

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

---

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСИС»

**Шмелев Вячеслав Сергеевич**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫБОРА ПРИРОДООХРАННЫХ  
МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ МОРСКИХ УГОЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛОВ**

2.10.2. «Экологическая безопасность»

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
д.э.н., профессор  
Мясков Александр Викторович

Москва, 2026

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.**

### **Актуальность работы.**

Морские порты являются стратегическим элементом транспортной системы России, обеспечивая обработку более половины экспортных грузов страны. Ключевую роль в структуре грузопотоков играет уголь, экспорт которого является одним из важнейших драйверов роста топливно-энергетического комплекса страны.

Российская Федерация значительно укрепила свои позиции на мировом угольном рынке, увеличив долю с 6% в 2000 году до 14,5% в 2024 году. Рост добычи угля за последнее десятилетие на 31% (до 438 млн тонн) был обусловлен преимущественно наращиванием экспортных поставок, объем которых вырос на 89%. Реализация этого экспортного потенциала обеспечивается как за счет модернизации существующих портовых мощностей, так и за счет строительства новых специализированных терминалов.

Рост объемов перевалки угля прямо пропорционально влияет на снижение экологической безопасности в портовых городах. Исторически сложившееся размещение селитебных территорий в непосредственной близости от промышленных зон усугубляет негативное воздействие угольной пыли на здоровье населения и состояние окружающей среды.

Недостаточная эффективность применяемых природоохранных мер приводит к росту социальной напряженности, что подтверждается многочисленными жалобами граждан и привлекает внимание руководства страны. Проблема пыления усугубляется комплексом взаимосвязанных последствий:

- экологических – систематическое превышение нормативов качества атмосферного воздуха, что создает риски причинения вреда окружающей среде;
- социальных – доказанное негативное влияние мелкодисперсных взвешенных веществ на здоровье населения, включая риск развития заболеваний органов дыхания;

- экономических – репутационные риски и прямые финансовые потери предприятий, связанные как с возможной приостановкой деятельности, так и с затратами на ликвидацию последствий.

Задача по снижению антропогенной нагрузки, в том числе по сокращению вредных выбросов в два раза, поставлена на государственном уровне. Одновременно стратегические документы определяют необходимость дальнейшего увеличения мощностей морских портов. Это формирует запрос на новые подходы к обеспечению экологической безопасности в морских портах.

В мировой практике получила распространение концепция «нулевого выброса» (КНВ), основанная на поэтапном внедрении комплекса мероприятий для максимального сокращения объемов выбросов загрязняющих веществ. Адаптация и внедрение подходов КНВ в портовой отрасли может стать одним из ключевых инструментов для устойчивого развития. Однако на сегодняшний день отсутствуют единые критерии для ее применения в морских угольных портах, а также не проработан вопрос объективной оценки эффективности предлагаемых природоохранных мероприятий.

Таким образом, ввиду отсутствия системного подхода к управлению охраной окружающей среды при перевалке угля в морских портах, разработка научно обоснованной методики выбора природоохранных мероприятий на основе комплексных экологических, производственных и экономических критериев является актуальной научно-практической задачей.

**Степень разработанности темы** обусловлена анализом широкого круга информационных источников. В качестве базы исследования использовались научные публикации в печатной и электронной форме, материалы сети Интернет, а также действующая нормативно-правовая и техническая документация, регламентирующая вопросы экологической безопасности (государственные, отраслевые и корпоративные стандарты, федеральные нормы и правила).

Информационной базой исследования послужили официальные статистические данные морских портов, Государственного комитета по статистике РФ, ЮНКТАД (UNCTAD), ресурсы сети Интернет (официальные сайты морских

портов, информационно-аналитических транспортных агентств и международных организаций).

Вопросам антропогенного воздействия хозяйственной деятельности в морских портах, загрязнения воздушного бассейна пылью каменного угля, нормативно-правового регулирования деятельности угольных компаний в части охраны окружающей среды и процессам обработки грузов в морских портах посвящены научные труды ряда российских и зарубежных ученых, среди них: Полянцев Ю.Д., Катанский А.А., Артамонова М.Ю., Емельянова А.Г., Аксенова В.А., Луканин А.В., Назарова Е.П. Формирование организационной структуры управления охраной окружающей среды в морских портах было рассмотрено Тарасовой В.Е., Рюминой Е.В., Рюминым А.В.

Влияние пыления различных марок угля, меры по снижению и оценке антропогенного воздействия промышленных предприятий на окружающую среду, основные экологические проблемы добычи и обогащения угля, в том числе процессы осаждения угольной пыли, были рассмотрены такими учеными как Мясков А.В., Эпштейн С.А., Коссович Е.Л., Коликов К.С. и другие.

Вопросы обеспечения промышленной и экологической безопасности в промышленности рассмотрены Филином А.Э., Куликовой Е.Ю. и Овчинниковой Т.И., а в морских портах посвящены работы Бочкарева И.И., Быкова Д.В., Екимова О.В., Литвина Т.А.

