (дата обращения 10.12.2021).

13 Предварительные итоги 2018 г. на российских рынках нефти и нефтепродуктов – URL: <http://www.petromarket.ru/press-centre/news/corp/predvaritelnye-itogi-goda-na-rossiyskikh-rynках-nefti-i-nefteproduktov-press-zavtrak-ig-petromarket/> (дата обращения 10.12.2021).

14 Study to support the Commission in gathering structured information and defining of reporting obligations on waste oils and other hazardous waste – 2020г. – 289p. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/73a728bc-72f5-11ea-a07e-01aa75ed71a1/language-en> (дата обращения 10.12.2021).

15 Petroleum sludge treatment and disposal: A review – URL: <https://www.eeer.org/upload/eer-2018-134.pdf> (дата обращения 08.12.2021).

16 Environment. – URL: https://www.bp.com/content/dam/bp/country-sites/en_az/azerbaijan/home/pdfs/sustainability-reports/2019/environment.pdf (дата обращения 10.12.2021).

17 Альбом отечественных производителей оборудования для отрасли обращения с отходами производства и потребления. Минпромторг, Российский экологический оператор. – URL: https://www.ecoindustry.ru/i/news/58064/proizvoditeli_oborudovania_dlya_tko.pdf (дата обращения 10.12.2021).

18 Эко-Спектрум – URL: <https://ecospectrum.ru/> (дата обращения 11.12.2021).

19 Низкоуглеродные решения для изолированных регионов России с высокими затратами на энергию. ЦЭНЭФ – 106с. URL: http://www.cenef.ru/file/Low-Carbon_rus.pdf (дата обращения 09.12.2021).

20 ТЭК России 2019. Функционирование и развитие. Информационно-аналитический доклад. Министерство энергетики Российской Федерации. Москва, 2020. – 158с.

21 Treatment and recycling of oily sludges produced in the petroleum industry – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8267638> (дата обращения 09.12.2021).

К разделу 2.3

1 Заявка № 2020-20(б)-8983-5037 от 06.12.2021 в Совет по приоритетному направлению направлению научно-технологического развития Российской

Федерации, определенному пунктом 20(б) Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации на разработку комплексной научно-технической программы «Комплексные системы обращения с коммунальными и промышленными отходами».

2 Технико-экономическое обоснование проекта «Технология комплексной, ресурсосберегающей, экономически выгодной переработки твердых бытовых отходов на основе автоматической сортировки и плазменной газификации с производством синтез-газа, электроэнергии, тепла и строительных материалов». – ООО «НИЭЦ», ИТ СО РАН, Новосибирск, 2018. – 59 с.

3 Retech, Inc., Plasma Centrifugal Furnace: Applications Analysis Report [Электронный ресурс]. – URL: <https://play.google.com/store/books/details?id=rrMsrNLYSL0C&rdid=book-rrMsrNLYSL0C&rdot=1> (дата обращения: 8.12.2021).

4 Womack R. K. Using the Centrifugal Method for the Plasma-Arc Vitrification of Waste//journal JOM. - 1999. - 51(10). - pp. 14-16. URL: <https://www.tms.org/pubs/journals/jom/9910/womack-9910.html> (дата обращения: 8.12.2021).

5 Отделение физики плазмы и плазменных технологий / Институт тепло-и массообмена имени А. В. Лыкова [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.itmo.by/laboratory/opt/> (дата обращения: 10.12.2021).

6 Мессерле В. Е., Моссэ А. Л., Никончук А. Н., Устименко А. Б. Плазмохимическая переработка медико-биологических отходов//Инженерно-физический журнал. - 2015. - Т. 88. - № 6. - С. 1420-1424.

7 Бернадинер М. Н., Бернадинер И. М. Высокотемпературная переработка отходов. Плазменные источники энергии//Твердые бытовые отходы. - 2011. - № 4. - С. 16-19.

8 Моссэ А. Л., Савчин В. В. Плазмотермическая обработка токсичных отходов//Твердые бытовые отходы. - 2006. - № 12. - С. 22-24.

9 Братцев А. Н., Попов В. Е., Рутберг А. Ф., Штенгель С. В. Установка для плазменной газификации различных видов отходов//Теплофизика высоких температур. - 2006. - № 6. - С. 832-837.

10 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям 9-2020: Утилизация и обезвреживание отходов термическим способом / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. - М.: Бюро НДТ, 2020. - 208 с.

11 Управление огнем / Российская газета [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: <https://rg.ru/2020/05/26/reg-cfo/eksperty-oprovergli-mify-o-novyh-musoroszhigatelnyh-zavodah.html> (дата обращения: 10.12.2021).

12 Минэнерго предложило вдвое сократить число мусоросжигательных заводов / Ведомости [Электронный ресурс]. - 2021. - URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2021/04/28/868131-minenergo-sokratit> (дата обращения: 10.12.2021).

13 Правда ли, что в Европе популярно мусоросжигание / +1 [Электронный ресурс]. - URL: <https://plus-one.ru/ecology/2021/08/31/pravda-li-cto-v-evrope-populyarno-musoroszhiganie> (дата обращения: 10.12.2021).

14 Мировой рынок мусора: захоронение отходов – удел отстающих стран / Реальное время [Электронный ресурс]. - URL: <https://realnoevremya.ru/articles/166395-mirovoy-musornyy-rynok-poka-v-peredovyh-stranah-szhigayut-i-sortiruyut-v-rossii-plodyat-poligony> (дата обращения: 10.12.2021).

15 Аверкин П.А. Новые технологии утилизации отходов и проблема роста тарифов // ИННОВАЦИИ. 2021. № 2 (268). С. 24-29. DOI: 10.26310/2071-3010.2021.268.2.004.

16 Arcadis Belgium nv. Assessment of the options to improve the management of bio-waste in the European union annex E: Approach to estimating costs. Brussels: European Commission Directorate-General Environment, 2009.

К разделу 2.4

1 Технико-экономическое обоснование проекта «Технология комплексной, ресурсосберегающей, экономически выгодной переработки твердых бытовых отходов на основе автоматической сортировки и плазменной газификации с производством синтез-газа, электроэнергии, тепла и строительных материалов». – ООО «НИЭЦ», ИТ СО РАН, Новосибирск, 2018.

2 Основные показатели охраны окружающей среды: Статистический бюллетень. Росстат. Москва, 2021. – 109 с.

3 Охрана окружающей среды в России. 2006: Стат. сб./Росстат. – М., 2006. – 239 с.

4 Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года // Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 января 2018 г. № 84-р.

5 Проект распоряжения Правительства Российской Федерации о внесении изменений в распоряжение Правительства Российской Федерации от 25 января 2018 г. № 84-р. Министерство промышленности и торговли Российской Федерации. 03.11.2021 г. № МА-95943/17. – URL: <http://www.russia-led-ssl.ru/wp-content/uploads/2021/12/Стратегия-промка.pdf> (дата обращения 10.12.2021).

6 Линии сортировки мусора, мусоросортировочные комплексы, мусороперерабатывающие заводы // Официальный сайт PRESS MAX™. – URL: <https://pressmax.ru/ecatalog/tbo/dustfactories/> (дата обращения 10.12.2021).

7 Линии и комплексы сортировки ТКО «ProSORT®» // Официальный сайт «ИНТЕРПРОМ» – завод промышленного оборудования. – URL: <https://interprom.site/catalog/musorosortirovochnye-linii-i-stantsii-tko/> (дата обращения 10.12.2021).

8 Комплекс переработки ТБО – Мобильная мусоросортировочная линия с устройством брикетирования ТКО // Официальный сайт ХК «Дальснаб». – URL: <https://asphalt-zavod.ru/tbo/> (дата обращения 10.12.2021).

9 Мусоросортировочные комплексы и мусороперегрузочные станции // Официальный сайт ООО «ЭС АЙ ДИ ИНЖИНИРИНГ». – URL: <https://втортех.рф/msk> (дата обращения 10.12.2021).

10 Комплекс автоматической сортировки ТБО // Официальный сайт ООО «Экомтех». – URL: http://www.sortirovka.ru/komplexy_sortirovki/kompleks-avtomaticheskoy-sortirovki-tbo (дата обращения 10.12.2021).

11 Линия сортировки тко // Официальный сайт ООО «Кубаньпищепром». – URL: <http://www.kub-eco-prom.com/catalog/liniya-sortirovki-tko.html> (дата обращения 10.12.2021).

12 Альбом отечественных производителей оборудования для отрасли обращения с отходами производства и потребления. Минпромторг, Российский экологический оператор. – URL: https://www.ecoindustry.ru/i/news/58064/proizvoditeli_oborudovania_dlya_tko.pdf (дата обращения 10.12.2021).

13 Tomra solutions // Официальный сайт TOMRA Systems ASA. – URL: <https://www.tomra.com/en/sorting/recycling/tomra-solutions> (дата обращения 10.12.2021).

14 Optical sorters // Официальный сайт Pellenc ST. – URL: <https://www.pellencst.com/products/#opticalsorters> (дата обращения 10.12.2021).

15 Optical sorters // Официальный сайт National recovery technologies LLC. – URL: <http://www.nrtsorters.com/equipment/> (дата обращения 10.12.2021).

16 Автоматические линии сортировки STADLER // Официальный сайт STADLER Anlagenbau GmbH. – URL: <https://stadlerrus.ru/avtomaticheskaya-liniya.html> (дата обращения 10.12.2021).

17 Продукция // Официальный сайт ООО «Невлабс». – URL: <https://nevlabs.ru/products/?from=dir&yclid=7575955551390851402> (дата обращения 10.12.2021).

18 Автоматические линии сортировки ТКО // Официальный сайт ООО «Экомашгрупп». – URL: <https://nsk.ecomg.ru/complexes/linii-sortirovki-tko/> (дата обращения 10.12.2021).

19 Первый российский автоматизированный комплекс по сортировке мусора открыли под Белгородом // Новая система обращения с ТКО. – Тасс, 10 окт 2019, 17:13. – URL: <https://tass.ru/nacionalnye-proekty/6983843> (дата обращения 10.12.2021).

20 Single Stream Recycling // Официальный сайт AMP Robotics. – URL: <https://www.amrobotics.com/single-stream-recycling> (дата обращения 10.12.2021).

21 AI infused Computer Vision technology to boost the Robotic Revolution // Официальный сайт Sadako Technologies. – URL: <https://sadako.es/technology/> (дата обращения 10.12.2021).

22 Hands-free sorting for MRF's // Официальный сайт ZenRobotics Ltd. – URL: <https://zenrobotics.com/solutions/fast-picker-applications/> (дата обращения 10.12.2021).

К разделу 2.5

1 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Добыча и обогащение угля». ИТС 37 - 2017. - М: Бюро НДТ, 2017. – 294 с.

2 Новак В.И. Проблема кека обогатительных фабрик. Кто виноват и что делать? // Уголь. – 2016. – № 10. – С. 70-73.

3 Сверчков И.П. Снижение выбросов загрязняющих веществ при термической утилизации отходов углеобогащения: дис. ...канд. тех. наук: 25.00.36. – Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, 2019. – 197 с.

4 Патент RU 2194577 С2, 2002.

5 Дворников Н.А. Технологические основы сушки в псевдосжиженном слое и ее применение для сухого обогащения каолина // Керамика: наука и жизнь. – 2018. - № 1 (38). – С. 22-29.

6 Кардава Л.Р., Магутадзе А.А., Толстых С.А. Бескровный Н.Я., Стороженко Г.И. Сухое обогащение глин месторождения Макванети (Республика Грузия) // Строительные материалы. – 2008. - № 12. – С. 4-6.

7 Справочник геолога-угольщика. – 2-е изд. – М.: Недра, 1991. – 363 с.

8 Энергия в брикетах // Союз горных инженеров – URL: <http://www.mining-portal.ru/publish/energiya-v-briketah/> (дата обращения: 10.12.2021)

9 Опытная линия по изготовлению топливных брикетов из угольного шлама // ООО Инновационные технологии «Северная Русь». – URL: http://nordruss.ru/objects/toplivnyye_brikety/zavod_po_proizvodstvu_briketov_v_g_vorkuta.html (дата обращения: 10.12.2021)

10 Комплекс для производства угольных топливных брикетов // ООО «Брикеты Алтая». – URL: <https://briketalhai.ru/p311276354-kompleks-dlya-proizvodstva.html> (дата обращения: 10.12.2021)

11 Оборудование для брикетирования угольной пыли // ООО «Керамыч». – URL: http://lugakamen.ru/menyu/oborudovanie/oborudovanie_dlya_briketirovaniya_ugolnoj_pyli.html (дата обращения: 10.12.2021)

12 Мурко В.И., Карпенко В.И., Белогурова Т.П., Миханошина И.А. Разработка технологии комплексного использования побочных продуктов обогащения угля // Уголь. – 2017. – № 4. – С. 54-49.

