

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Российский химико-технологический
университет имени Д. И. Менделеева»



На правах рукописи

Щелчков Кирилл Александрович

**РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К ЭКОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ
РЕГУЛИРОВАНИЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ НА ПРОТЯЖЕНИИ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА**

Научная специальность: 1.5.15. Экология (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва – 2023

Работа выполнена в Научно-исследовательском институте
«Центр экологической промышленной политики», г. Мытищи

Научный руководитель: **Тихонова Ирина Олеговна**
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры промышленной экологии
Российского химико-технологического
университета имени Д. И. Менделеева, г. Москва

Официальные оппоненты: **Малков Александр Владимирович**
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Зелёная химия для устойчивого
развития» Российского химико-технологического
университета имени Д. И. Менделеева, г. Москва

Маслобоев Владимир Алексеевич
доктор технических наук,
советник генерального директора
Кольского научного центра
Российской академии наук, г. Апатиты

Ведущая организация: Национальный исследовательский
университет ИТМО, г. Санкт-Петербург

Защита состоится 24 мая 2023 г. в 14 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций РХТУ.1.5.01, созданного на базе Российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева, по адресу: 125047 Россия, г. Москва, Миусская пл., д. 9, Конференц-зал (аудитория 443).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре Российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева, а также на официальном сайте https://www.muotr.ru/university/departments/ods/inhouse/inhouse_announcements/.

Автореферат диссертации разослан апреля 2023 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета РХТУ.1.5.01
кандидат технических наук, доцент

Я. П. Молчанова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования определяется тем, что с 2014 г. в Российской Федерации осуществляется переход к технологическому нормированию деятельности крупных промышленных предприятий в сфере охраны окружающей среды на основе концепции наилучших доступных технологий (НДТ). Разработаны законодательные и нормативные правовые акты (НПА), подготовлены, выпущены и последовательно актуализируются информационно-технические справочники НДТ (ИТС НДТ). При этом внимание НПА и исследований, которые проводятся в разных отраслях промышленности, сосредоточено на процедурах выдачи комплексных экологических разрешений (КЭР) объектам негативного воздействия на окружающую среду (ОНВОС), отнесённым к I категории. В I категорию включены все крупные предприятия химической промышленности; для них разработаны отраслевые ИТС НДТ, определены и утверждены приказами Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации технологические показатели НДТ.

Концепция наилучших доступных технологий, тесно связанная с концепциями малоотходных, более чистых, энерго- и ресурсосберегающих технологий, а также с концепцией зелёной химии, представляет собой основу экологической промышленной политики России, направленной на повышение ресурсной эффективности производства и сокращение негативного воздействия на окружающую среду (НВОС). Однако проблемы применения основных положений и принципов НДТ на протяжении жизненного цикла предприятия, от замысла, от формирования идеи о том, какой должна быть намечаемая деятельность, до подготовки к выводу промышленных объектов из эксплуатации, остаётся вне зоны внимания разработчиков НПА и исследователей, работающих в сфере промышленной экологии. При этом именно при «сквозном» применении концепции НДТ технологии и процедуры, отнесённые к наилучшим доступным, и показатели НДТ, определённые количественно, будут выступать в качестве граничных условий, ориентиров для постановки целей развития промышленных предприятий.

Актуальность научных исследований подтверждается тем, что основные разделы диссертационной работы соответствуют п. 19 распоряжения Правительства Российской Федерации от 19.03.2014 г. № 398-р «О комплексе мер, направленных на отказ от использования устаревших и неэффективных технологий, переход на принципы наилучших доступных технологий и внедрение современных технологий» (в части: «Обеспечение реализации пилотных проектов внедрения наилучших доступных технологий в субъектах Российской Федерации»). Результаты научных исследований нашли применение при выполнении ряда научно-исследовательских работ НИИ «Центр экологической промышленной политики» и международных проектов, в том числе: «Научное обоснование и разработка подходов к технологическому нормированию источников незначительного негативного воздействия на окружающую среду на основе международно принятых принципов норм общего действия», № г/р 121021600367-3, 2021 г.; «Применение принципов последовательного улучшения экологической и ресурсной эффективности технологических процессов при переходе промышленности к использованию наилучших доступных технологий», № г/р АААА-А20-120060290038-1, 2020 г.; «Разработка научно обоснованных рекомендаций по применению методов наилучших доступных технологий для выполнения международных обязательств

Российской Федерации», № г/р АААА-А20-120060290037-4, 2020 г.; «Обоснование применения наилучших доступных технологий для снижения загрязнения Арктического региона», PSI 01/17, 2021–2022 гг.; «Наилучшие доступные технологии как инструмент комплексного предотвращения и контроля загрязнения окружающей среды», OECD 03/17/Act. 2-4, 2018–2021 гг.

Степень разработанности темы исследования. Разработки в сфере НДТ осуществляют исследователи, работающие в области технических и экономических наук. Первоочередное внимание уделяется анализу содержания ИТС НДТ, технологических показателей (выбросов и сбросов загрязняющих веществ), показателей ресурсной эффективности и индикативных показателей выбросов парниковых газов. В России наиболее масштабные исследования в области технологического нормирования в сфере охраны окружающей среды выполнены научными школами проф. С. Н. Бобылева, академика РАН В. П. Мешалкина, проф. Б. Г. Преображенского, проф. П. В. Рослякова, д. э. н. Д. О. Скобелева, академика РАН Г. А. Храмцова, проф. А. Е. Череповицына. В области зелёной химии признанным лидером в России и за рубежом является научная школа чл.-корр. РАН Н. П. Тарасовой. Исследования выполняются в Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова, Национальном исследовательском университете ИТМО, Кольском научном центре РАН, Томском государственном университете, Институте химии и химической технологии Сибирского отделения РАН и др. организациях. Аналитические и критические статьи по тематике наилучших доступных технологий и зелёной химии опубликованы проф. И. А. Башмаковым, к. т. н. М. В. Бегаком, д. х. н. А. Г. Бубновым, проф. Е. Г. Винокуровым, д. т. н. Е. Г. Гашо, проф. Т. В. Гусевой, к. т. н. Д. А. Даниловичем, д. т. н. А. И. Захаровым, проф. О. Е. Кондратьевой, проф. Н. Е. Кручининой, проф. Е. С. Локтевой, академиком РАН В. В. Луниным, д. т. н. Д. В. Макаровым, проф. А. В. Малковым, д. т. н. В. А. Маслобоевым, проф. С. В. Мещеряковым, доц. Я. П. Молчановой, проф. И. В. Перминовой, проф. В. С. Петросяном, проф. Е. Н. Потаповой, д. т. н. Г. А. Самбурским, доц. А. А. Свитцовым, доц. О. И. Сергиенко, доц. И. О. Тихоновой, проф. Т. О. Толстых, проф. А. Е. Хачатуровым-Тавризяном, проф. М. Г. Хреновой, проф. В. Г. Цирельсоном, проф. А. И. Шинкевичем и др. учёными. В числе зарубежных центров исследований в сфере технологического регулирования и НДТ лидируют Фламандский центр НДТ (г. Борен, Бельгия), Институт экологической политики (г. Гамбург, Германия), Национальный научный центр Индии (г. Калката), Объединённый институт перспективных исследований (г. Севилья, Испания), Международный центр зелёных технологий (г. Астана, Казахстан), Пекинский центр передовых технологий и инноваций (г. Пекин, Китай), Институт основ химической технологии Академии наук Чешской Республики (г. Прага), Университеты Линчёпинга и Лунда (Швеция).

Число исследований растёт, расширяется и спектр рассматриваемых вопросов, однако аспекты применения концепции НДТ на протяжении жизненного цикла предприятий (в том числе – химических) остаются нераскрытыми.

Цель исследования заключается в разработке подходов к применению концепции наилучших доступных технологий в качестве основы эколого-технологического

регулирования на протяжении жизненного цикла предприятий, реализующих химико-технологические процессы производства продукции.