13 Программа развития кластера «Комплексная переработка угля и техногенных отходов» на период 2015-2020 гг // Карта кластеров России. – URL:

<https://map.cluster.hse.ru/file/571/Кластер%20по%20комплексной%20переработке%20угля.%20Программа%20развития.pdf> (дата обращения: 10.12.2021)

14 Филенко В.В., Карпенко С.В., Николаенко К.В. Разработка технологии повторного обогащения мелкозернистых отходов угольных шахт Западной Сибири // Геолого-минералогический вестник Криворизького национального университета. - 2010. - № 1-2. - С. 78-81.

15 Степаненко А.И. «СЕПАИР». Технология и аппараты пневмосепарации руд и нерудных материалов: - Новосибирск, Гормашэкспорт, 2020. – 35 с.

16 «Сепайр». Технология и оборудование сухого обогащения сырья // АО «Гормашэкспорт». – URL: https://gmexp.ru/netcat_files/userfiles/SEPAIR.pdf (дата обращения: 10.12.2021)

17 Основные показатели угольной отрасли Кузбасса за 2020 г. // Министерство угольной промышленности Кузбасса. – URL: <https://mupk42.ru/ru/industry/pokazateli/> (дата обращения: 10.12.2021)

18 Доклад «Социально-экономическое развитие Республики Коми в 2020 году» // Министерство экономического развития и промышленности Республики Коми. – Сыктывкар, 2021. – 83 с.

К разделу 2.6

1 Маркелов А.Ю., Ширяевский В.Л., Пупырев Е.И., Шеремета И.О., Никитин В.В. Технология остеклования илового осадка сточных вод в сравнении с другими методами переработки // Водоснабжение и санитарная техника. - 2021. - № 7. - С. 30-40.

2 Валиев В.С., Иванов Д.В., Шагидуллин Р.Р. Способы утилизации осадков городских сточных вод (обзор) // Российский журнал прикладной экологии. – 2020. - №4. - С. 52-63.

3 Revealed: salmonella, toxic chemicals and plastic found in sewage spread on farmland // Unearthed. Greenpeace. – URL: <https://unearthed.greenpeace.org/2020/02/04/sewage-sludge-landspreading-environment-agency-report/> (дата обращения: 10.12.2021)

4 Волков С.Н., Рублевская О.Н., Тихонова И.О., Гусева Т.В., Иикканен М. Опыт развития объектов водоотведения ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»: этапы перехода к наилучшим доступным технологиям // Водное хозяйство России. – 2020. - № 6. – С. 104-120.

5 Насыров И. А., Маврин Г. В., Шайхиев И. Г. Проблемы утилизации иловых осадков очистных сооружений // Вестник технологического университета. – 2015. – Т.18. – № 19. – С. 257-259

6 Ковалева О.В., Костомахин Н.М., Лебедев Е.Я. Влияние биопрепаратов на состав осадка сточных вод молокоперерабатывающих предприятий // Аграрная наука. – 2020. – № 338 (5). – С. 81–84.

7 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами». ИТС 9 - 2020. - М: Бюро НДТ, 2020. – 200 с.

8 Заявка № 2020-20(б)-8983-5037 от 06.12.2021 в Совет по приоритетному направлению на научно-технологического развития Российской

Федерации, определенному пунктом 20(б) Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации на разработку комплексной научно-технической программы «Комплексные системы обращения с коммунальными и промышленными отходами»

9 Симонов А.Д., Языков Н.А, Трачук А.В., Яковлев В.А. Сжигание осадков сточных вод коммунального хозяйства в псевдооживленном слое катализатора // Альтернативная энергетика и экология. - 2010. - № 6 (86). - С. 61-66.

10 Технология каталитического сжигания иловых осадков сточных вод. ФИЦ «Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН». - URL: https://catalysis.ru/block/index.php?ID=3&SECTION_ID=1948 (дата обращения: 10.12.2021)

11 Техничко-экономическое обоснование Комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Высокоэффективные энергосберегающие установки экологически чистого термокаталитического сжигания иловых осадков коммунальных очистных сооружений». – Новосибирск. – 120 с.

12 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов». ИТС 10 - 2019. - М: Бюро НДТ, 2019. – 426 с.

13 Водоканал поделился опытом обработки осадка сточных вод // Официальный сайт ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». – URL: http://www.vodokanal.spb.ru/presscentr/news/vodokanal_podelilsya_opytom_obrabotki_osadka_stochnyh_vod/ (дата обращения: 10.12.2021)

14 Sewage sludge production and disposal // Eurostat. – URL: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do> (дата обращения: 10.12.2021)

15 PYROFLUIDTM – Сжигание отходов, извлечение энергии и вторичное использование золы // Официальный сайт Veolia Water Technologies. – URL: https://www.veoliawatertechnologies.ru/sites/g/files/dvc3661/files/document/2021/04/55440-631-160113_Pyrofluid_LR_Ru-1.pdf (дата обращения: 10.12.2021)

16 Семашко Н. В будущее без осадка // Коммерсантъ. – Приложение № 40 от 28.09.2018. – С. 7.

17 Водоканал ведет поиск лучших решений по использованию золы, образующейся при сжигании осадка сточных вод // Официальный сайт ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». – URL: http://www.vodokanal.spb.ru/presscentr/news/vodokanal_vedet_poisk_luchshih_reshenij_po_ispolzovaniyu_zoly_obrazuyuwejsya_pri_szhiganii_osadka_stochnyh_vod/ (дата обращения: 10.12.2021)

18 Sannino D., Vaiano V., Ciambelli P., Caracciolo D., Naviglio B., Calvanese G. Enhanced thermal treatment of tannery sewage sludge // Chemical Engineering Transactions. – 2010. – No. 21. Pp. 871-876.

19 Zhiang W., Chen H., Yi X., Yifei L., Lihui F., Mengmeng J. Combustion behaviors and kinetics of sewage sludge blended with pulverized coal: with and without catalysts // Waste management. – 2018. - Vol. 74. – Pp. 288-296.

20 Jumoke O., Kaiqi S., Xiang L., Gang Y., Tao W. A review of sludge-to-energy recovery methods // Energies. - 2019. – No. 12. - Vol. 60.

21 Han X., Nju M., Juang X., Liu J. Combustion characteristics of sewage sludge in a fluidized bed // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2012. No. 51. Pp. 10565-10570.

22 Совместное предприятие ВЭБ.РФ и «Росводоканала» позволит тиражировать технологию ИК СО РАН по утилизации илов. – URL: <https://catalysis.ru/news/detail.php?ID=38741> (дата обращения: 10.12.2021)

23 В Омске введена в эксплуатацию вторая очередь сооружений повторного использования промывных вод. – URL: <https://watermagazine.ru/novosti/proekty/20441-v-omske-vvedena-v-ekspluatatsiyu-vtoraya-ochered-sooruzhenij-povtornogo-ispolzovaniya-promyvnykh-vod.html> (дата обращения: 10.12.2021)

24 Временные методические рекомендации по расчету нормативов образования отходов производства и потребления. – СПб, 1998. - 17 с.

25 Нагреть до нужной температуры. Фонд Сколково – URL: <https://old.sk.ru/news/b/press/archive/2020/02/13/nagret-do-nuzhnoy-temperature.aspx> (дата обращения: 10.12.2021)

26 Анализ рынка переработки органических отходов. – «Смарт Консалт», 2020. – 124 с.

27 Gasson C. Polishing the emotional appeal of sewage sludge // Global Water Intelligence. – URL: <https://www.globalwaterintel.com/news/2021/5/polishing-the-emotional-appeal-of-sewage-sludge> (дата обращения: 10.12.2021)

28 Trends in the sludge treatment market // Global Water Intelligence. – URL: <https://www.globalwaterintel.com/global-water-intelligence-magazine/21/5/general/trends-in-the-sludge-treatment-market> (дата обращения: 10.12.2021)

29 Hall J. Ecological and economical balance for sludge management options // European Commission. – URL: <https://ec.europa.eu/environment/archives/waste/sludge/pdf/workshoppart4.pdf> (дата обращения: 10.12.2021)

30 Wei L., Zhu F., Li Q., et al. Development, current state and future trends of sludge management in China: Based on exploratory data and CO₂-equivalent emissions analysis // Environment International. – 2020. – Vol. 144. – 106093.

31 Zamparas M. The role of resource recovery technologies in reducing the demand of fossil fuels and conventional fossil-based mineral fertilizer // Low Carbon Energy Technologies in Sustainable Energy Systems. – 2021. – Pp. 3-24.

К разделу 2.7

1 Стороженко Г. И. Стратегия переработки отходов обогащения железных руд Мунды-Башской обогатительной и Абагурской

агломерационно-обогащительной фабрики [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.itp.nsc.ru/website/inst/upload/custom/files/strategiya-pererabotki-otchodov-obogascheniya-zheleznich-rud.pdf> (дата обращения: 05.12.2021).

2 Патент РФ № 2619905 «Мельница-сушилка для дробления, селективного помола и сушки полиминеральных отходов» / Реестр изобретений Российской Федерации. Федеральный институт промышленной собственности [Электронный ресурс]. - URL: <https://new.fips.ru/registers-web/action?acName=clickRegister®Name=RUPAT> (дата обращения: 04.12.2021).

3 Дворников Н. А. Технологические основы сушки в псевдосжиженном слое и ее применение для сухого обогащения каолина // *Ceramics: science and life*. - 2018. - № 1 (38). - С. 22-29. DOI: 10.26909/csl.1.2018.4.

4 Заявка № 2020-20(б)-8983-5037 от 20.02.2021 г. в Совет по приоритетному направлению научно-технологического развития Российской Федерации, определенному пунктом 20(б) Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации на разработку комплексной научно-технической программы «Комплексные системы обращения с коммунальными и промышленными отходами» - С. 15.

5 Ларичкина Ф. Д., Кныша В. А. (ред.). Рациональное использование вторичных минеральных ресурсов в условиях экологизации и внедрения наилучших доступных технологий : монография - Апатиты: Издательство ФИЦ КНЦ РАН, 2019. - 252 с.

6 Кузнецов В. С. Оценка влияния отвалов пустой породы на состояние атмосферного воздуха при открытой разработке железорудных месторождений, расположенных в северных регионах//Записки Горного института. - 2013. - Т. 203. - С. 182-184.

7 Соловьянов А. А. Прошлый (накопленный) экологический ущерб: проблемы и решения. I. Источники и виды загрязнения//Экологический вестник России [Электронный ресурс]. - URL: <http://ecovestnik.ru/index.php/2013-07-07-02-13-50/kommentrij-specialista/2311-proshlyj-nakoplennuj-ekologicheskij-ushcherb-problemy> (дата обращения: 04.12.2021).

8 Архипов А. В., Решетняк С. П. Техногенные месторождения. Разработка и формирование: монография - Апатиты: КНЦ РАН, 2017. - 175 с.

9 Крылов И. О., Сыса П. А. Технология переработки отходов техногенных железных руд на примере хвостов и отвалов Камыш-Бурунского железорудного комбината (Республика Крым) // *Экология и промышленность России*. - 2016. - Т. 20. - № 12. - С. 18-24. DOI: 10.18412/1816-0395-2016-12-18-24.

10 Панова В. Ф., Панов С. А., Карпачева А. А., Прохоренко О. Д. Переработка отходов обогащения железной руды // *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. - 2017. - № 3(21). - С. 56-62.

11 Ежов А. И. Оценка техногенного сырья в Российской Федерации (твердые полезные ископаемые) // Горные науки и технологии. - 2016. - № 4. - С. 62-75.

12 Волынкина Е. П. Анализ состояния и проблем переработки техногенных отходов в России // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. - 2017. - № 2(20). - С. 43-49.

13 Немировский А. В. Разработка метода формирования намывного хвостохранилища, устойчивого к ветровым потокам / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 - «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика». - 2016. - 131 с.

14 Быховсчкий Л. З., Спорыхина Л. В. Техногенные отходы как резерв пополнения минерально-сырьевой базы: состояние и проблемы освоения // Минеральные ресурсы мира. - 2011. - № 4. - С. 15-20.

15 "Налоговый кодекс Российской Федерации (часть вторая)" от 05.08.2000 N 117-ФЗ (ред. от 29.11.2021) / Консультант плюс [Электронный ресурс]. - URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28165/ (дата обращения: 10.12.2021).

16 Постановление Правительства РФ от 01.01.2002 N 1 (ред. от 27.12.2019) "О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы" / Консультант плюс [Электронный ресурс]. - URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34710/ (дата обращения: 10.12.2021).

17 Голик В. И., Комащенко В. И., Поляков А. В. Современные технологии извлечения металлов из хвостов обогащения и переработки руд с целью их комплексного использования // Известия ТулГУ. Науки о земле - 2016. - Выпуск 1. - С. 100-111.

К разделу 2.8

1 Заявка № 2020-20(б)-8983-5037 от 20.02.2021 г. в Совет по приоритетному направлению научно-технологического развития Российской Федерации, определенному пунктом 20(б) Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации на разработку комплексной научно-технической программы «Комплексные системы обращения с коммунальными и промышленными отходами» - С. 15.

2 Алексеенко С. В. 10 прорывных идей в энергетике на следующие 10 лет / Глобальная энергия [Электронный ресурс]. - 2020. - URL: <https://globalenergyprize.org/ru/10-proryvnyh-idej-v-energetike-na-sledujushhie-10-let/> (дата обращения: 7.12.2021). - С. 53-64.

3 Retech, Inc., Plasma Centrifugal Furnace: Applications Analysis Report [Электронный ресурс]. - URL: <https://play.google.com/store/books/details?id=rrMsrNLYSL0C&rdid=book-rrMsrNLYSL0C&rdot=1> (дата обращения: 8.12.2021).

4 Womack R. K. Using the Centrifugal Method for the Plasma-Arc Vitrification of Waste//journal JOM. - 1999. - 51(10). - pp. 14-16. URL: <https://www.tms.org/pubs/journals/jom/9910/womack-9910.html> (дата обращения: 8.12.2021).

5 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям 9-2020: Утилизация и обезвреживание отходов термическим способом / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. - М.: Бюро НДТ, 2020. - 208 с.

6 Отделение физики плазмы и плазменных технологий / Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.itmo.by/laboratory/opt/> (дата обращения: 10.12.2021).

7 Мессерле В. Е., Моссэ А. Л., Никончук А. Н., Устименко А. Б. Плазмохимическая переработка медико-биологических отходов//Инженерно-физический журнал. - 2015. - Т. 88. - № 6. - С. 1420-1424.

8 Бернадинер М. Н., Бернадинер И. М. Высокотемпературная переработка отходов. Плазменные источники энергии//Твердые бытовые отходы. - 2011. - № 4. - С. 16-19.

9 Моссэ А. Л., Савчин В. В. Плазмотермическая обработка токсичных отходов//Твердые бытовые отходы. - 2006. - № 12. - С. 22-24.

10 Братцев А. Н., Попов В. Е., Рутберг А. Ф., Штенгель С. В. Установка для плазменной газификации различных видов отходов//Теплофизика высоких температур. - 2006. - № 6. - С. 832-837.

11 Киселев А. Почему сжигание отходов – это не выход / Greenpeace [Электронный ресурс]. - 2021. - URL: <https://greenpeace.ru/expert-opinions/2021/03/03/pochemu-szhiganie-othodov-jeto-ne-vyhod/> (дата обращения: 9.12.2021).

12 Матковский П. Е., Яруллин Р. С. Технологии получения и переработки синтез-газа // Газохимия. - 2011. - С. 77-84.

13 Genon G., Brizio E. Perspectives and limits for cement kilns as a destination for RDF // Waste Management. - 2008. - 28. - pp. 2375–2385. DOI: 10.1016/j.wasman.2007.10.022

14 Линии производства альтернативного топлива RDF / Экоросстрой [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.ecorosstroy.ru/RDF/> (дата обращения: 10.12.2021).

15 Управление огнем / Российская газета [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: <https://rg.ru/2020/05/26/reg-cfo/eksperty-oprovergli-mify-o-novyh-musoroszhigatelnyh-zavodah.html> (дата обращения: 10.12.2021).

16 Охрана окружающей среды в России. 2020: Стат. сб./Росстат. - М., 2020. - 113 с.

17 Минэнерго предложило вдвое сократить число мусоросжигательных заводов / Ведомости [Электронный ресурс]. - 2021. - URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2021/04/28/868131-minenergo-sokratit> (дата обращения: 10.12.2021).

18 Синтез-газ / Haldor Topsoe [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.topsoe.com/ru/processes/syngas> (дата обращения: 10.12.2021).

19 Мировой рынок мусора: захоронение отходов – удел отстающих стран / Реальное время [Электронный ресурс]. - URL: <https://realnoevremya.ru/articles/166395-mirovoy-musornyy-rynok-poka-v-pereodnyh-stranah-szhigayut-i-sortiruyut-v-rossii-plodyat-poligony> (дата обращения: 10.12.2021).

20 Global Waste Management Market (2021 to 2030) - by Waste Type, Service and Region / CISION PR Newswire [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-waste-management-market-2021-to-2030---by-waste-type-service-and-region-301413066.html#:~:text=The%20Global%20Waste%20Management%20Market,6.1%25%20from%202021%2D2030.> (дата обращения: 10.12.2021).

21 Правда ли, что в Европе популярно мусоросжигание / +1 [Электронный ресурс]. - URL: <https://plus-one.ru/ecology/2021/08/31/pravda-li-cto-v-evrope-populyarno-musoroszhiganie> (дата обращения: 10.12.2021).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Описание технологических предложений

А.1 Технологии генерации электроэнергии из низкокалорийного топливного газа

Цель комплексной программы/комплексного проекта: Создание энергоэффективных модульных энергокомплексов для обеспечения электроснабжения установок по переработке ТКО за счет сжигания низкокалорийного топливного газа собственного производства.

Комплексные задачи, на решение которых направлены комплексная программа/комплексный проект: Обоснование и разработка оптимальных циклов модульных энергокомплексов на низкокалорийном топливном газе, включая циклы с использованием в качестве рабочего тела воды и органических теплоносителей; Комплексные исследования органических теплоносителей, предназначенных для использования в качестве рабочих тел циклов модульных энергокомплексов на низкокалорийном топливном газе с воздушным охлаждением; Разработка типоразмерного ряда модульных энергокомплексов на низкокалорийном топливном газе; Разработка систем воздушного охлаждения модульных энергокомплексов на низкокалорийном топливном газе; Создание опытных модульных энергокомплексов на низкокалорийном топливном газе; Опытно-промышленная эксплуатация модульных энергокомплексов на низкокалорийном топливном газе; Создание серийного производства модульных энергокомплексов на низкокалорийном топливном газе.

Информация о научно-техническом заделе организаций, являющихся потенциальными заказчиками и участниками комплексной программы/ комплексного проекта:

- ЗАО НПВП «Турбокон», ОАО «ВТИ», МГТУ и КГУ созданы лаборатории, имеющие стендовую базу для экспериментальных исследований процессов теплообмена при кипении и конденсации воды и органических теплоносителей;

- ИТ СО РАН созданы стенды для исследований теплофизических и термодинамических свойств индивидуальных веществ и смесей;

- ИТ СО РАН созданы уникальные научные установки.

Предлагаемые показатели комплексной программы, комплексного проекта: 10 РИД; 15 статей; 10 диссертаций; 3 опытно-промышленные установки.

Предлагаемые мероприятия комплексной программы и работы комплексного проекта: Теоретические исследования и моделирование модульных энергокомплексов на низкокалорийном топливном газе; Комплексные исследования органических теплоносителей, предназначенных для использования в качестве рабочих тел циклов, включая экспериментальные исследования свойств веществ и смесей и процессов

теплообмена; Разработка типоразмерного ряда модульных энергокомплексов; Разработка систем воздушного охлаждения модульных энергокомплексов; Опытно-технологические работы по подготовке производства модульных энергокомплексов; Опытно-технологические работы по подготовке производства систем воздушного охлаждения; Создание систем воздушного охлаждения модульных энергокомплексов; Создание опытных модульных энергокомплексов; Опытно-промышленная эксплуатация модульных энергокомплексов.

Предполагаемые сроки и этапы реализации комплексной программы/комплексного проекта: 1. Теоретические исследования, 2020-2021 гг.; 2. Экспериментальные исследования, 2021 г.; 3. Опытно-конструкторские и технологические работы, 2021-2022 гг.; 4. Изготовление оборудования, 2022-2024 гг.; 5. Опытно-промышленная эксплуатация, 2024-2026 гг.

Ключевые ожидаемые промежуточные результаты реализации комплексной программы/комплексного проекта: Обоснование параметров циклов и выбор рабочих тел; Типоразмерный ряд энергокомплексов; Опытные энергокомплексы; Отчеты об опытно-промышленной эксплуатации.

Обоснование необходимости проведения фундаментальных научных исследований

Наиболее энергоэффективным энергетическим циклом на низкокалорийном топливном газе является бинарный цикл с тепловым двигателем (газопоршневым или газотурбинным), котлом утилизатором и паротурбинной установкой с водяным или органическим рабочим телом.

Использование водяного пара в энергокомплексах малой и средней мощности может быть ограничено дефицитом воды, а также суровыми климатическими условиями, создающими риски замерзания контура циркуляции рабочего тела.

Для климатических условий Сибири, Дальнего Востока, а также северных районов Центральной России применение установок на органическом цикле Ренкина (ОЦР) является более надежным решением, позволяющим в полной мере реализовать преимущества воздушного охлаждения энергетического оборудования.

Стандартной мировой практикой для указанных комплексов является использование промежуточного контура с высокотемпературным органическим теплоносителем. Указанное решение имеет очевидные недостатки связанные с усложнением конструкции, а также со снижением КПД производства электроэнергии в связи с пониженными начальными параметрами цикла и затратами энергии на циркуляцию промежуточного теплоносителя.

Ниже приведены данные по патентной активности мировых лидеров направления ОЦР, показывающие нацеленность конкурентов на реализацию установок без промежуточного контура. Однако следует отметить, что реализованные проекты по указанной схеме пока отсутствуют.

Создание инновационных одноконтурных схем энергокомплексов ОЦР невозможно без достоверных данных по свойствам рабочих тел цикла.

Исследования, проведенные предполагаемыми участниками настоящей КНТП, показали, что экспериментальные данные по термостабильности и теплофизическим свойствам потенциальных рабочих тел цикла, например R245fa и R1233zd, в верхней части рабочего диапазона температур бинарного энергокомплекса на низкокалорийном топливном газе отсутствуют.

В связи с вышеизложенным для разработки отечественных установок, соответствующих новому поколению, в составе работ КНТП запланированы фундаментальные научные исследования, включающие экспериментальные исследования теплофизических свойств и термостабильности рабочих тел цикла, а также коррозионной активности продуктов их термодеструкции.

Результаты проекта: опытно-промышленный энергокомплекс на низкокалорийном топливном газе мощностью 500 -1000 кВт; типоразмерный ряд энергокомплексов от 500 кВт до 5 МВт.

Научно-технические заделы проекта сформированы, в том числе, с использованием бюджетного финансирования в рамках следующих соглашений:

Распорядитель бюджетных средств – Минобрнауки:

- Соглашение о предоставлении субсидий № 14.579.21.0148 от 26.09.2017 г. по теме: «Разработка и экспериментальная апробация научно-технических решений по созданию конкурентоспособных модульных энергоустановок на геотермальных источниках в регионах с ограниченными водными ресурсами» «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы», 75 млн.руб.;
- Соглашение о предоставлении субсидий №14.579.21.0031 по теме: «Разработка нового типа экологически чистой технологии производства электроэнергии с использованием тепловых выбросов на газоперекачивающих станциях магистральных газопроводов, химического и металлургического производства с изготовлением, исследованием и испытанием типовых модулей энергетического оборудования» ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы», 43,5 млн. руб.