В порядке достижения поставленной цели сформулированы следующие логически взаимосвязанные **задачи**:

- выполнить анализ основных инструментов технологического нормирования в сфере охраны окружающей среды; определить особенности их использования в разных отраслях (прежде всего – в химической промышленности) и на различных объектах НВОС;
- определить порядок применения концепции НДТ для рассмотрения альтернативных вариантов развития намечаемой деятельности и выбора технологических решений в рамках процедуры оценки воздействия на окружающую среду;
- разработать предложения по использованию НДТ, технологических показателей и показателей ресурсной эффективности при развитии систем экологического и энергетического менеджмента с учётом применимых требований НДТ, а также близких к ним требований норм общего действия (НОД);
- доказать целесообразность учёта результатов реализации программ эколого-технологической модернизации и достижения требований НДТ в контексте выполнения международных обязательств Российской Федерации в сфере охраны окружающей среды;
- идентифицировать особенности использования НДТ и разработки соответствующих процедур при выводе технологических процессов (или предприятий) из эксплуатации;
- определить роль концепции НДТ при совершенствовании процессов подготовки и распространения информации об экологической и ресурсной эффективности производства (в том числе в рамках развития социально-экологической отчётности).

Методология и методы исследования. Теоретическую и методологическую базу работы составляют фундаментальные и прикладные труды отечественных и зарубежных исследователей, которые создали основы промышленной экологии, зелёной химии, концепции наилучших доступных технологий и современной экологической промышленной политики. При выполнении исследования использованы методы, характерные для процедуры оценки воздействия на окружающую среду; подходы экологических ситуационных исследований; экологического и энергетического аудита промышленных предприятий; бенчмаркинга экологической и ресурсной эффективности производства (применительно к пилотным отраслям и проектам внедрения НДТ).

Исследование соответствует п. 8 паспорта научной специальности 1.5.15. «Экология» (отрасль наук – технические): «Разработка принципов и механизмов, обеспечивающих устойчивое развитие общества при сохранении биоразнообразия и стабильного состояния природной среды».

Научная новизна заключается в том, что автором впервые разработаны подходы к использованию концепции наилучших доступных технологий для совершенствования эколого-технологического регулирования деятельности промышленных предприятий на протяжении их жизненного цикла, в рамках чего:

- на основании результатов анализа международных и отечественных инструментов эколого-технологического регулирования и обобщения характеристик НДТ и норм общего действия (НОД), разработана классификация НОД и сформулированы рекомендации

по применению НОД для регулирования источников незначительного НВОС, функционирующих на площадках крупных промышленных предприятий;

– обоснована необходимость использования концепции НДТ и предложен порядок применения ИТС НДТ при проведении процедуры оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) и выборе альтернативных технологических решений реализации намечаемой деятельности;

– разработаны подходы к обоснованию целей и задач повышения экологической и энергетической эффективности в рамках развития систем экологического (СЭМ) и энергетического менеджмента (СЭнМ) крупных промышленных предприятий отраслей промышленности, отнесённых в Российской Федерации к областям применения НДТ;

– предложена модифицированная процедура исключения промышленных предприятий из Перечня экологических «горячих точек» Баренцева Евро-Арктического региона с учётом результатов реализации программ эколого-технологической модернизации и достижения соответствия требованиям НДТ;

– показано, что с учётом принципов зелёной химии требования наилучших доступных технологий следует устанавливать к этапам подготовки к выводу из эксплуатации устаревших технологических процессов (прежде всего тех, при реализации которых применяются или образуются опасные химические вещества);

– предложены подходы к применению концепции НДТ для повышения объективности и сопоставимости информации об экологической и ресурсной эффективности производства в рамках развития социально-экологической отчётности и выполнения пилотных ситуационных исследований.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы определяется тем, что в ней впервые обоснована необходимость применения основных научных положений и принципов концепции наилучших доступных технологий для совершенствования эколого-технологического регулирования деятельности промышленных предприятий на протяжении их жизненного цикла.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в возможности использования её результатов для (1) совершенствования процедуры ОВОС намечаемой деятельности в отраслях, отнесённых к областям применения НДТ; (2) обоснования целевых показателей развития СЭМ и СЭнМ промышленных предприятий; (3) разработки программ проведения экологических ситуационных исследований, в том числе в регионах размещения химических предприятий.

Модифицированная автором процедура исключения промышленных предприятий из Перечня экологических «горячих точек» Баренцева Евро-Арктического региона на основании результатов выполнения программ эколого-технологической модернизации и достижения требований НДТ реализована в 2020–2021 гг. для объектов целлюлозно-бумажной промышленности, горно-химического комплекса и для предприятий, эксплуатирующих централизованные системы водоотведения городов.

Результаты диссертационной работы используются также при проведении курсов повышения квалификации кадров в сфере наилучших доступных технологий и норм общего действия на базе АНО ДПО «Центр экологического аудита и менеджмента».

Положения, выносимые на защиту:

1. Классификация норм общего действия как инструментов технологического регулирования источников негативного воздействия на окружающую среду, охватывающая: (1) НОД для источников незначительного НВОС; (2) НОД, разъясняющие особенности применения отраслевых справочников по НДТ для сокращения негативного воздействия на атмосферный воздух и (или) водные объекты; (3) НОД, представляющие собой процедуры экологического менеджмента, в том числе применимые при подготовке к выводу из эксплуатации технологических процессов, в которых используются и (или) образуются опасные химические вещества.

2. Порядок применения ИТС НДТ в (1) процедурах оценки воздействия на окружающую среду намечаемой деятельности и (2) программах развития систем экологического и энергетического менеджмента промышленных предприятий в части обоснования целевых показателей повышения эффективности.

3. Модифицированная процедура исключения российских предприятий из Перечня экологических «горячих точек» Баренцева Евро-Арктического региона, предусматривающая учёт результатов реализации программ эколого-технологической модернизации и достижения соответствия требованиям НДТ.

4. Обоснование целесообразности включения в российские ИТС НДТ процедур подготовки к выводу из эксплуатации технологических процессов и (или) промышленных предприятий, где используются и (или) образуются опасные химические вещества.

5. Рекомендации по использованию показателей НДТ при подготовке сведений об экологической и ресурсной эффективности российских химических предприятий, включаемых в документы публичной нефинансовой отчётности.

Личный вклад автора. Автором осуществлён поиск и проведён анализ литературных источников, информация которых положена в основу аналитического обзора по теме работы; разработана классификация норм общего действия, потенциально применимых для эколого-технологического регулирования деятельности российских предприятий; выполнено обследование промышленных площадок пилотных предприятий, собраны, проанализированы и систематизированы необходимые данные об экологической и ресурсной эффективности производства и системах менеджмента; разработаны и актуализированы два национальных стандарта (ГОСТ Р серии 113 «Наилучшие доступные технологии» и серии 231 «Ресурсосбережение»). Разработанная автором классификация норм общего действия зарегистрирована в виде электронного ресурса (свидетельство о регистрации № 25094 от 13.01.2023 г.). Автором выполнен анализ полученных результатов и подготовлены материалы для опубликования научных статей в рецензируемых изданиях.

Достоверность и обоснованность исследований, положений, выводов и рекомендаций обеспечивается применением основных положений концепций устойчивого развития, наилучших доступных технологий и зелёной химии, а также современных принципов технологического регулирования в сфере охраны окружающей среды. Предложенные прикладные и теоретические выводы по диссертационной работе прошли экспертную оценку отечественных и зарубежных учёных, были обсуждены на международных и всероссийских научных конференциях и нашли практическое применение.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационного исследования обсуждены на XI Международной научно-практической конференции «Север и Арктика в новой парадигме мирового развития» (2022 г., г. Апатиты, Лузинские чтения); Всероссийской научно-практической конференции «Россия в XXI веке в условиях глобальных вызовов: проблемы управления рисками и обеспечения безопасности социально-экономических и социально-политических систем и природно-техногенных комплексов» (2022 г., г. Москва, Комиссия РАН по изучению научного наследия выдающихся учёных); XIV Международной научно-практической конференции «Образование и наука для устойчивого развития» (2022 г., г. Москва, РХТУ им. Д. И. Менделеева); XVI Международной научно-практической конференции «Ресурсная экономика, изменение климата и рациональное природопользование» (2021 г., г. Красноярск); Всероссийской конференции «Ломоносовские чтения» (2020 г., г. Москва, МГУ им. М. В. Ломоносова); Международной научной конференции «Хачатуровские чтения» (2020–2022 гг., г. Москва, МГУ им. М. В. Ломоносова); Международной конференции «Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Экосистемы и климат Арктической зоны» (2021 г., г. Москва, Институт глобального климата и экологии имени Ю. А. Израэля); ежегодных Международных конференциях Организации экономического сотрудничества и развития «Наилучшие доступные технологии для предотвращения и контроля загрязнения окружающей среды» (2017–2021 гг.); серии международных экспертных семинаров «Наилучшие доступные технологии и экологические «горячие точки» Баренцева Евро-Арктического региона» (2018–2021 гг., гг. Архангельск, Москва, Мурманск, Нарьян-Мар, Петрозаводск, Санкт-Петербург, Сыктывкар).

Публикации. Основные положения диссертации отражены в 28 публикациях, в том числе, в 13 статьях в рецензируемых научных изданиях, включённых в базы цитирования Web of Science и Scopus, и 3 статьях в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией (ВАК) при Минобрнауки России для опубликования основных результатов научных исследований. Все публикации подготовлены в соавторстве.

Объём и структура работы. Основной текст диссертации изложен на 184 страницах; состоит из введения, 3 глав, заключения, списка литературы, включающего 302 наименования (в том числе 80 на иностранных языках), списка сокращений и условных обозначений; содержит 36 рисунков и 11 таблиц; дополнен 3 приложениями (на 36 страницах).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность поставленной и решённой научной проблемы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, изложены научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе «Система технологического регулирования деятельности промышленных предприятий в сфере охраны окружающей среды» описана эволюция концепции наилучших доступных технологий как основного инструмента эколого-технологического регулирования и прослежена её связь с концепциями малоотходных, более чистых, энерго- и ресурсосберегающих технологий. Прослежены два направления развития концепции: (1) для целей эколого-технологического регулирования на основе

принципа комплексного предотвращения и контроля загрязнения окружающей среды; (2) для целей развития промышленной политики России, направленной на повышение ресурсной эффективности производства и вовлечение вторичных ресурсов в экономический оборот. Отмечено, что внедрение НДТ способствует достижению таких целей устойчивого развития (ЦУР), как ЦУР 8 «Устойчивый экономический рост», ЦУР 9 «Индустриализация и внедрение инноваций» и ЦУР 12 «Ответственное потребление и производство».

Подчёркнуто, что основные принципы НДТ включают (1) повышение ресурсной (в том числе энергетической) эффективности производства; (2) предотвращение негативного воздействия на окружающую среду; (3) установление измеримых и значимых показателей, характеризующих технологии, и обеспечение их достижения; (4) постепенный отказ от вовлечения в технологические циклы опасных химических веществ и (5) минимизацию отходов и потерь. Показано, что в рамках концепции НДТ в качестве приоритетных рассматриваются подходы повышения ресурсной и экологической эффективности производства, «встроенные» в технологические процессы. При этом возможности средозащитной техники обсуждаются в качестве дополнительных, вторичных подходов. Определение наилучших доступных технологий происходит в результате отраслевого бенчмаркинга достигнутых предприятиями показателей и выбора решений, характеризующихся наилучшим сочетанием экологической и ресурсной эффективности с учётом экономической целесообразности.

Предложена классификация особых инструментов эколого-технологического регулирования – норм общего действия. Классификация охватывает (1) НОД для источников незначительного НВОС; (2) НОД, разъясняющие особенности применения отраслевых справочников по НДТ для сокращения негативного воздействия на атмосферный воздух и (или) водные объекты; (3) НОД, представляющие собой процедуры экологического менеджмента, в том числе применимые при подготовке к выводу из эксплуатации технологических процессов, в которых используются и (или) образуются опасные химические вещества.

Во второй главе «Гипотеза и методы научного исследования» детализирована гипотеза и представлены основные методы, использованные при выполнении научного исследования. Выдвинуто предположение о целесообразности применения методов эколого-технологического регулирования, основанных на концепции НДТ и подходах НОД, для повышения экологической и ресурсной эффективности технологических процессов на всех этапах жизненного цикла промышленного предприятия (рисунок 1).

Выполнен сравнительный анализ концепций НДТ и зелёной химии, основанных на единых принципах повышения ресурсной эффективности и предотвращения загрязнения окружающей среды. Показано (таблица 1), что принципы зелёной химии целесообразно рассматривать как детализацию принципов НДТ применительно к химической технологии с одновременным распространением требований повышения ресурсной и экологической эффективности на весь жизненный цикл химических продуктов.

При этом наилучшие доступные технологии должны быть технически и экономически доступными, готовыми для практического внедрения в промышленности, в то время как внимание зелёной химии сосредоточено прежде всего на новых разработках и, тем самым, на создании перспективных технологий. Выдвинуто предположение

о том, что последовательное сближение концепций НДТ и зелёной химии создаёт условия для развития социально-экологической отчётности предприятий.

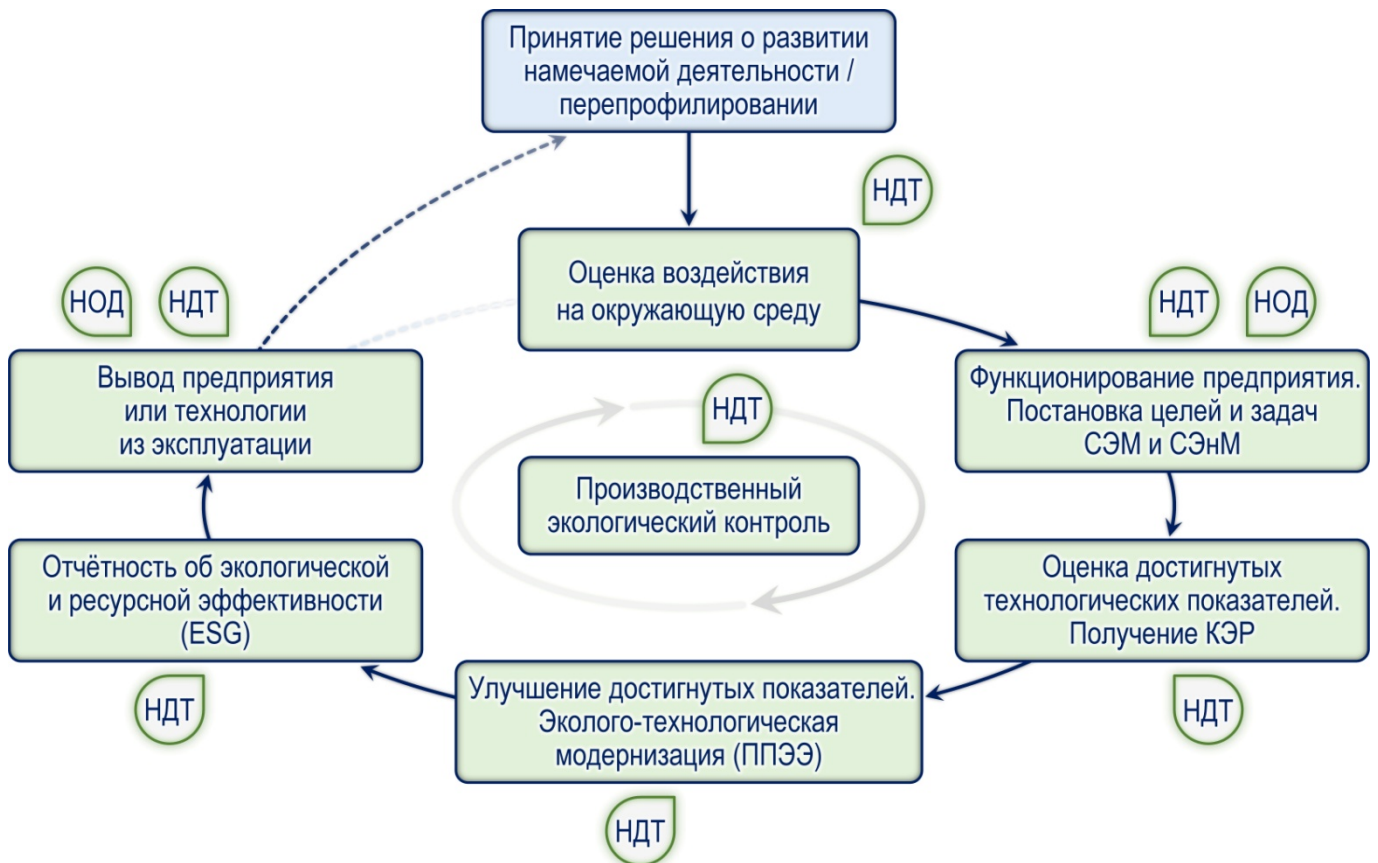


Рисунок 1 – Применимость концепции наилучших доступных технологий на всех этапах жизненного цикла промышленного предприятия