Распорядитель бюджетных средств – Фонд «Сколково»:

- Соглашение о предоставлении микрогранта для целей компенсации понесенных участником проекта расходов № 40113/07002/1371-2019 от 19.12.2019г., 0,454640 млн. руб.;
- Соглашение о предоставлении микрогранта для целей компенсации понесенных участником проекта расходов № 40113/07002/1372-2019 от 19.12.2019г., 0,396140 млн. руб.;
- Соглашение о предоставлении микрогранта для целей компенсации понесенных участником проекта расходов № 40113/07002/1373-2019 от 19.12.2019 г., 0,585140 млн. руб.;

Соглашение о предоставлении микрогранта для целей компенсации понесенных участником проекта расходов № 40113/07002/1374-2019 от 19.12.2019 г., 0,526640 млн. руб.;

Соглашение о предоставлении микрогранта для целей компенсации понесенных участником проекта расходов № 40113/07002/0093-2021 от 20.02.2021 г., 1,485 млн. руб.;

Соглашение о предоставлении микрогранта для целей компенсации понесенных участником проекта расходов № 40113/07002/0120-2021 от 20.02.2021 г., 1,485 млн. руб.;

Соглашение о предоставлении микрогранта для целей компенсации понесенных участником проекта расходов № 40113/07002/0101-2021 от 20.02.2021 г., 1,005 млн. руб.

За счет вышеуказанных средств госфинансирования, а также за счет собственных средств участников КНТП и средств индустриальных партнеров создана лабораторная база для исследования свойств органических рабочих тел и моделирования тепломассообменных процессов энергоустановок с водяным и органическими рабочими телами.

По результатам исследований по тематике проекта предполагаемыми участниками КНТП опубликованы 12 статей.

Участниками КНТП получены следующие патенты на технические решения энергокомплексов:

- Патент на полезную модель «Секционная конденсационная установка», патентообладатель: Закрытое акционерное общество Научно-производственное внедренческое предприятие "Турбокон" (RU), RU 185511, F28B 9/10, № заявки: 2018124027, дата подачи заявки: 02.07.2018;

- Патент на полезную модель «Воздушный конденсатор пара избыточного давления», патентообладатель: Закрытое акционерное общество Научно-производственное внедренческое предприятие "Турбокон" (RU), RU 185915, F28B 1/06, № заявки: 2018130405, дата подачи заявки: 21.08.2018;

- Патент на полезную модель «Устройство поддержания уровня в замкнутой газожидкостной системе», патентообладатель: Закрытое акционерное общество Научно-производственное внедренческое предприятие "Турбокон" (RU), RU 185977, F04D 9/06, F04D 13/12, № заявки: 2018130403, дата подачи заявки: 21.08.2018;

- Патент на изобретение «Энергетическая теплоутилизационная установка», патентообладатель: Закрытое акционерное общество Научно-производственное внедренческое предприятие "Турбокон" (RU), RU 2716644, F22B 35/00, № заявки: 2019125773, дата подачи заявки: 13.08.2019;

- Патент на изобретение «Парогазовая установка с воздушным конденсатором», патентообладатель: ООО "ТЕРМОКОН" (RU), RU 2745468, F01K 23/10, № заявки: 2020128574, дата подачи заявки: 27.08.2020;

- Заявка на изобретение «Энергетическая установка», патентообладатель: Закрытое акционерное общество Научно-производственное внедренческое

предприятие "Турбокон" (RU), № заявки: 2020138053, дата подачи заявки: 19.11.2020.

Научно-техническая новизна результатов КНТП, которые предполагается получить при реализации проекта:

1) Бинарные энергокомплексы на низкокалорийном топливном газе с нагревом органического рабочего тела уходящими газами теплового двигателя в котле-утилизаторе;

2) Энергоэффективная система воздушного охлаждения энергокомплексов на низкокалорийном топливном газе, включая многоходовые конденсаторы пара рабочего тела.

Научные исследования, приводящие к результатам, характеристики которых тождественны результатам проекта

Как было указано выше анализ патентов, принадлежащих мировым лидерам в области установок на ОЦР, выявил нацеленность конкурентов на реализацию цикла без промежуточного контура (RU 2 502 880 С2 опубликовано 27.12.2013 г. Патентообладатель ОРМАТ ТЕКНОЛОДЖИЗ ИНК. (US); RU 2 561 221 С2 Опубликовано: 27.08.2015 г. Патентообладатель: Нуово Пиньоне С.п.А. (ИТ)).

Одноконтурная установка ОЦР позволяет значительно упростить схему комплекса. Отказ от промежуточного контура позволяет снизить капитальные и эксплуатационные затраты за счет систем, обеспечивающих циркуляцию и подпитку контура термомасла. Теоретически появляется возможность поднять начальные параметры цикла (давление и температуру рабочего тела на входе в турбину), что позволяет увеличить КПД производства электроэнергии. Однако для реализации этого решения необходимо гарантировать термостабильность применяемого рабочего тела во всех эксплуатационных режимах, а также его долговечность.

Риски проекта

Риск недостижения цели проекта. Риск минимизирован за счет:

- полученных ранее научно-технических заделов и сложившейся команды квалифицированных исследователей, а также наличия необходимой лабораторной базы;

- заинтересованности со стороны промышленных партнеров, имеющих необходимую для производства разрабатываемого оборудования высокотехнологичную базу, финансовые и кадровые ресурсы, а также опыт реализации крупных инновационных проектов;

Риск невостребованности результатов проекта со стороны государственных Заказчиков. Минимизация этого риска целиком зависит от действий государственных органов, определяющих экологическую политику.

Риск невозможности использовать результаты проекта в связи с изменением законодательства. Минимизация этого риска целиком зависит от действий государственных органов, определяющих экологическую политику.

Информация о ранее полученном бюджетном финансировании: Объем ранее полученного бюджетного финансирования по тематике проекта составляет 124 млн. руб.

Оценка рынка

Наиболее перспективным выглядит применение технологии сжигания низкокалорийного газа для комплексов мощностью до 5 МВт (э) с переработкой до 80 000 т. ТКО в год. Указанные комплексы могут быть востребованы при переработке ТКО, поступающих из городов с численностью населения до 500 тыс. чел.

Оценка потенциального объема рынка выполнена с учетом следующих статистических данных:

- в крупных мегаполисах РФ проживает около 25% населения страны;
- доля сельского населения РФ составляет около 25% населения страны;
- доля населения городов с численностью населения до 500 тыс. чел. составляет около 50% населения страны.

Потенциальный объем энергетической утилизации ТКО с использованием указанных комплексов будет пропорционален доле населения и составит около 35 млн. т. в год. На этом количестве ТКО могут работать установки общей установленной электрической мощностью более 2000 МВт, обеспечивающие выработку электроэнергии в объеме более 17 млн. МВт*ч в год.

Замещение электроэнергией, полученной при утилизации ТКО, выработки теплоэлектростанций, потенциально может снизить эмиссию парниковых газов на 7 млн. т CO₂ в год.

Основным параметром, по которому осуществляется конкуренция на рынке энергоустановок ОЦР, является объем капитальных затрат на единицу установленной электрической мощности. Указанный параметр для импортных установок для утилизации сбросного тепла тепловых двигателей оценивается в 2500-2700 Евро без НДС за 1 кВт установленной мощности, что составляет по текущему курсу 216 000-233 280 руб.

Целевым показателем для разрабатываемых в рамках КНТП отечественных комплексов является стоимость в 190 000 – 200 000 руб. без НДС за 1 кВт установленной мощности, что на 10-15% ниже импортных аналогов.

С учетом целевых показателей удельной стоимости энергокомплексов, а также потенциальной установленной мощности, объем перспективного внутреннего рынка для отечественного высокотехнологичного энергетического оборудования, который будет формироваться по результатам проекта, оценивается в 400 млрд. руб.

Сегменты рынка энергетической утилизации отходов

1) Сегмент электростанций на твердых коммунальных отходах (ТКО)

Согласно данным [1] в 2017 г. с территории городских поселений было вывезено 57,1 млн. т. ТКО, из них 50,9 млн. т. было захоронено на полигонах. После сортировки и обработки из ТКО может быть произведено топливо RDF (refuse derived fuel). По данным [2] калорийность указанного топлива находится в диапазоне 12-18 МДж/кг. Принимая выход RDF из ТКО в 30%, получаем потенциальный объем производства этого топлива в 15 млн. т. в год.

Наиболее перспективным выглядит применение утилизационных тепловых энергокомплексов на органическом цикле Ренкина (УТЭК) для комплексов по сжиганию RDF мощностью до 5 МВт (э) с потреблением до 65000 т. топлива в год. Указанные комплексы могут быть востребованы при переработке ТКО, поступающих из городов с численностью населения до 500 тыс. чел. С учетом того, что в крупных мегаполисах РФ проживает около 25% населения страны, а также с учетом доли сельского населения в 25%, получаем, что комплексы по переработке ТКО с УТЭК на ОЦР могут обслуживать территории с долей населения около 50%. Объем производства RDF топлива на указанных комплексах будет пропорционален доле населения и составит около 7,5 млн. т. в год. На этом количестве топлива могут работать УТЭК общей установленной электрической мощностью около 580 МВт.

2) Сегмент электростанций на биотопливе

Согласно данным [3] в 2017 г. в России образовалось 4,8 млн. т. отходов деревообработки из которых 4 млн. т. было обезврежено. С учетом средней калорийности отходов 10 МДж/кг потенциальная общая электрическая мощность УТЭК на отходах деревообработки может составить 50 МВт.

Согласно данным [4] ежегодно в России образуется 1-2 млн.т отходов маслоэкстракционного производства – лузги подсолнечника. Калорийность лузги при сжигании составляет 18 МДж/кг. Общая установленная мощность УТЭК на указанном биотопливе может составить более 100 МВт.

Согласно данным [5] ежегодно в России образуется 98 млн.т соломы. Калорийность соломы при сжигании составляет 15,7 МДж/кг. Общая установленная мощность УТЭК на указанном биотопливе может составить более 9 000 МВт. По данным того же источника самым распространенным технологическим способом переработки соломы зерновых культур в мире является её использование для производства биотоплива. Признанным лидером в данной области является Дания, где из ежегодно образующихся 6 млн. т соломы, около 1,5 млн. т сжигается для производства биоэнергии (около 17 ПДж/год). На сегодняшний день в Дании работает более 10 тыс. фермерских котлов на соломе (0,1-1,0 МВт) и около 55 котельных в системе централизованного теплоснабжения (0,5-12 МВт). Кроме того, 8 ТЭЦ (2-28 МВт электрической мощности) и 4 электростанции совместно с соломой используют древесную щепу, ТБО или ископаемые топлива (уголь, природный газ). Самой крупной по объему потребления соломы (170 тыс. т/год) является электростанция Фул мощностью 35 МВт (э). В Великобритании работает одна из самых крупных в мире электростанций на соломе – 38 МВт (э), утилизируя около 200 тыс. т/год. Растительные сельскохозяйственные

отходы для производства твердого биотоплива применяются в Испании, Польше и США. Технологии производства энергии из соломы активно развиваются также в Китае. Компания DP CleanTech в период 2006-2012 гг. внедрила в стране 34 электростанции на соломе общей мощностью 1200 МВт (э). Типичным примером является ТЭС 30 МВт (э) (160 тыс. т соломы в год) в Liaoyuan, поставляющая 200 ГВт·ч/год электроэнергии в национальную сеть.

Оценочный объем потенциального внутреннего рынка УТЭК на ОЦР (Оценка установленной мощности УТЭК, МВт (э)): Всего – 9 730 МВт, в том числе: ТКО – 580 МВт; Биотопливо – 9 150 МВт.

Список литературы

1. Сборник Росстат «Охрана окружающей среды в России», с 89. (https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/ohrana_2018.pdf).

2. И.М. Бернадинер, Е.Ю. Александрова Использование отходов как альтернативного топлива в цементной печи. Твердые бытовые отходы №11, 2017, с. 25 (<http://www.solidwaste.ru/i/publ/1148/14.11.pdf>).

3. Сборник Росстат «Охрана окружающей среды в России», с 85, 87. (https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/ohrana_2018.pdf).

4. Ю.Н. Картушина, Н.В. Грачева, М.А. Данилова. Перспективы использования отходов маслоэкстракционного производства (лузги подсолнечника) с целью получения меланинов. Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения» с. 90. <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C52/028.pdf>.

5. Ю.Н. Картушина, Н.В. Грачева, М.А. Данилова. Вторичное использование отходов растениеводства (соломы зерновых культур). Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения» с. 93. <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C52/028.pdf>.

А.2 Технология низкоэмиссионного сжигания жидких горючих отходов в присутствии водяного пара с производством тепловой энергии

Наименование технологии: Технология низкоэмиссионного сжигания жидких горючих отходов в присутствии водяного пара с производством тепловой энергии.

Разработчик: ФГБУН «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук».

Координатор проекта: Ануфриев Игорь Сергеевич anufriev@itp.nsc.ru.