Таблица 1 – Сопоставление принципов наилучших доступных технологий и зелёной химии

Основные принципы зелёной химии	Отражение в концепции наилучших доступных технологий
Предотвращение загрязнения окружающей среды	Основной принцип, используется при определении НДТ
Ресурсная эффективность («экономия молекул»)	Повышение ресурсной эффективности – основной принцип НДТ; в российской экологической промышленной политике рассматривается детальнее, чем в международных документах
Минимизация отходов и потерь	Основной принцип, используется при определении НДТ
Повышение энергетической эффективности	Основной принцип, используется при определении НДТ
Предотвращение аварий	Принцип НДТ; регулирование осуществляется в рамках законодательства о промышленной безопасности
Использование в качестве исходных веществ с минимальной токсичностью	Принцип НДТ, декларированный в международных документах; проявляется в отказе от использования особо опасных веществ
Мониторинг продуктов реакции в режиме реального времени	Обсуждается при определении наилучших практик производственного экологического контроля
Использование возобновляемых источников сырья и энергии	При определении НДТ используется в ряде отраслей, в том числе, в целлюлозно-бумажной
Сокращение числа стадий процесса и отказ от вспомогательных веществ (экстрагентов, растворителей и др.)	При разработке ИТС НДТ проявляется косвенно при сравнительном анализе технологических решений, которые могут быть отнесены к НДТ

Основные принципы зелёной химии	Отражение в концепции наилучших доступных технологий
Замена стехиометрических реакций каталитическими	При определении НДТ не используется; в ряде случаев обсуждается в разделе ИТС НДТ «Перспективные технологии»
Разработка биоразлагаемых (после завершения использования) химических продуктов	При определении НДТ не используется; в ряде случаев обсуждается в разделе ИТС НДТ «Перспективные технологии»
Разработка продуктов с высокой эффективностью действия, но менее токсичных, чем используемые в настоящее время аналоги	При определении НДТ не используется

Описаны особенности процедур ОВОС, экологического и энергетического аудита промышленных предприятий, а также подходов экологических ситуационных исследований, бенчмаркинга экологической и ресурсной эффективности производства применительно к пилотным проектам внедрения НДТ. Обоснован порядок применения указанных методов для решения задач диссертационного исследования.

В третьей главе «Разработка подходов к применению концепции НДТ на протяжении жизненного цикла промышленных предприятий» представлены результаты ситуационных исследований, выполненных на пилотных объектах, расположенных в различных регионах России. В качестве пилотных выбраны предприятия, реализующие химико-технологические процессы, так как они имеют критически важное значение для функционирования реального сектора экономики, а также оказывают значительное влияние на развитие смежных отраслей: пищевых, фармацевтических производств, агропромышленного сектора и др.

В разделе 3.1 «Учёт требований наилучших доступных технологий при проведении оценки воздействия на окружающую среду» проанализированы результаты комплексного развития промышленного узла в Приволжском федеральном округе, связывающего между собой производство хромовых соединений (бихромата натрия и калия, оксидов хрома, металлического хрома), извести, гипса и соды. Особенность объекта исследования состоит в том, что в рассматриваемом промышленном узле реализованы принципы экономики замкнутого цикла: производство хромовых соединений обеспечено кальцинированной содой – основным компонентом шихты в процессе производства монокромата натрия, и предусмотрена комплексная переработка сульфата натрия – отхода завода хромовых соединений (рисунок 2). В порядке методической поддержки инициатора деятельности предложено при разработке отчёта об ОВОС и подготовке к общественному обсуждению учесть и представить заинтересованным сторонам применимые требования НДТ.

В ходе исследования определены отраслевые требования НДТ, технологические показатели и показатели ресурсной эффективности (в соответствии с ИТС 19 «Производство твёрдых и других неорганических химических веществ») и проанализированы ключевые показатели, представленные в проектной документации. В материалы ОВОС включены положения о том, что выбранные технологические решения:

– отвечают принципам повышения ресурсной и экологической эффективности, положенным в основу НДТ; удельное потребление тепловой энергии составляет

0,145 т у.т. на тонну соды (диапазон значений, приведённый в ИТС 19-2020, – 0,158–0,204 т у.т./т соды);

– способствуют сокращению потребления природных ресурсов (доломита и известняка, до 160 тыс. т/год);

– учитывают принципы экономики замкнутого цикла (позволяют снизить удельное количество образующихся в основном производстве отходов с 2,5 т до 1,1 т шлама на 1 тонну монокромата натрия).

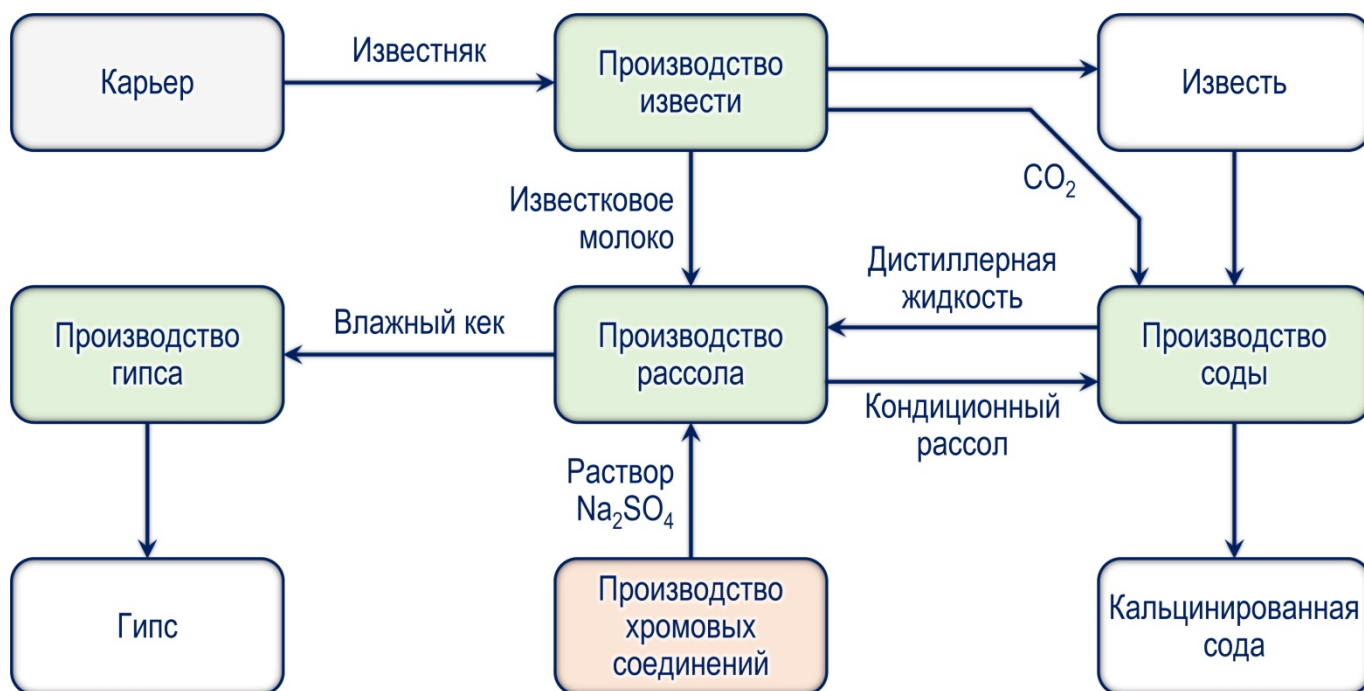


Рисунок 2 – Проектирование промышленного узла по производству гипса, извести и кальцинированной соды

Результаты сравнительного анализа обсуждены с общественностью в 2019 г. и включены в состав материалов, представленных инициатором деятельности на государственную экологическую экспертизу (в соответствии с действовавшими требованиями НПА). Апробированные подходы к учёту требований НДТ в ходе проведения процедуры ОВОС использованы для актуализации при участии автора в 2022 г. ГОСТ Р 56828.5 «Методические рекомендации по порядку применения информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям при оценке воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду».