Цель: Разработка технологии низкоэмиссионного сжигания жидких горючих отходов в присутствии водяного пара с производством тепловой энергии.

Задачи: технология низкоэмиссионного сжигания жидких горючих отходов в присутствии водяного пара с производством тепловой энергии; разработка и создание опытного образца горелочного устройства для утилизации жидких горючих отходов; опытная оптимизация конструктивных и режимных параметров горелочного устройства для сжигания некондиционных жидких углеводородов; достижение высоких экологических характеристик, в первую очередь низкий уровень выбросов оксидов азота в продуктах сгорания, соответствующих действующим нормативам; обеспечение возможности устойчивого и эффективного сжигания жидких горючих отходов в устройствах малой мощности; подготовлены публикации в рейтинговых научных журналах, входящих в базу Scopus; подача заявок на изобретения.

Научно-технический задел организаций - участников комплексного проекта: Предложен и реализован перспективный способ сжигания некондиционных жидких углеводородов в горелочном устройстве с распылением струей перегретого водяного пара. Разработаны и созданы оригинальные жидкотопливные горелочные устройства, защищенные патентами РФ на изобретения: РФ № 2219435 (2003); РФ № 2450207 (2012); РФ № 2523591 (2014); РФ № 2579298 (2016); РФ № 2678150 (2019); РФ № 2684300 (2019); РФ № 2705494 (2019); РФ № 2705495 (2019).

Наличие макетов, опытных образцов, стендовой базы: Лабораторные образцы горелочных устройств разной мощности (до 50 кВт); испарительные и распылительные типы; автономные устройства; Экспериментальный огневой стенд для проведения исследований (в составе УНУ ТГД ИТ СО РАН).

Результат НИОКР – (опытно-промышленный образец, комплекс): Опытно-промышленный образец.

Перерабатываемые отходы: Отработанные масла, Некондиционное дизельное и печное топливо, Нефтяные шламы, Отходы нефтепереработки и нефтедобычи, Сырая нефть (в т.ч. в результате аварий).

Производительность по отходам: 200 кВт (0.5 тонн/сутки).

Какие полезные продукты вырабатываются и сколько: Некондиционные жидкие углеводороды и горючие отходы утилизируются путем сжигания в струе водяного пара с образованием и совместным сгоранием синтез-газа, повышая полноту выгорания топлива и снижая выбросы оксидов азота.

Какие экологически вредные выбросы от работы установки (комплекса): Установка соответствует 1 классу норматива EN 267: $CO < 110$ мг/кВт ч, $NOx < 250$ мг/кВт ч.

Эксплуатационные затраты на работу установки: (электроэнергия, человеко-часы, вода, газ и т.д.) в год: 100 тыс.руб. (электроэнергия, вода, вентиляция).

Габариты установки (комплекса): 5*5 м.

Капитальные затраты на строительство установки (комплекса): 300 млн.руб.

Потребность в установках в России: Высокая, связана с огромным накоплением жидких горючих отходов.

Текущий статус разработки (уровень готовности технологии): НИР.

Стоимость НИОКР: 730 млн. руб.

Потенциал патентования и передачи технологии по лицензионным соглашениям: Имеется лицензионный договор с Индустриальным партнером (2020 год).

Оценка массы накопленных отходов в масштабе РФ: 200 млн. тонн

Оценка годовой массы образования отходов в масштабе РФ: 7 млн. тонн

Исполнители/соисполнители НИОКР: ФГБУН «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук».

Индустриальные партнеры: ООО «ЗиО-КОТЭС» (Новосибирск) – выполняет проектные, пуско-наладочные и конструкторские работы на крупных энергетических объектах, а также осуществляет проектирование объектов гражданского назначения, строительство «под ключ» автономных источников тепло- и электроснабжения и производство блочно-модульных котельных. Предприятие входит в реестр шести аккредитованных поставщиков инжиниринговых услуг ПАО «Интер РАО ЕЭС», является стратегическим партнером Международной инжиниринговой и консалтинговой компании «Роугу», участником партнерской программы «ГПБ-Энергоэффект» (нацеленной на внедрение энергоэффективных решений в пром. энергетике и ЖКХ), соучередителем российско-китайского предприятия «Инжиниринговая компания «СИ&ЭС», входит в консорциум «Феникс» в качестве ведущего проектировщика и разработчика комплексной системы утилизации золы уноса ТЭС.

Производитель установок: ООО «Сибстронг» (Новосибирск) – производитель автоматических блочных горелок.

Конечный заказчик (потребитель): Потребителями результатов ПНИ являются предприятия–производители котельного оборудования и горелочных устройств, которые могут использовать полученные результаты (в том числе – на основе приобретения лицензий) в целях модернизации и выпуска новых видов наукоемкой продукции.

Аннотация

Накопленные на территории России огромные запасы опасных горючих отходов производства и нефтепереработки, не пригодные для регенерации, представляют масштабную угрозу экологическому благополучию страны. По данным Росприроднадзора, ежегодное накопление отходов от добычи углеводородов превышает 7 млн тонн. В том числе, по данным МЧС России, на 15% территории Арктической зоны России зафиксирован критический уровень экологического загрязнения, а на Норильскую агломерацию и арктические районы освоения нефтяных и газовых месторождений Западной Сибири приходится 60% суммарного выброса загрязняющих веществ. Одной из причин экологического ущерба являются последствия хозяйственной

деятельности первой волны освоения Крайнего Севера. Следует отметить, что Арктическая зона занимает около 1/5 части всей территории страны и в настоящее время обеспечивает около 11% национального дохода России: здесь добывается значительное количество полезных ископаемых (апатит, никель, медь, алмазы и др.), находится более 70% запасов нефти и свыше 88% газовых запасов всех российских морских акваторий. В тоже время истощение запасов легко извлекаемых углеводородов на территории нашей страны вызывает в последние годы все больший интерес и тенденцию к развитию Арктического региона. Согласно Госпрограмме РФ «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации» (до 2025 года), предусмотрены задачи по «организации производства конкурентоспособной высокотехнологичной продукции для нужд геологоразведки, добычи и переработки минерального сырья в Арктической зоне Российской Федерации, обеспечивающей повышение энергоэффективности процессов освоения минеральных ресурсов на основе принципов ресурсосбережения и рационального природопользования». Однако Арктика имеет уникальные природно-климатические условия, в том числе флору и фауну, требующие особого внимания с точки зрения экологии. В частности, из-за длительного зимнего периода для данных территорий характерна высокая продолжительность распада и разложения вредных веществ. В связи с этим, несомненно, является важной и актуальной проблема экологически безопасной утилизации накопленных горючих производственных отходов (в том числе – отработанного масла, смазочных жидкостей, нефтяных шламов). Значительная часть этих отходов не пригодна для регенерации, но может подвергаться сжиганию, что позволило бы одновременно решить другую актуальную для условий Крайнего Севера проблему – задачу обеспечения автономного теплоснабжения жилых и производственных объектов, расположенных в труднодоступной местности. Существующие технологии сжигания жидкого топлива, как правило, ориентированы на качественные виды топлива (особенно дефицитные в труднодоступных районах Арктики), не обеспечивают соответствие современным экологическим нормам и требуют дополнительной дорогостоящей системы очистки дымовых газов. Сжигание «тяжелых» топлив традиционными способами не является эффективным по причине неустойчивости воспламенения, высокой нестабильности горения в топочной камере, относительно быстрого коксования поверхностей горелок, засорения топливных каналов и др. Благодаря отсутствию эффективных технологий экологически безопасной утилизации отходов, данный вид дешевого энергоносителя в настоящее время не востребован и продолжает накапливаться, усугубляя экологические риски. Создание указанных технологий возможно лишь на современной научной основе и требует проведения всесторонних исследований с применением передовых методов.

Цель комплексного проекта

Разработка технологии низкоэмиссионного сжигания жидких горючих отходов в присутствии водяного пара с производством тепловой энергии.

Комплексные задачи, на решение которых направлен проект

Технология низкоэмиссионного сжигания жидких горючих отходов в присутствии водяного пара с производством тепловой энергии:

- разработка и создание опытного образца горелочного устройства для утилизации жидких горючих отходов;
- опытная оптимизация конструктивных и режимных параметров горелочного устройства для сжигания некондиционных жидких углеводородов;
- достижение высоких экологических характеристик, в первую очередь низкий уровень выбросов оксидов азота в продуктах сгорания, соответствующих действующим нормативам;
- обеспечение возможности устойчивого и эффективного сжигания жидких горючих отходов в устройствах малой мощности;
- подготовлены публикации в рейтинговых научных журналах, входящих в базу Scopus;
- подача заявок на изобретения.

Научно-технический задел организаций - участников комплексного проекта

Предложен и реализован перспективный способ сжигания некондиционных жидких углеводородов в горелочном устройстве с распылением струей перегретого водяного пара. Разработаны и созданы оригинальные жидкотопливные горелочные устройства, защищенные патентами РФ на изобретения: РФ № 2219435 (2003); РФ № 2450207 (2012); РФ № 2523591 (2014); РФ № 2579298 (2016); РФ № 2678150 (2019); РФ № 2684300 (2019); РФ № 2705494 (2019); РФ № 2705495 (2019).

Найдены зависимости основных теплотехнических и экологических показателей от параметров пара при сжигании в горелочном устройстве жидких углеводородов с распылением струей перегретого водяного пара. Концентрации CO и NO_x удовлетворяет 3 классу по EN 267, показатели по NO_x в полтора раза ниже нормативного уровня. Показано, что по сравнению с технологией сжигания с подачей струи нагретого воздуха технология паровой газификации позволяет на 30% снизить производство оксидов азота при высокой полноте сгорания топлива.

Показатели комплексного проекта

Технология низкоэмиссионного сжигания жидких горючих отходов в присутствии водяного пара с производством тепловой энергии – 200 кВт.

Количество подготовленных статей, индексируемых базой данных Scopus (не менее) – 10.

Количество результатов интеллектуальной деятельности (не менее) – 3.

Количество опытных образцов горелочного устройства для утилизации жидких горючих отходов (не менее) – 1.

Мероприятия работы комплексного проекта

Сроки и этапы реализации комплексного проекта

1 этап - подготовительный. 1 год.

Выбор наиболее перспективных отечественных технологий переработки и утилизации коммунальных и промышленных отходов и уменьшения накопленных экологических проблем (в том числе рекультивации полигонов, хвостов, отвалов)

Разработка технико-экономического обоснования и дорожных карт выполнения НИОКР и проектов полного инновационного цикла

2 этап – НИОКР. 3 года.

Доведение технологий до высокого уровня готовности, в том числе завершение НИОКР.

Разработка опытно-промышленного образца горелочного устройства для утилизации жидких горючих отходов.

Объем и источники финансирования комплексного проекта

1 этап (1 год): 30 млн. руб. (70% бюджет)

2 этап (3 года): 700 млн. руб. (80 % бюджет)

Ключевые промежуточные результаты реализации комплексного проекта

Технология низкоэмиссионного сжигания жидких горючих отходов в присутствии водяного пара с производством тепловой энергии:

- разработано и запатентовано новое горелочное устройство для сжигания жидкого топлива в струе водяного пара;
- создан опытный образец горелочного устройства для утилизации жидких горючих отходов;
- проведена опытная оптимизация конструктивных и режимных параметров горелочного устройства для сжигания некондиционных жидких углеводородов;
- достигнуты высокие экологические характеристики, в первую очередь низкий уровень выбросов оксидов азота в продуктах сгорания, соответствующие действующим нормативам;
- обеспечена возможность устойчивого и эффективного сжигания жидких горючих отходов в устройствах малой мощности;
- подготовлены публикации в рейтинговых научных журналах, входящих в базу Scopus.

Эффекты от реализации комплексного проекта

Созданная технология низкоэмиссионного сжигания жидких горючих отходов в присутствии водяного пара позволит решить задачу экологически безопасной утилизации накопленных жидких углеводородных отходов, в том числе, в условиях Крайнего Севера, а также использования отходов в качестве альтернативного топлива для выработки энергии («Waste-to-Energy»).

А.3 Плазменная газификация ТКО и других органических отходов с получением синтезгаза и инертного шлака

Наименование технологии: Плазменная газификация ТКО и других органических отходов с получением синтезгаза и инертного шлака.

Разработчик: Институт теплофизики СО РАН

Контактное лицо: Домаров Павел Вадимович, domaroff@yandex.ru;
Аньшаков Анатолий Степанович, anshakov@itp.nsc.ru

Цель: Разработка универсального технологического процесса плазменной утилизации (газификации) углеродсодержащих отходов вне зависимости от их морфологического состава с получением топливного горючего газа (синтезгаза).

Задачи: - разработка математической модели и численные эксперименты по высокотемпературной газификации различного вида углеродсодержащих отходов; - исследование энергетических и ресурсных характеристик опытного электродугового плазмотрона; - задача определения энергоэффективных и экологичных режимов газификации органических отходов; - разработка рекомендаций по применению рассматриваемых перспективных технологий переработки углеродсодержащих отходов для последующей разработки и создания опытно-промышленных установок.

Научно-технический задел организаций - участников комплексного проекта: Авторский научный коллектив имеет опыт в теоретических исследованиях в области термохимических превращений топлив и окислителя в течении ряда лет. Ими расширена база данных универсальной программы термодинамических расчетов TERRA, что позволяет проводить расчеты теплофизических свойств твердых топлив, в том числе их минеральной части. Так же при выполнении работ будут использованы – свободно распространяемая программа «CANTEPA» для решения задач химической кинетики и тепло-гидродинамический код ANSYS Fluent и общепринятая программа АСТРА-4. Предварительные расчеты с помощью разработанной одномерной кинетической модели показали перспективность выбранного направления исследований. Также авторский коллектив имеет опыт в разработке и создании электродуговых плазмотронов различных конструкций и мощностей под различные технологические процессы, проведение экспериментальных исследований. Опыт научного коллектива в разработках оборудования подтвержден публикациями в журналах РФ и в журналах, входящих в международные базы цитирования SCOPUS и WoS, также

подтверждены патентами. Научные и прикладные результаты отражены в публикациях участников проекта за последние 5 лет. По теме проекта коллективом опубликовано более 60 научных работ, в том числе более 20 – в журналах, входящих в международные базы цитирования SCOPUS и WoS.

Результаты НИР: за последние 5 лет выполнены 17 НИР (ФЦП, программы СО РАН, Фонда Бортника, РФФИ, Администрации НСО):

1. ГК с Минобрнауки № 02.438.11.7027 «Научно-организационное, методическое и техническое обеспечение организации и поддержки научно-образовательных центров в области природоохранных технологий, переработки и утилизации техногенных образований и отходов...»;

2. ГК с Минобрнауки № 02.515.И.5010 «Исследование и разработка плазменного электротехнологического оборудования и технологий на их основе для переработки и утилизации техногенных образований и отходов»;

3. Соглашение с Минобрнауки по ФЦП «Исследования и разработки...» №14.607.21.0118 по теме «Разработка и исследование электроплазменной установки для экологически чистой и безотходной переработки органических отходов и получения топливного газа для сжигания в электрогенерирующих агрегатах», 2015-2017; Изготовлена лабораторная электроплазменная установка производительностью 20 кг/ч, лабораторный плазматрон с ресурсом работы электродов 300 ч мощностью 10 кВт.

4. Соглашение с Минобрнауки по ФЦП «Исследования и разработки...» №14.613.21.0150 по теме «Разработка и исследование технологии газификации, воспламенения и сжигания твердых топлив, подвергнутых механохимической и плазменной активации», 2014-2016.

5. Соглашение с Минобрнауки №8550 по теме «Экономическая оценка энергетического потенциала инновационных технологий утилизации техногенных отходов (на примере Сибирского федерального округа)», 2012-2013 гг. ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 - 2013 годы». В результате проведена оценка энергетического потенциала ТБО и перспективы применения инновационных технологий переработки на примере СФО, создана БД «InnoWaste».

Интеллектуальная собственность защищена патентами:

Патенты РФ: №102978 «Плазменный инициатор», 2010; №2502018 «Комплексная районная тепловая станция для экологически чистой переработки твердых бытовых отходов с производством тепловой энергии и строительных материалов», 2011; № 2502017 «Способ экологически чистой переработки твердых бытовых отходов с производством тепловой энергии и строительных материалов и мусоросжигательный завод для его осуществления», 2012; № 2616079 «Способ и устройство для плазменной газификации твёрдого углеродсодержащего материала и получения синтез-газа» и др., всего 15 патентов, патентообладатель: ИТ СО РАН.

Электронная база данных научно-технического потенциала СФО в области утилизации ТБО «InnoWaste», Свидетельство №2013621345 от 05.08.2013. Авторы: Аньшаков А.С., Перепечко Л.Н., Пляскина Н.И.,

Харитонов В.Н., Шарина И.А., Аверина И.В., правообладатель: ИЭОПП СО РАН.

Достижимости решения поставленной задачи и возможности получения запланированных результатов будет способствовать имеющиеся у коллектива исполнителей научно-технический задел, материально-техническая база и квалификация. Квалификация коллектива участников. Наличие экспертов во всех ключевых аспектах проекта.

Наличие макетов, опытных образцов, стендовой базы: Лабораторная установка

Результат НИОКР – (опытно-промышленный образец, комплекс): Опытная установка производительностью 100 кг/час.

Перерабатываемые отходы: Органические отходы, древесные опилки, отходы мануфактур.

Производительность по отходам: 100 кг/час.

Какие полезные продукты вырабатываются и сколько: из 100 кг отходов: 100 м³ синтез газа (СО+Н₂) и нейтральный шлак 15% от общей массы.

Какие экологически вредные выбросы от работы установки (комплекса): отсутствуют.

Эксплуатационные затраты на работу установки (электроэнергия, человеко-часы, вода, газ и т.д.) в год: Электроэнергия: 150 квт/час; человеко-часы: 6 чел/час; сжатый воздух: 30 м³/час, при 5 атм.; вода: 2-3 м³/час, при 10 атм.

Габариты установки (комплекса): 30 м².

Капитальные затраты на строительство установки (комплекса): 70-100 млн. рублей.

Потребность в установках в России: - .

Текущий статус разработки (уровень готовности технологии): НИОКР.

Стоимость НИОКР: 50-70 млн. рублей.

Потенциал патентования и передачи технологии по лицензионным соглашениям: - .

Оценка массы накопленных отходов в масштабе РФ (Для отходов, перерабатываемых по разрабатываемой технологии): - .

Оценка годовой массы образования отходов в масштабе РФ (Для отходов, перерабатываемых по разрабатываемой технологии): - .

Исполнители/соисполнители НИОКР: НГТУ (факультет АЭТУ), АО «СКБ Сибэлектротерм».

Индустриальные партнеры: АО «СКБ Сибэлектротерм».

Производитель установок: АО «СКБ Сибэлектротерм».

Конечный заказчик (потребитель): Муниципальные образования, предприятия ЖКХ, региональные операторы по обращению с отходами, крупные импортеры товаров.

А.4 Сортировка вторсырья с использованием технологии распознавания на основе искусственных нейронных сетей и мультиспектрального машинного зрения

Наименование технологии: Сортировка вторсырья с использованием технологии распознавания на основе искусственных нейронных сетей и мультиспектрального машинного зрения.

Разработчик: ИТ СО РАН, Сигма-Про.

Цель: Создание инновационной отечественной технологии распознавания и сортировки ТКО. Разработка, производство и внедрение экономически эффективных отечественных мусоросортировочных комплексов.

Задачи: - доработка имеющихся технических и программных разработок, проведения НИР и ОКР; - организация производства серийных моделей, оснащение объектов индустриального партнёра и других промышленных предприятий; развитие производства и продаж (Увеличение производственных мощностей и расширение географии продаж, за счёт экспорта); организация качественной сервисной поддержки на территории РФ и за её пределами.

Научно-технический задел организаций - участников комплексного проекта: Разработка экологически и экономически эффективной технологии и экспериментального образца роботизированной сортировки твердых бытовых отходов на основе искусственных нейронных сетей. Соглашение с Минобрнауки № 075-02-2018-186, срок выполнения 2018-2020 г. В результаты работ созданы: методика выделения требуемых фракций из общего потока твердых бытовых отходов (ТБО); Методика автоматического удаления и сортировки различных фракций, входящих в состав ТБО; Алгоритм машинного обучения для распознавания образов и классификации фракций отходов; Алгоритм анализа рельефа движущихся отходов для позиционирования и захвата фракций; алгоритм управления внешними исполнительными устройствами для позиционирования захвата и перемещения фракций отходов; Программно-аппаратный комплекс АСУ ТП для экспериментального образца мусоросортировочного комплекса.

По результатам работ созданы РИД:

1) Изобретение «Комплекс переработки твёрдых коммунальных отходов с автоматизированной сортировкой неорганической части и плазменной газификацией органического остатка». Заявка на патент №2019120572, дата приоритета 01.07.2019, правообладатель - ИТ СО РАН

2) Изобретение «Роботизированный автоматический комплекс по сортировке твёрдых коммунальных отходов на основе нейронных сетей», Заявка на патент 2019138218, дата приоритета 25.11.2019, патентообладатель - ИТ СО РАН

3) База данных аннотированных изображений одиночных объектов твёрдых коммунальных отходов. Заявка на регистрацию в Роспатенте № 2019622209. Дата приоритета 18.11.2019. Правообладатель – ИТ СО РАН.

Наличие макетов, опытных образцов, стендовой базы: Да

Результат НИОКР – (опытно-промышленный образец, комплекс):
Комплекс, технология, программное обеспечение.

Перерабатываемые отходы: ТКО (полимерные фракции).

Производительность по отходам: 10 тыс.тонн/год.

Какие полезные продукты вырабатываются и сколько: PET, PP, LDPE, HDPE.

Какие экологически вредные выбросы от работы установки (комплекса):
Нет.

Эксплуатационные затраты на работу установки (электроэнергия, человеко-часы, вода, газ и т.д.) в год: Потребляемая мощность: 6000 Вт;
Обслуживающий персонал: на постоянной основе оператор не требуется.

Габариты установки (комплекса): 6x2x2 м, вес не более 300 кг.

Себестоимость производства единицы комплекса: ~7 млн.рублей.

Потребность в установках в России: От 30 шт/год.

Текущий статус разработки (уровень готовности технологии): ОКР, опытно-промышленное внедрение.

Стоимость НИОКР: Стоимость проекта 1100 млн.рублей.

Потенциал патентования и передачи технологии по лицензионным соглашениям: - .

Оценка массы накопленных отходов в масштабе РФ (Для отходов, перерабатываемых по разрабатываемой технологии): - .

Оценка годовой массы образования отходов в масштабе РФ (Для отходов, перерабатываемых по разрабатываемой технологии): - .

Исполнители/соисполнители НИОКР: ИТ СО РАН, Сигма-Про, Экология-Новосибирск.

Индустриальные партнеры: Группа ВИС, ГК Экоросстрой.

Производитель установок: Сигма-Про.

Конечный заказчик (потребитель): Группа ВИС, ГК Экоросстрой.

А.5 Сухое обогащение угольных кеков тощих углей

Наименование технологии: 1. Сухое обогащение угольных кеков тощих углей 2. Разработка сухих методов обогащения мелкодисперсных отходов углей. 3. Разработка сухих методов обогащения мелкодисперсных угольных отходов (угольных кеков) с выделением пиролитического графита.

Разработчик: ООО «Геос-Т».

Координатор проекта: Стороженко Г.И.

Цель: Выделение из отходов обогащения тощих углей графита и других полезных компонентов высоко-метаморфизованных углеродсодержащих компонентов.

Задачи: 1. Исследовать отходы углеобогащения на предмет определения количества полезных компонентов и форм их содержания. 2. На основе математического моделирования определить условия и методы разделения полезных компонентов по различным классам в зависимости от их физико-механических и др. свойств. 3. Разработать и изготовить опытную лабораторную установку и провести экспериментальные исследования процессов разделения материалов в гравитационном или электростатическом полях. 4. Провести масштабирование процесса и разработать аппаратное оформление промышленного обогатительного комплекса производительностью по входу 10 т/час для выделения графита и других высоко-метаморфизованных углеродсодержащих компонентов. 5. Разработать конструкторскую документацию нестандартного оборудования - промышленной установки по сухому обогащению мелкодисперсных угольных отходов. 6. Разработать технологический регламент процесса обогащения мелкодисперсных угольных отходов (угольных кеков) с выделением пиролитического графита. 7. Разработать проект промышленного цеха по сухому обогащению угольных отходов с получением товарной продукции в виде пиролитического графита и других высоко-метаморфизованных углеродсодержащих компонентов.

Научно-технический задел организаций - участников комплексного проекта: По сухому обогащению отходов были выполнены следующие работы, часть из которых внедрена в производство. 1. Разработка технологии, изготовление и установка оборудования для выделения микросфер из золы уноса Магаданской ТЭЦ-2. 2. Технологическая часть проекта по обогащению кеков углей марки КС-Ж Чертинская ЦОФ.