В разделе 3.2 «Использование принципов наилучших доступных технологий при развитии систем экологического и энергетического менеджмента» представлены результаты проведения оценки показателей ресурсной и экологической эффективности производства тарного стекла на предмет соответствия требованиям НДТ для пилотного объекта – стеклотарного завода, расположенного в Центральном федеральном округе (таблица 2). Установлено, что в результате реконструкции, завершённой в 2019 г., предприятие добилось значительного повышения ресурсной эффективности и достигло соответствия требованиям НДТ. Учитывая особенности размещения производственной площадки (в границах особо охраняемой природной территории), руководство предприятия стремится снизить НВОС и вносит вклад в развитие добровольной экологической деятельности в регионе.

Показано, что в связи с наметившейся тенденцией ужесточения технологических показателей НДТ, а также риском установления новых условий (в том числе при экспорте продукции) целесообразно ориентироваться при постановке целей и задач в рамках развития систем энергетического и экологического менеджмента на показатели, превосходящие установленные требования. Особое внимание следует уделить уточнению достигнутых показателей по выбросам SO_2 , в отношении которых в отрасли существует значительная неопределённость (таблица 2).

Таблица 2 – Повышение ресурсной и экологической эффективности стеклотарного предприятия

Показатели ресурсной и экологической эффективности	Пилотное предприятие		Характеристики НДТ	
	до реконструкции	по состоянию на 2021 г.	ИТС 5-2022	Международные документы (2018–2021 гг.)
Производство, т стекломассы в сутки	220	600	Требования НДТ распространяются на предприятия, на которых образуется не менее 20 т стекломассы в сутки	
Удельные показатели ресурсной эффективности, в расчёте на 1 т стекломассы				
Потребление энергии, ГДж	9,08	5,19	6,1–10,9	4,5–5,3
Потребление стеклобоя, т	0,10	0,20	0,15	0,30–0,65
Удельные показатели экологической эффективности и углеродоёмкости, выбросы в атмосферу в расчёте на 1 т стекломассы				
Оксиды азота, кг	6,12	4,30	9,0	0,3–1,2
Монооксид углерода, кг	0,81	0,45	0,7	–
Диоксид серы, кг	–	0,36	–	0,3–0,75
Неорганическая пыль, кг	0,59	0,51	0,8	0,015–0,060
Парниковые газы, т CO_2 -экв.	0,54	0,43	0,43–0,52	0,29–0,32

На основании рассмотрения документации СЭМ выявлено, что помимо основных источников выбросов в окружающую среду, требования к которым установлены в ИТС 5-2022 «Производство стекла» (по следующим маркерным веществам: монооксид углерода, оксиды азота в пересчёте на NO_2 , взвешенные вещества), на предприятии есть и второстепенные: сварочные посты, металло- и деревообрабатывающее станочное оборудование, посты окраски, аспирационные установки, гаражи и т. п., нормирование которых осуществляется расчётными способами; результаты включаются в нормативы допустимых выбросов предприятия.

Согласно действующим методикам предполагается, что при проведении сварочных работ в атмосферу выделяются оксид железа, магний и его соединения, монооксид углерода, диоксид азота, неорганическая пыль, плохо растворимые неорганические фториды и фтористые газообразные соединения. Считается также, что выполнение окрасочных работ сопровождается поступлением в воздух ксилола, этилбензола, н-бутанола, пропанола, этанола, фенола, 1-метоксипропан-2-ола, сольвента нефти и взвешенных веществ (таблица 3). При этом суммарные выбросы этих веществ (~0,6–0,7 т/год) составляют около 0,05 % от общей годовой массы выбросов загрязняющих веществ обсуждаемого ОНВОС.

Для пилотного объекта разработана процедура СЭМ, основанная на принципах НОД, с технологическими показателями, достижимыми при её соблюдении. Подготовлен также проект национального стандарта ГОСТ Р серии 113 «Наилучшие доступные

технологии. Проведение сварочных работ. Нормы общего действия» для целей эколого-технологического регулирования источников незначительного воздействия на окружающую среду.

Таблица 3 – Обобщённый состав выбросов, образующихся при проведении ремонтных работ на стеклотарном предприятии

Загрязняющие вещества	Содержание в выбросах, %	Загрязняющие вещества	Содержание в выбросах, %
Углерода оксид	31	Сольвент нефти	6
Ксилол	18	Н-бутанол	5
Железа оксид	13	Этилбензол	4
Фенол	7	Фтористые газообразные соединения	2
Азота оксид	6	Марганец и его соединения	1
Взвешенные вещества	6	Пыль неорганическая	1

В разделе 3.3 «Использование инструментов эколого-технологического регулирования в контексте выполнения международных обязательств России в сфере охраны окружающей среды» представлено обоснование совершенствования процедуры исключения российских предприятий из Перечня экологических «горячих точек» Баренцева Евро-Арктического региона по результатам реализации программ эколого-технологической модернизации и достижения соответствия требованиям НДТ.

Оценка соответствия модернизированных объектов требованиям НДТ проведена для пилотного предприятия – крупного градообразующего целлюлозно-бумажного комбината, в 2000-е гг. – основного регионального источника выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду. Установлено, что совокупность проектов, выполненных в 2013–2019 гг., позволила не только достичь показателей, отвечающих требованиям НДТ, но и превзойти их. В результате реконструкции основного производства и очистных сооружений при значительном увеличении выпуска продукции сокращено водопотребление, снижены сбросы загрязняющих веществ в природные водные объекты (по четырём маркерным показателям в сбросах: взвешенные вещества, общий азот, общий фосфор, адсорбируемые галогенорганические соединения) и их выбросы в воздух (по двум маркерным показателям: пыли и сумме дурнопахнущих веществ – сероводорода, метилмеркаптана и диметилсульфида). Отбелка целлюлозы осуществляется без применения молекулярного хлора. Кородревесные остатки и обезвоженные осадки сточных вод используются для производства зелёной энергии (таблица 4). Предприятие обеспечено собственной лесосекой; системы менеджмента сертифицированы в соответствии с требованиями FSC – Международной схемы добровольной лесной сертификации.

В 2018 г. выполнен анализ действовавшей в 2013–2018 гг. процедуры исключения экологических «горячих точек». Показано, что основной её недостаток – отсутствие чётких критериев исключения и требований, принятых как в России, так и в странах Северной Европы. Предложено модифицировать процедуру, включив в неё оценку достижения соответствия ОНВОС применимым требованиям НДТ в результате реализации программ эколого-технологической модернизации. В качестве специфических критериев исключения предложено учитывать технологические показатели, установленные для сбросов сточных вод, и показатели ресурсной эффективности (удельное энерго- и водопотребление).

Систематизированная в ходе исследования информация использована в качестве основы разработки программы повышения экологической эффективности (ППЭЭ), представленной российским и зарубежным учёным, в том числе, участвовавшим в анализе деятельности пилотного предприятия в 2003–2010 гг. Итоговые материалы обсуждены Международной комиссией в 2020 г. и использованы как доказательная база для принятия решения об исключении пилотного предприятия из перечня экологических «горячих точек». Таким образом, результаты реализации программы эколого-технологической модернизации, направленной на достижение соответствия требованиям НДТ, впервые нашли применение для доказательства выполнения Российской Федерацией обязательств по сокращению негативного воздействия на окружающую среду в Арктике.

Таблица 4 – Повышение ресурсной, экологической и экономической эффективности предприятия целлюлозно-бумажной промышленности в результате проведения модернизации на основе принципов наилучших доступных технологий

Характеристики деятельности пилотного предприятия	Изменение показателей в 2020 г. по сравнению с 2013 г., %	
	Повышение	Снижение
Выпуск продукции	83,5	–
Выручка	92,0	–
Прибыль	395,8	–
Выход белой целлюлозы	4,6	–
Общее производство энергии	62,7	–
Доля возобновляемой энергии, полученной путём сжигания кородревесных остатков, чёрного щёлока и осадков сточных вод	15,0	–
Отходы производства	–	87,5
Потери годной древесины при подготовке щепы	–	55,0
Потери волокна при сортировке и отбелке	–	35,0
Выбросы загрязняющих веществ суммарные	–	69,8
Сбросы загрязняющих веществ суммарные	–	21,0
Удельное водопотребление	–	62,5
Удельное энергопотребление	–	25,0

В разделе 3.4 «Применение принципов наилучших доступных технологий на стадии вывода технологических процессов из эксплуатации» представлены результаты разработки рекомендаций по определению и включению в отраслевые ИТС НДТ наилучших доступных технологий подготовки к выводу из эксплуатации технологических процессов.