Наличие макетов, опытных образцов, стендовой базы: 1. Установка для изучения сушки кеков в электростатическом поле. 2. Лабораторная модель обезвоживания кеков углеобогащения. 3. Лабораторная модель установки сухого обогащения. При решении нестандартных технологических задач, для исследования физических процессов разработаны математические и физические модели.

1. Результат НИОКР: Лабораторный опытно-промышленный образец оборудования.

2. Технологический регламент процесса производства высоко-метаморфизованных составляющих углей и пиролитического графита из мелкодисперсных угольных отходов (угольных кеков).

3. Проект промышленного цеха по сухому обогащению угольных отходов с получением товарной продукции в виде пиролитического графита и других метаморфизованных углеродсодержащих компонентов.

4. Конструкторская документация на нестандартное оборудование - промышленная установка по сухому обогащению мелкодисперсных угольных отходов производительностью 10 тн/час по исходному продукту.

Перерабатываемые отходы: кеки углеобогащения высоко-метаморфизованных углей.

Производительность по отходам: 10 т/час по входу в установку.

Какие полезные продукты вырабатываются и сколько: Количество зависит от исходного состава отходов. Графит от 0,5 до 1 т/час. Кокс, полукокс, антрацит, термоантрацит от 3 до 5 т/час.

Какие экологически вредные выбросы от работы установки (комплекса): Продукты сгорания Угольной мелочи, используемой для сушки кеков. Пылеватых частиц в отработанном теплоносителе не будет, так как в технологии предусмотрена установка рукавных фильтров.

Эксплуатационные затраты на работу установки: электроэнергия, 250 кВт = 2 МВт. час. /год; человеко-часы /год = 51609 чел. час. /год; уголь = 200 кг/час = 1500 т/год; (вода, газ и т.д. пока не определены).

Габариты установки (комплекса): 6 x 30 x 8 м.

Капитальные затраты на строительство установки (комплекса): 80 млн. рублей.

Потребность в установках в России, шт.: 12.

Текущий статус разработки (уровень готовности технологии): ОКР, опытно-промышленное внедрение.

Стоимость НИОКР: 32,5 млн. руб.

Патенты: - .

Оценка массы накопленных отходов в масштабе РФ: Требуется дополнительные работы по геологии. На сегодня только по одному разрезу около 150 тыс. т. /год.

В перспективе объемы содержания графита будут увеличиваться.

Оценка годовой массы образования отходов в масштабе РФ: Образующее на сегодня 420 тыс.т./год в Кузбассе. Для уточнения по РФ требуются дополнительные геол. работы.

Исполнители/соисполнители НИОКР: ООО «Геос-Т»/(Зап-СибИЦ;

Индустриальные партнеры: МЕТЧЕЛ. Месторождение Сэрэген. Собственник меняется.

Производитель установок: ООО «Геос-Т».

Конечный заказчик (потребитель): Разрезы с развитым Силом (Внедренные горизонтально в угольные пласты расплавленные горные породы). Угольные предприятия с развитым циклом обогащения высоко-метаморфизованных углей.

Аннотация

Ежегодно в Кузбассе при обогащении углей в мелкодисперсные отходы попадает около 2 млн. тн. углей при средней зольности 30– 50%. Мокрыми способами вторичное обогащение отходов тощих марок углей с экономической точки зрения нецелесообразно, и, кроме того, при существующих флотационных технологиях, приведет к образованию новых, еще более экологически вредных веществ, чем существующие отходы.

Мировая добыча угля становится всё менее рентабельной из-за снижения цен на угли, поэтому для стабилизации экономики угольной отрасли необходимо за счёт новых технологий снизить стоимость переработки, резко

повысить качество обогащения и разнообразить товарный ряд угольной продукции, включающий высокотехнологичные продукты, соответствующие современным требованиям промышленности.

Предлагаемая тема:

Разработка сухих методов обогащения мелкодисперсных угольных отходов (угольных кеков) с выделением пиролитического графита и других высоко-метаморфизованных полезных компонентов.

При реализации инновационной технологии по нашим расчетам только на одном разрезе объем выделенного графита в денежном выражении может составить 6,25 млн. \$ в год или 487.5 млн. руб. в год при коэффициенте извлечения графита 0.5. Стоимость пиролитического графита принята самой низкой на рынке - 250 \$/т.

Эта же технология предусматривается для выделения графитов на месторождении «Сэгэрен» запасы высоко-метаморфизованных углей 192 млн.т. Угли содержат высокий процент графита. Технология к данному месторождению хорошо подходит, потому что месторождение находится за полярным кругом.

Основная специализация нашей фирмы. Обогащение твердых полезных ископаемых. Имеется многолетний исследовательский опыт и лабораторная база из нестандартного лабораторного оборудования, которое проектировалось и изготавливалось сотрудниками фирмы. По теме обогащения угольных кеков имеются некоторые наработки, которые мы выполняли ранее.

Выполнялись работы по обогащению кеков Чертинской обогатительной фабрики. Была разработана мокрая гравитационная технология обогащения как более подходящая для данного типа углей.

Явление развития сила наблюдаются на дальнем востоке, в Якутии. По поводу механизма развития графитации углей были обращения из Англии, ЮАР и Индонезии.

А.6 Термокаталитическое окисление иловых осадков сточных вод коммунальных и промышленных очистных сооружений

Наименование технологии: Термокаталитическое окисление иловых осадков сточных вод коммунальных и промышленных очистных сооружений.

Разработчик: Институт катализа СО РАН.

Контактное лицо: Яковлев Вадим Анатольевич, yakovlev@catalysis.ru.

Цель: Создание опытно-промышленных комплексов, их производство и внедрение на основе экологически чистых и экономически выгодных отечественных технологий по переработке твердых и жидких коммунальных и промышленных отходов, в том числе: каталитического окисления иловых осадков коммунальных и промышленных очистных сооружений.

Задачи: - Анализ разработок в области утилизации иловых осадков коммунальных очистных сооружений. Обоснование эффективности разработки и внедрения технологии термokatалитического окисления в кипящем слое катализатора иловых осадков сточных вод коммунальных и промышленных предприятий; - Проведение экспериментальных исследований сжигания модельных смесей и реального илового осадка с оптимизацией основных параметров термokatалитического окисления в кипящем слое; - Разработка подходов для связывания кислых газов в отходящих газах, для их внедрения в технологическую цепочку процесса термokatалитической утилизации иловых осадков сточных вод; - Разработка типоразмерного ряда установок термokatалитического окисления иловых осадков сточных вод. Разработка исходных данных на проектирование и конструкторско-технологической документации установок по утилизации илового осадка различной производительности; - Создание опытно-промышленной установки термokatалитического окисления иловых осадков сточных вод общей производительности не менее 100 000 т/год по влажному осадку; - Организация производства типоразмерного ряда установок термokatалитического окисления иловых осадков сточных вод с годовой производительностью не менее 6 комплексов оборудования в год.

Научно-технический задел организаций - участников комплексного проекта: Направление по термokatалитическому сжиганию иловых осадков сточных вод имеет существенный научно-технический задел и базируется на теоретических и экспериментальных исследованиях Института катализа СО РАН в области каталитических процессов в псевдооживленном слое и разработке высоко активных катализаторов глубокого окисления веществ, обладающих повышенными прочностными характеристиками. Полученные в ИК СО РАН теоретические и экспериментальные данные позволили создать принципиально новые конструкции каталитических теплофикационных установок (КТУ) с псевдооживленным слоем катализатора мощностью 0,25 МВт, работающих на жидких и твердых топливах, которые прошли всесторонние испытания в Российской Федерации. С 1993 года по 2004 год в РФ эксплуатировались десятки котельных с кипящим слоем катализатора, работавших на дизельном или печном топливе. Опыт их эксплуатации показал высокую эффективность каталитического сжигания топлив. Однако из-за резкого удорожания жидкого топлива в настоящее время котельные переведены в ранг резервных. В 2008 году на ж/д станции Артышта (Кемеровская область) был проведен пуск первой котельной на основе технологии сжигания в кипящем слое катализатора, суммарной мощностью 3 Гкал/ч (3 реактора по 1,0 Гкал/ч каждый). Данная котельная работает на более дешевом топливе – буром угле. В 2010 году была введена в эксплуатацию котельная на буром угле мощностью 1 Гкал/ч в п.г.т. Юрга (Кемеровская область). На настоящий момент, компанией СПКБ «Энергия», являющейся партнером ИК СО РАН, спроектировано, построено и введено в опытную эксплуатацию 5 котельных на угле мощностью от 1 до 6 Гкал/ч. С 2019 года

ведутся работы по внедрению опытной установки термокаталитического сжигания иловых осадков сточных вод коммунального хозяйства г. Омска на территории очистных сооружений АО «ОмскВодоканал», производительностью 1,5 т/час по сухому осадку. На данный момент завершается монтаж установки и идет подготовка к пуско-наладочным испытаниям. Полученный опыт при создании угольных котельных и опытной установки по переработке иловых осадков сточных вод будет использован при проведении ОКР для создания типоразмерного ряда опытно-промышленных и промышленных установок для термокаталитической утилизации иловых осадков коммунальных и промышленных предприятий. Организация-заявитель (Институт катализа СО РАН) обладает опытом по выполнению государственных контрактов ФЦП «Приоритетные направления» по близким тематикам (№ 02.513.11.3482, №16.526.11.6003, №02.526.11.6007, №16.516.11.6049, №16.526.12.6012, №14.516.11.0069). Накопленный опыт будет использован при выполнении данного проекта.

Наличие макетов, опытных образцов, стендовой базы: 2 лабораторные установки, производительностью 50 г/ч и 2 кг/ч (по сухому веществу); завершается создание опытно-промышленной установки, производительностью 6 т/ч по влажному илу (влажность 75 %).

Результат НИОКР – (опытно-промышленный образец, комплекс): Разработка типоразмерного ряда установок термокаталитического окисления иловых осадков сточных вод. Строительство опытно-промышленной установки на территории Заказчика общей производительности не менее 100 000 т/год по влажному осадку. Организация производства типоразмерного ряда установок термокаталитического окисления иловых осадков сточных вод с годовой производительностью не менее 6 комплексов оборудования в год.

Перерабатываемые отходы: Иловые осадки сточных вод коммунальных и промышленных очистных сооружений.

Производительность по отходам: Реализация проекта позволит первоначально вводить в эксплуатацию не менее 6 комплексов по термокаталитической утилизации иловых осадков в год с суммарной производительностью до 300 тыс.т/год по влажному илу.

Какие полезные продукты вырабатываются и сколько: Тепловая энергия на обеспечение нужд предприятия, на территории которого располагаются установки. Зольный остаток, который (в случае производств, в результате деятельности которых в сточные воды не попадает повышенного количества тяжелых металлов) можно использовать для приготовления строительных смесей, включая назначение – ремонт и строительство дорог.

Какие экологически вредные выбросы от работы установки (комплекса): NO_x, SO_x, пар (без превышения предельно допустимых норм).

Эксплуатационные затраты на работу установки (электроэнергия, человеко-часы, вода, газ и т.д.) в год: Данные для опытно-промышленной установки в г. Омск, производительностью 6 т/ч по влажному осадку (влажность 75 %): Электроэнергия 14 224,80 тыс.руб/год; Заработная плата (13

чел) 6 816 тыс.руб/год; Техническая вода 4 225,2 тыс.руб/год; Твердое топливо 602,4 тыс.руб/год.

Габариты установки (комплекса): Данные для опытно-промышленной установки в г. Омск, производительностью 6 т/ч по влажному осадку (влажность 75 %): Объем печи – 19 м³; Площадь всего комплекса (2-х этажное здание) – 1 300 м².

Капитальные затраты на строительство установки (комплекса): Существующие инвестиции: Данные для первой очереди опытно-промышленной установки в г. Омск, производительностью 6 т/ч по влажному осадку (влажность 75 %): 328 млн.руб.

Планируемые инвестиции: строительство второй очереди установки в г. Омск: 400 млн.рублей; строительство объектов в системе УК Росводоканал в городах Оренбург, Архангельск, Краснодар и других предприятий-водоканалов.

Потребность в установках в России: В России около 120 очистных сооружений коммунального хозяйства и, как минимум, 550 промышленных предприятий, генерирующих осадки сточных вод.

Текущий статус разработки (уровень готовности технологии): Опытно-промышленная установка.

Стоимость НИОКР: 950 млн.рублей.

Потенциал патентования и передачи технологии по лицензионным соглашениям: для данной технологии уже существует ряд патентов и «ноу-хау». Постоянные усовершенствования технических решений и особенностей проведения процесса позволяют создавать новые охранные документы.

Передача по лицензионным соглашениям – практика, активно реализуемая ИК СО РАН – применима и к данной технологии.

Оценка массы накопленных отходов в масштабе РФ: Количество иловых осадков, накопленных на иловых полигонах, исчисляется миллиардами тонн.

Оценка годовой массы образования отходов в масштабе РФ: Объем образования осадка составляет: около 8 млн. тонн коммунальных осадков и более 90 млн.тонн промышленных.

Индустриальные партнеры: ООО УК «Росводоканал», ООО «СПКБ «Энергия», АО «Авангард»

Производитель установок: ООО «СПКБ «Энергия», АО «Авангард».

Конечный заказчик (потребитель): ООО УК «Росводоканал», предприятия-водоканалы.

А.7 Комплексная переработка отвалов рудообогатительных фабрик

Наименование технологии: Комплексная переработка отвалов рудообогатительных фабрик.

Разработчик: Институт теплофизики СО РАН.

Контактное лицо: Стороженко Геннадий Иванович.

Цель: Разработать инновационную ресурсо- и энергосберегающую технологию комплексной переработки отвалов рудообогатительных фабрик за счет их сухого (вторичного) обогащения, позволяющую получать металлосодержащие промпродукты и сырье для производства широкого спектра строительных материалов.

Задачи: Решение задач по комплексной переработке отвалов планируется начать на хвостохранилище № 1 Мундыбашской обогатительной фабрики. Его запасов достаточно на 20-25 лет деятельности крупного перерабатывающего предприятия.

Задачи, решаемые в проекте, сформулированы в соответствии с проводимыми работами: геологоразведочные, научно-поисковые (обогатительные), технологические, проектно-конструкторские; инженерно-конструкторские, полупромышленные технологические испытания и проектные.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

I. Геологоразведочные:

1.1. Анализ геологической информации по техногенному месторождению (Хвостохранилище №1), находящейся в геологическом фонде и в Евразруде, для которой все это в конечном счете делается;

1.2. Составление плана горных работ для техногенного месторождения с целью использования в технологическом процессе усредненного сырья (войдет составной частью в технологический регламент и проект);

1.3. Выделение и отбор представительной технологической пробы на Хвостохранилище №1 с целью проведения последующих научно-поисковых и технологических работ.

II. Научно-поисковые (обогатительные):

2.1. Разделение представительной пробы техногенного сырья по фракциям и определение минерального состава и физико-химических характеристик фракций;

2.2. Оценка обогатимости фракций физическими методами и лабораторные испытания на промышленных аналогах обогатительного оборудования (гравитационное разделение, магнитная сепарация, электромагнитная сепарация и др.);

2.3. Получение трех видов сырьевых материалов: металлосодержащий (тяжелый) промпродукт, силикатная (песчаная) фракция и шламистая часть.

III. Технологические:

3.1. Исследование возможности переработки металлосодержащего промпродукта для получения концентратов с использованием высокотемпературной технологии на базе струйно-эмульсионного энерго-металлургического агрегата;

3.2. Исследования и разработка технологий производства широкого спектра строительных материалов (заполнители, сухие строительные смеси,

тротуарные плитки и дорожное строительство, пожалуй, самое емкое) на основе силикатной (песчаной) фракции;

3.3. Исследования и разработка технологий производства стеновых и строительных керамических материалов на основе шламистой части отходов. Разработка технологии использования шламистой части в производстве цемента и бетонов.

IV. Проектно-конструкторские:

4.1. Математическое моделирование процесса сухого гравитационного разделения техногенного сырья по фракциям для получения промпродуктов: металлосодержащего (тяжелого), силикатного и шламистого;

4.2. Моделирование разделения фракций в электромагнитном и магнитном полях и оценка ее эффективности;

4.3. Разработка конструкции и конструкторской документации опытного образца установки для эффективного разделения по фракциям на основании результатов математического моделирования;

4.4. Разработка конструкции опытного образца установки для получения концентратов на основе тяжелого металлосодержащего промпродукта.

V. Инженерно-конструкторские:

5.1. Изготовление опытного образца установки для разделения техногенного сырья по фракциям на основании разработанной конструкторской документации;

5.2. Изготовление опытного образца установки для получения концентратов на основе тяжелого металлосодержащего промпродукта

VI. Полупромышленные технологические испытания:

6.1. Отработка технологии разделения техногенного сырья по фракциям на опытной установке;

6.2. Отработка технологии получения концентратов на основе тяжелого металлосодержащего промпродукта.

VII. Проектные:

7.1. Разработка технологического регламента технологии разделения техногенного сырья по фракциям;

7.2. Разработка технологического регламента производства широкого спектра строительных материалов на основе силикатной и шламистой части техногенного сырья;

7.3. Разработка технологического регламента производства концентратов на основе тяжелого металлосодержащего промпродукта;

7.4. Разработка технического задания на проектирование автоматизированного комплекса по переработке техногенного сырья Мундыбашской обогатительной фабрики (Хвостохранилище №1).

Научно-технический задел организаций - участников комплексного проекта: В Сибирском индустриальном университете и Новосибирском архитектурно-строительном университете в течение нескольких лет проводились исследования по переработке отходов угольных и железорудных

обогащительных предприятий. Аналогичные работы проводились и в Институте теплофизики СО РАН. Результатом этих исследований стала разработка технологии сухого обогащения различных видов минерального и техногенного сырья и ее аппаратного обеспечения. В Сибирском индустриальном университете для извлечения металлов из техногенных металлосодержащих отходов разработана высокотемпературная технология на базе струйно-эмульсионного энерго-металлургического агрегата типа СЭР и нанотехнология селективного извлечения металлов.

Наличие макетов, опытных образцов, стендовой базы: Нет.

Результат НИОКР – (опытно-промышленный образец, комплекс): - .

Перерабатываемые отходы: Отходы обогащения железных руд в отвалах представляют собой очень мелкий дробленый песок. Он включает 54,5% тонкодисперсной фракции класса -0,14 мм. Истинная плотность – 3,33 г/см³; насыпная плотность – 1,67 г/см³; удельная поверхность – 1670 г/см³; влажность – 8,7%; органика отсутствует. Песок сложен преимущественно гранатом, амфиболами, пироксенами, карбонатами, хлоритом с примесью сульфидов железа. В отходах наибольший интерес представляют магнетит и пирит.

Производительность по отходам: 150 тыс. тонн/год.

Какие полезные продукты вырабатываются и сколько: В общей массе отходов кроме тонкодисперсной «пустой» породы содержатся десятки тонн золота, серебра и сотни тысяч тонн железа.

Какие экологически вредные выбросы от работы установки (комплекса):

Эксплуатационные затраты на работу установки: (электроэнергия, человеко-часы, вода, газ и т.д.) в год: - .

Габариты установки (комплекса): - .

Капитальные затраты на строительство установки (комплекса): - .

Потребность в установках в России: - .

Текущий статус разработки (уровень готовности технологии): НИР.

Стоимость НИОКР: - .

Потенциал патентования и передачи технологии по лицензионным соглашениям: - .

Оценка массы накопленных отходов в масштабе РФ: 45 млн. тонн (Хвостохранилище №1) Мундыбашской обогащительной фабрики (МОФ), входящей в состав подразделений ОАО «Евразруда» (г. Новокузнецк).

Оценка годовой массы образования отходов в масштабе РФ: В настоящее время отходы не складированы. Обогащительная фабрика закрыта. Запасов Хвостохранилища №1 МОФ достаточно на 20-25 лет деятельности крупного перерабатывающего предприятия.

Исполнители/соисполнители НИОКР: Сибирский индустриальный университет, Новосибирский архитектурно-строительный университет.

Индустриальные партнеры: - .

Производитель установок: - .

Конечный заказчик (потребитель): - .

А.8 Плазменная газификация RDF

Наименование технологии : Плазменная газификация RDF.

Разработчик: ИЭЭ РАН.

Цель: Разработка, организация промышленного производства и использование экономически выгодных и экологически чистых технологий переработки и утилизации твёрдых и жидких коммунальных и промышленных отходов (КП по ТЖКПО).

Задачи: Разработка плазменных технологических процессов уничтожения твёрдых и жидких промышленных отходов. Разработка плазменных процессов утилизации твёрдых коммунальных отходов. Разработка плазменных процессов утилизации осадков сточных вод. Разработка новых, мощных и эффективных источников плотной низкотемпературной плазмы. Строительство и опытная эксплуатация опытно-промышленных образцов технологических процессов и установок. Вывод новых технологий работы с отходами на рынок российский и международный.

Научно-технический задел организаций - участников комплексного проекта: Разработаны, созданы и испытаны плазмотроны переменного тока промышленной частоты для воздуха мощностью до 500 кВт, для водяного пара мощностью до 100 кВт с КПД передачи электрической энергии плазмообразующей среде не менее 93 %. Ресурс работы съёмных электродов этих плазмотронов превышает 2000 часов.

Создана лабораторная установка для слоевой газификации твердых углерод- водород- содержащих веществ производительностью до 120 кг/ч, оборудованная несколькими портами под установку генераторов плазмы для организации нескольких дутьевых зон одновременно, системой шлакоудаления, системой утилизации и очистки полученного сингаза, газоаналитическим комплексом, позволяющим непрерывно контролировать состав сингаза. На установке проведена серия экспериментов по воздушно-плазменной газификации различных твёрдых топлив, биомассы, твёрдых отходов.

Создана лабораторная установка плазменной высокотемпературной минерализации жидких токсичных веществ. На установке проведена серия экспериментов по плазменному уничтожению хлор- фтор- содержащих органических жидкостей.

Разработан рабочий проект установки плазменной высокотемпературной минерализации отходов здравоохранения классов Б, В и Г.

Наличие макетов, опытных образцов, стендовой базы: Есть стендовая база и опытный образец.

Результат НИОКР – (опытно-промышленный образец, комплекс): - .

Перерабатываемые отходы: Любые твердые органические отходы с примесью минеральной компоненты, подготовленные в виде RDF (Refuse Derived Fuel – топливо, полученное из отходов). Из твёрдых коммунальных отходов отбираются минеральные включения и вторсырьё. Отходы измельчаются, подсушиваются и гранулируются.

Производительность по отходам: Производительность опытно-промышленной установки:

- газификации ТКО — 2 т/ч (16 тыс.т/год);
- высокотемпературной минерализации отходов здравоохранения классов Б, В и Г — 150 кг/ч (1,2 тыс.т/год);
- высокотемпературной минерализации опасных промышленных органических отходов — 100 кг/ч (0,8 тыс.т/год).

Какие полезные продукты вырабатываются и сколько: Газообразное топливо, оценка диапазона удельной теплоты сгорания топлива: 5-8 МДж/Нм³.

Какие экологически вредные выбросы от работы установки (комплекса):

Эксплуатационные затраты на работу установки (электроэнергия, человеко-часы, вода, газ и т.д.) в год: - .

Габариты установки (комплекса): - .

Капитальные затраты на строительство установки (комплекса): - .

Потребность в установках в России: Количество введенных в эксплуатацию комплексов в России: к 2025 году — 3 шт.; к 2030 году — до 20 шт.

Текущий статус разработки (уровень готовности технологии): Опытно-промышленное внедрение.

Стоимость НИОКР: 70 млн. рублей

Потенциал патентования и передачи технологии по лицензионным соглашениям: - .

Оценка массы накопленных отходов в масштабе РФ: ~ 30 млрд. т.

Оценка годовой массы образования отходов в масштабе РФ: ~2,7 м³/чел. в год (450-480 кг), ~400 млн. м³/год (66-70 млн. т/год).

Исполнители/соисполнители НИОКР: - .

Индустриальные партнеры: - .

Производитель установок: - .

Конечный заказчик (потребитель): Потенциальными заказчиками продукции, созданной в результате реализации предлагаемого комплексного проекта, установок переработки и утилизации коммунальных, медицинских, промышленных отходов являются управляющие компании ЖКХ, региональные операторы отходов и их контрагенты, медицинские учреждения, промышленные предприятия. Заказчики подобных систем есть как на внутреннем рынке, так и за рубежом, особенно в странах с развивающейся экономикой. Ёмкость рынков исчисляется многими миллиардами долларов.