Объект ситуационного исследования – пилотное предприятие, расположенное в Южном федеральном округе, реализующее технологические процессы, описанные в ИТС 19-2019 «Производство твёрдых и других неорганических химических веществ», включая производство хлора и щелочей. Положениями п. 2 ст. 5 и приложением В Минаматской конвенции по ртути, подписанной Россией на основании распоряжения Правительства РФ от 07.07.2014 г. № 1242-р, установлен срок поэтапного вывода из обращения хлорщелочного производства ртутным методом электролиза – 2025 г.

На основе анализа отчётных данных российских предприятий и литературных источников показано, что вывод из эксплуатации цеха ртутного электролиза позволит предотвратить выбросы ртути в воздух примерно на 0,8–0,9 тонн в год. При этом количество ртути, которое предстоит собрать на производственной площадке, оценить

сложно; международный и российский опыт свидетельствует о том, что в прошлые годы на разных площадках собраны десятки и сотни тонн ртути, в том числе, содержащейся в грунтах, расположенных под цехами ртутного электролиза (50–60 тыс. тонн загрязнённого грунта или 1,3–3,8 кг на единицу годового выпуска хлора).

В таблице 5 приведены характеристики загрязнения грунтов, почв и донных отложений в зоне воздействия типичного предприятия по производству хлора и щелочей методом ртутного электролиза.

Таблица 5 – Загрязнение различных сред ртутью в зоне воздействия предприятия по производству хлора и щелочей

Образцы	Концентрация, мг/кг	Образцы	Концентрация, мг/кг
Почвогрунты в пределах промплощадки	145–560	Донные отложения в пруду-отстойнике предприятия	350–780
Почвы в прилегающей зелёной зоне	< 0,01–21	Донные отложения в изолированных водоёмах	7–85

Так как процедура подготовки к выводу из эксплуатации технологических процессов, в которых используются опасные химические вещества, является неотъемлемым этапом жизненного цикла промышленного предприятия, предложено формализовать её в виде национального стандарта (по принципу НОД) для производства хлора и гидроксида натрия методом ртутного электролиза или внести в ИТС 19 «Производство твёрдых и других неорганических химических веществ» при его актуализации.

Основные позиции процедуры представлены на рисунке 3.

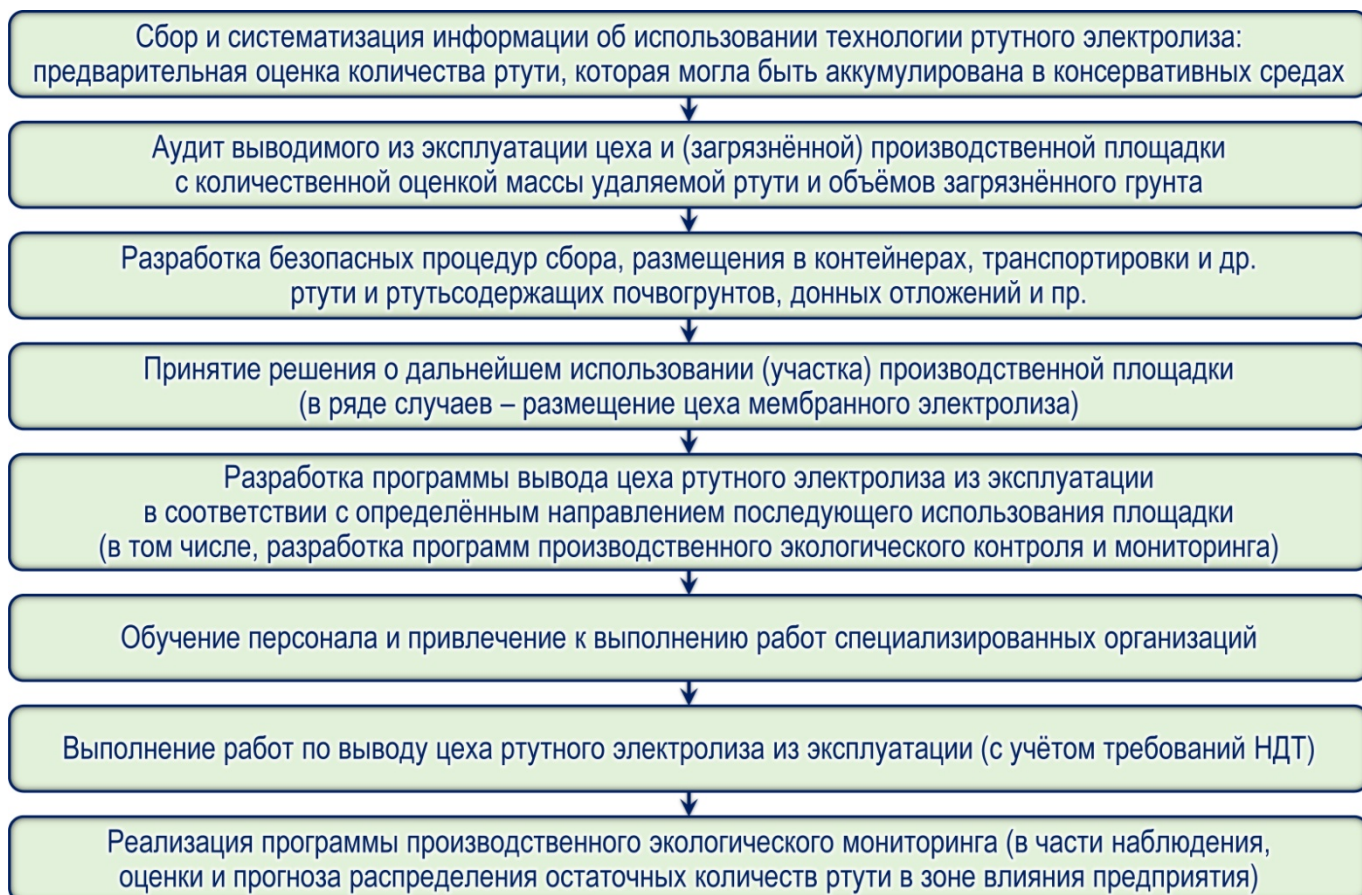


Рисунок 3 – Структура процедуры подготовки к выводу из эксплуатации цеха производства хлора и гидроксида натрия методом ртутного электролиза

Разработка НДТ для этапа подготовки к выводу из эксплуатации технологических процессов и включение их в отраслевые ИТС призвана:

- обеспечить расширение сферы применения отраслевых ИТС НДТ на заключительную стадию функционирования предприятий, что соответствует требованиям природоохранного законодательства;
- сформировать безопасные процедуры, направленные на совершенствование систем экологического менеджмента и подлежащие внедрению в российской промышленности (в том числе на предприятиях химической отрасли);
- учесть принципы зелёной химии при определении НДТ для технологических процессов, в которых используются или образуются опасные химические вещества, и предотвратить образование объектов накопленного экологического вреда.

В разделе 3.5 «Развитие подходов к подготовке информации об экологической и ресурсной эффективности производства с учётом требований наилучших доступных технологий» представлен критический анализ материалов публичной нефинансовой отчётности (ПНО) крупных химических компаний. Подчёркнуто, что доступ к актуальной экологической информации должен обеспечиваться на всех этапах жизненного цикла предприятия.

Сделан вывод о том, что в ПНО химических предприятий по ключевым показателям экологической и ресурсной эффективности количественную информацию целесообразно приводить в сопоставлении с чёткими критериями оценки – установленными в отраслевых ИТС показателями НДТ.

Предложено в рамках ПНО систематизировать наиболее представительные результаты внедрения НДТ с учётом подходов разработанного автором ГОСТ Р 70134-2022 «Ресурсосбережение. Методические рекомендации по предоставлению результатов ситуационных исследований в промышленности, направленных на повышение ресурсной эффективности».

Отмечено, что экологические ситуационные исследования представляют собой одну из форм ПНО. В качестве практического примера применения ГОСТ Р 70134-2022 проанализированы потоки вещества и энергии в промышленном симбиозе, в рамках которого накопленные в течение 50 лет и вновь образующиеся шлаки металлургического производства используются в составе сырьевой муки при производстве цементного клинкера (30–35 %) (см. рисунок 4).

Для достижения требований НДТ цементный завод реализует ППЭЭ и внедряет технологию селективного некаталитического восстановления NO_x . Применяются ключевые НДТ, установленные в ИТС 6-2022 «Производство цемента»:

- НДТ 1а: снижение удельных расходов сырьевых материалов для производства портландцементного клинкера и цемента (замена природных сырьевых компонентов отходами производства / материалами из отходов);
- НДТ 3а: сокращение / минимизация удельных расходов тепла на обжиг клинкера (использование сухого способа производства, оптимизация количества ступеней циклонного теплообменника в соответствии с характеристиками используемых сырьевых материалов); показатель удельного потребления энергии 3,00–4,12 ГДж/т клинкера;

– НДТ 11а и 11е: снижение выбросов NO_x в отходящих печных газах (оптимизация процесса обжига и применение технологии селективного некаталитического восстановления оксидов азота); технологический показатель НДТ $\leq 500 \text{ мг NO}_x/\text{м}^3$.

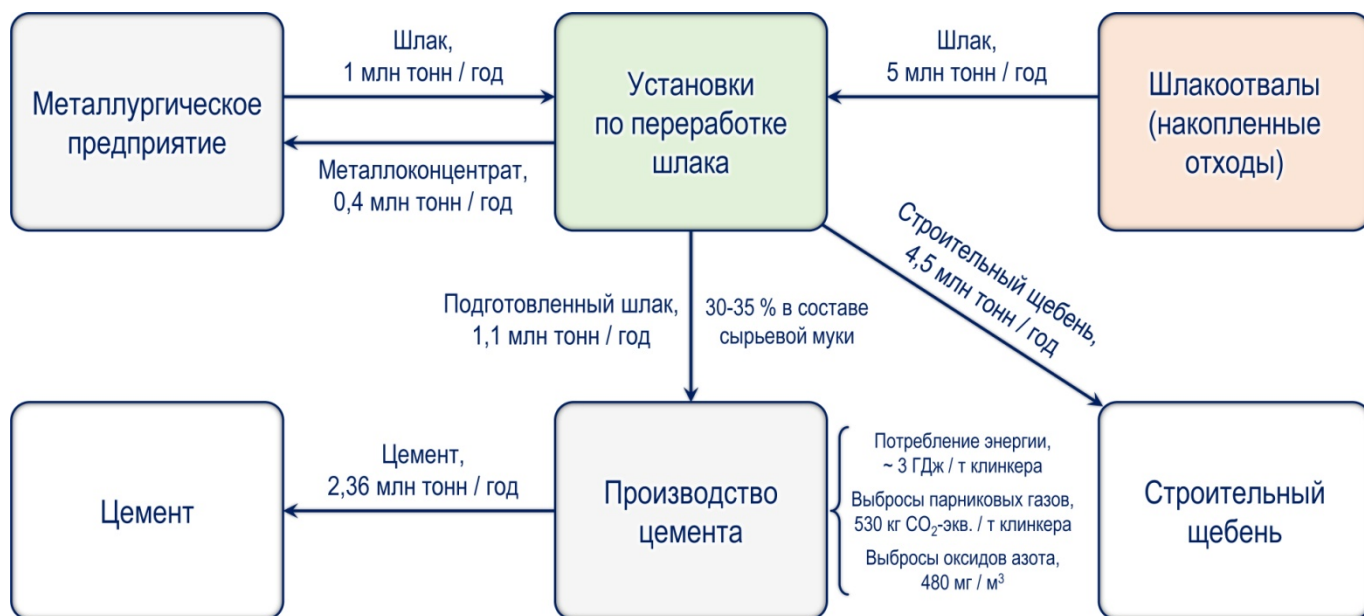


Рисунок 4 – Экологическое ситуационное исследование: производство цемента в соответствии с требованиями наилучших доступных технологий

Замыкание цикла позволяет повысить ресурсную (в том числе энергетическую) эффективность и сократить выбросы оксидов азота, которые являются маркерными веществами процесса получения цементного клинкера, а также уменьшить выбросы парниковых газов. Расширяется ассортимент выпускаемой цементным предприятием продукции; металлоконцентраты используются в качестве сырьевого компонента в доменном, электросталеплавильном и ферросплавном производстве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате решения задач исследования разработаны подходы к применению концепции наилучших доступных технологий в качестве основы эколого-технологического регулирования на протяжении жизненного цикла предприятий, реализующих химико-технологические процессы производства продукции.

Выводы:

1. Разработана классификация норм общего действия как инструмента технологического регулирования источников негативного воздействия на окружающую среду, охватывающая: (1) НОД для источников незначительного НВОС; (2) НОД, разъясняющие особенности применения отраслевых справочников по НДТ для сокращения негативного воздействия на атмосферный воздух и (или) водные объекты; (3) НОД, представляющие собой процедуры экологического менеджмента, в том числе применимые при подготовке к выводу из эксплуатации технологических процессов, в которых используются и (или) образуются опасные химические вещества.

2. Определены возможные направления сближения концепции НДТ, применяемой для эколого-технологического регулирования деятельности химических предприятий, и концепции зелёной химии, нацеленной на создание новых технологических процессов и систем, характеризующихся минимальным негативным воздействием на окружающую среду и человека. Показано, что учёт принципов зелёной химии при разработке ИТС позволит усилить внимание к предотвращению вовлечения в производственные циклы опасных химических веществ.

3. Обоснована необходимость применения ИТС НДТ в процедурах оценки воздействия на окружающую среду проектов развития намечаемой деятельности. На примере промышленного симбиоза химических предприятий показано, что учёт требований НДТ на этапе выбора альтернативных технологических решений способствует повышению экологической и ресурсной эффективности предприятий при реализации намечаемой деятельности.

4. Предложен порядок применения показателей НДТ при постановке целей и задач развития СЭМ и СЭнМ промышленных предприятий. Показано, что для нормирования источников незначительного НВОС, расположенных на промплощадках промышленных предприятий, целесообразно разрабатывать и применять НОД, которые представляют собой требования, предъявляемые к порядку эксплуатации установок и направленные на минимизацию негативного воздействия.

5. Доработана и апробирована на пилотном предприятии целлюлозно-бумажной промышленности процедура исключения российских промышленных предприятий из Перечня экологических «горячих точек» Баренцева Евро-Арктического региона; в актуализированной процедуре впервые в качестве доказательной базы использованы результаты реализации программ эколого-технологической модернизации и достижения соответствия требованиям НДТ.

6. Обоснована целесообразность включения в российские ИТС НДТ процедур подготовки к выводу из эксплуатации технологических процессов и (или) промышленных предприятий, использующих в производстве опасные химические вещества. Структура модельной процедуры разработана на примере производства хлора и щелочей методом ртутного электролиза.

7. В результате анализа информации об экологической и ресурсной эффективности российских химических предприятий, представленной в публичной нефинансовой отчётности, сформулированы рекомендации по использованию показателей НДТ для повышения сопоставимости и объективности информации ПНО, а также подготовлен национальный стандарт ГОСТ Р 70134-2022 «Ресурсосбережение. Методические рекомендации по представлению результатов ситуационных исследований в промышленности, направленных на повышение ресурсной эффективности».

Перспективным направлением развития работ может стать расширение спектра ситуационных исследований и разработка требований к оценке проектов устойчивого развития на основе концепции наилучших доступных технологий.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России
для опубликования основных результатов научных исследований,
и в рецензируемых научных изданиях, включённых
в базы цитирования Web of Science и Scopus

1. Meshalkin V. P., Kulov N. N., Guseva T. V., Tikhonova I. O., Burvikova Yu. N., Bhimani Ch., **Shchelchkov K. A.** Best Available Techniques and Green Chemical Technology: Possibilities for Convergence of Concepts // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2022. – Vol. 56. – No 6. – P. 964–970. – DOI: 10.1134/S0040579522060124.
2. **Shchelchkov K.**, Guseva T., Tikhonova I., Potapova E., Rudomazin V. The Concept of Best Available Techniques as an Instrument for Increasing Industrial Resource Efficiency and Reducing Environmental Impact in the Arctic // Proceedings of the International Russian Conference on Ecology and Environmental Engineering RusEcoCon. – 2022. – Pap. 012010. – DOI: 10.1088/1755-1315/1061/1/012010.
3. Мешалкин В. П., Шинкевич А. И., Малышева Т. В., **Щелчков К. А.**, Рудомазин В. В. Методика выбора экологически устойчивых промышленных зон Татарстана для развития обрабатывающих производств // Экология и промышленность России. – 2022. – Т. 26. – № 4. – С. 30–36. – DOI: 10.18412/1816-0395-2022-4-30-36.
4. Молчанова Я. П., **Щелчков К. А.**, Волосатова А. А., Тихонова И. О. Подготовка информации об экологической и ресурсной эффективности производства: учёт требований наилучших доступных технологий // Химическая промышленность сегодня. – 2022. – № 5. – С. 10–17.
5. Тихонова И. О., **Щелчков К. А.**, Гусева Т. В. Особенности применения инструментов эколого-технологического регулирования на разных этапах жизненного цикла химических предприятий // Химическая промышленность сегодня. – 2022. – № 4. – С. 18–27.
6. Петросян В. С., Тихонова И. О., Епифанцев А. С., **Щелчков К. А.**, Цветкова Е. А. Опыт создания промышленного симбиоза предприятий химической промышленности // Экология и промышленность России. – 2021. – Т. 25. – № 8. – С. 28–33. – DOI: 10.18412/1816-0395-2021-8-28-33.
7. Гусева Т. В., Тихонова И. О., Цевелев В. Н., **Щелчков К. А.**, Аверочкин Е. М. Направления оптимизации технологического нормирования производства тарного стекла: наилучшие доступные технологии, нормы общего действия и углеродоёмкость продукции // Стекло и керамика. – 2021. – № 10. – С. 18–23. – DOI: 10.1007/s10717-022-00419-y.
8. Tikhonova I., Guseva T., **Shchelchkov K.**, Potapova E., Averochkin E. General Binding Rules and Decarbonisation of the Construction Materials Industry // Proceedings of the 21st International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2021. – 2021. – Vol. 21. – Is. 5.1. – P. 51–58. – DOI: 10.5593/sgem2021/5.1/s20.007.

9. Tikhonova I., Guseva T., Potapova E., **Shchelchkov K.** Forming Circular Economy Links in Chemical Industry: Lime, Caustic Ash, Salt and Gypsum Production in the Urals // Proceedings of the 21st International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2021. – 2021. – Vol. 21. – Is. 5.1. – P. 229–235. – DOI: 10.5593/sgem2021/5.1/s20.029.
10. Tikhonova I., Guseva T., Averochkin E., **Shchelchkov K.** Best Available Techniques and Best Environmental Management Practices: Collaboration Between Industries and Regions // Procedia Environmental Science, Engineering and Management. – 2021. – Vol. 8. – No 2. – P. 495–505. – https://procedia-esem.eu/pdf/issues/2021/no2/20_52_Tikhonova_21.pdf.
11. Mikaelsson Å., Guseva T., Tikhonova I., **Shchelchkov K.** Best Available Techniques as Criteria for Excluding Russian Industrial Installation from the Environmental Hot Spot List of The Barents Region // Proceedings of the 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020. – 2020. – Vol. 20. – Is. 5.1. – P. 91–98. – DOI: 10.5593/sgem2020/5.1/s20.012.
12. Vakula M. A., Guseva T. V., **Schelchkov K. A.**, Tikhonova I. O., Molchanova Y. P. Green and Resilient City: Obligatory Requirements and Voluntary Actions in Moscow // Green Technologies and Infrastructure to Enhance Urban Ecosystem Services. Springer Geography. – 2020. – P. 249–268. – DOI: 10.1007/978-3-030-16091-3_27.
13. Guseva T., **Shchelchkov K.**, Sanzharovskiy A., Molchanova Ya. Best Available Techniques, Energy Efficiency Enhancement and Carbon Emissions Reduction // Proceedings of the 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. – 2019. Vol. 19. – Is. 5.1. – P. 63–70. – DOI: 10.5593/sgem2019/5.1/S20.008.
14. Guseva T., **Shchelchkov K.**, Vartanyan M., Tikhonova I. Setting Energy Efficiency Enhancement Objectives for Russian Energy Intensive Industries // Procedia Environmental Science, Engineering and Management. – 2019. – Vol. 6. – No 4. – P. 619–628. – https://procedia-esem.eu/pdf/issues/2019/no4/70_Guseva_19.pdf.
15. Skobelev D., Guseva T., Chechevatova O., Sanzharovsky A., **Shchelchkov K.** Development of Reference Books on Best Available Techniques in the European Union and in the Russian Federation: a Comparative Analysis // Proceedings of the 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018. – 2018. – Vol. 18. – Is. 5.1. – P. 259–266. – DOI: 10.5593/sgem2018/5.1/S20.034.
16. Гашо Е. Г., Гусева Т. В., Степанова М. В., **Щелчков К. А.** Приоритеты эколого-энергетической политики через призму реализации наилучших доступных технологий в промышленности // Компетентность. – 2017. – № 8 (149). – С. 14–21.

Статьи в других научных изданиях и тезисы докладов

1. **Щелчков К. А.**, Тихонова И. О. Подходы к использованию инструментов эколого-технологического нормирования на протяжении жизненного цикла химического предприятия // Материалы XIV Международной научно-практической конференции: «Образование и наука для устойчивого развития». – Москва, 2022. – С. 255–259.
2. Гусева Т. В., Тихонова И. А., **Щелчков К. А.** Роль наилучших доступных технологий в формировании экономики замкнутого цикла // Труды Всероссийской научно-

практической конференции «Россия в XXI веке в условиях глобальных вызовов». – Москва, 2022. – С. 175–181.

3. **Щелчков К. А.**, Тихонова И. О. Применение наилучших доступных технологий на разных этапах жизненного цикла промышленного предприятия // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения – 2022». – Апатиты, 2022. – С. 35–36.
4. Елифанцев А. С., Аверочкин Е. М., Фирер А. А., **Щелчков К. А.** Формирование промышленного симбиоза химических предприятий // Зелёные проекты. Ситуационные исследования: альманах. – М. : Деловой экспресс, 2021. – С. 44–51.
5. **Щелчков К. А.**, Гусева Т. В. Наилучшие доступные технологии и нормы общего действия // Материалы XVI Международной научно-практической конференции Российского общества экологической экономики «Ресурсная экономика, изменение климата и рациональное природопользование». – Красноярск, 2021. – С. 198–200.
6. Кряжев А. М., Очеретенко Д. П., **Щелчков К. А.**, Фирер А. А. Этапы перехода предприятия целлюлозно-бумажной промышленности к наилучшим доступным технологиям // Зелёные кейсы. – М. : Деловой экспресс, 2020. – С. 50–57.
7. Потапова Е. Н., Канишев А. С., Аверочкин Е. М., **Щелчков К. А.** Повышение ресурсоэффективности и снижение негативного воздействия на окружающую среду // Зелёные кейсы. – М. : Деловой экспресс, 2020. – С. 58–63.
8. Гревцов О. В., **Щелчков К. А.**, Эпов А. Н., Остапчук В. В., Чижиков И. П. Применение принципов наилучших доступных технологий: опыт исключения канализационных очистных сооружений из списка экологических «горячих точек» // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2020. – № 3. – С. 2–7.
9. Гусева Т. В., Тихонова И. О., **Щелчков К. А.** Добровольная отчетность об устойчивом развитии и технологические нормирование предприятий: новые вызовы и возможности // «Ломоносовские чтения – 2020. Экономическая повестка 2020-х годов». – Москва, 2020. – С. 788–790.
10. Тихонова И. О., Гусева Т. В., **Щелчков К. А.** Экологический мониторинг как основа наилучших природоохранных практик (БЕР) для экологических «горячих точек» Баренцева региона // Труды Всероссийской конференции «Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Экосистемы и климат Арктической зоны». – Москва, 2020. – С. 190–192.
11. **Щелчков К. А.**, Волосатова М. А., Гревцов О. В. Основные аспекты применения информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям // Экология производства. – 2019. – № 5. – С. 20–26.
12. Скобелев Д. О., Гусева Т. В., Чечеватова О. Ю., Санжаровский А. Ю., **Щелчков К. А.**, Бегак М. В. Сравнительный анализ процедур разработки, пересмотра и актуализации справочников по наилучшим доступным технологиям в Европейском союзе и Российской Федерации. – М. : Перо, 2018. – 114 с.