Подходы, применяемые для разработки методики выбора природоохранных мероприятий, были рассмотрены в работах, посвященных концепции «нулевого выброса» Никишина А.Ю., Харитонова М.С., Никитакоса Н. Стратегии по внедрению «концепции нулевого выброса» в открытом доступе размещены только иностранными портовыми компаниями, занимающимися разгрузочно-погрузочными работами контейнерных грузов. Однако стратегии повышения экологической безопасности за счет снижения выбросов загрязняющих веществ в морских балкерных портах до минимальных значений не обобщены и практически не отражены в работах отечественных и зарубежных ученых.

**Цель диссертационного исследования** – разработка методики выбора природоохранных мероприятий для морских угольных терминалов на основе дифференцированного подхода к определению источников загрязнения, позволяющей на основе математического моделирования и матрицы сопряжения определить их взаимосвязи, для достижения максимального синергетического эффекта от реализуемых мероприятий, при оценке экологических, производственных и экономических критериев.

**Основная научная идея** заключается в обосновании системно-синергетического подхода к повышению экологической безопасности морских угольных терминалов. Данный подход основан на представлении терминала не как совокупности отдельных объектов, а как сложной системы, состоящей из неоднородных и взаимосвязанных источников загрязнения. Применение математического аппарата теории графов для анализа матрицы сопряжения «источник загрязнения – природоохранное мероприятие» позволяет впервые формализовать эти взаимосвязи и количественно оценить возникающий синергетический эффект от комплексного внедрения технологий по защите окружающей среды. Это, в свою очередь, составляет основу для разработки методики выбора наиболее эффективных природоохранных мероприятий, обеспечивающих максимальное снижение антропогенной нагрузки при одновременном повышении экономической эффективности и соблюдении производственных ограничений.

#### **Основные задачи исследования.**

1. Проанализировать существующую деятельность морских портов в мире и России, отечественные и зарубежные практики ведения погрузочно-разгрузочных работ в угольных терминалах на предмет особенностей обеспечения экологической безопасности.

2. Исследовать и обобщить существующие методики и технологии, применяемые для снижения негативного воздействия угольных терминалов на окружающую среду, включая наилучшие доступные технологии (НДТ).

3. На основе системного подхода определить и обосновать экологические, производственные и экономические критерии оценки эффективности природоохранных мероприятий, используемые для их оценки и выбора.

4. Разработать комплексную методику выбора природоохранных мероприятий на основе установленных критериев эффективности, применимую к различным морским угольным терминалам.

5. Осуществить опытно-промышленную апробацию предложенного подхода на базе действующего терминала и выполнить анализ достигнутых показателей эффективности в реальных условиях эксплуатации.

**Объектом исследования** является система управления экологической безопасностью в морских угольных терминалах.

**Предметом исследования** являются модели и алгоритмы выбора природоохранных мероприятий и технологических решений, направленных на сокращение антропогенной нагрузки на воздушный бассейн в районе осуществления хозяйственной деятельности морского угольного терминала.

**Теоретической и методологической базой диссертационного исследования** являются научные труды отечественных и зарубежных ученых в области изучения образования и распространения угольной пыли, практики внедрения пылеподавляющих технологий при осуществлении перевалки и хранения угля в морских портах и влияние деятельности угольных стивидоров на социально-экономическое состояние регионов присутствия порта.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.10.2. «Экологическая безопасность» (п.3 Научное обоснование, исследование, разработка прогнозно-аналитических систем, математических моделей и методик управления экологическим риском на антропогенных источниках негативного воздействия на окружающую среду; п.12 Разработка и совершенствование механизмов управления экологической безопасностью, в том числе

совершенствование системы нормирования негативного воздействия антропогенных источников на окружающую среду.

### **Основные научные положения, выносимые на защиту:**

1. Повышение уровня экологической безопасности угольного терминала необходимо осуществлять на основе определения неоднородных источников загрязнения, характеризующихся неравномерностью их воздействия на окружающую среду, что обуславливает необходимость применения комплексного подхода к определению природоохранных мероприятий для достижения максимального экологического эффекта.

2. Использование аппарата теории графов для построения матрицы сопряжения источников негативного воздействия и природоохранных мероприятий в экологических системах морских портов, целесообразно в условиях нечётких множеств, что позволяет спрогнозировать результативность природоохранных программ и выявить зависимость снижения объемов загрязняющих веществ от реализованных мероприятий.

3. Программу обеспечения экологической безопасности морского терминала необходимо осуществлять на основе предлагаемой методики выбора природоохранных мероприятий, учитывающей экологические, производственные и экономические критерии, и позволяющей учесть синергетический эффект от внедрения природоохранных технологий, проявляющийся в одновременном повышении экологической эффективности и экономической выгоды.

### **Научная новизна исследования:**

1. Впервые для обоснования выбора и применения природоохранных мероприятий в действующем специализированном угольном морском порту были предложены критерии, основанные на комплексном анализе текущего уровня экологической безопасности, а также климатических и географических характеристик местоположения порта.

2. Выявлена взаимосвязь между внедрением природоохранных мероприятий и снижением валового выброса загрязняющих веществ от источников загрязнения атмосферного воздуха при обработке грузов в морском порту.

3. Осуществлена систематизация и визуализация источников выбросов загрязняющих веществ для разных типов перевалки угля, учитывающая источники как от основной хозяйственной деятельности, так и от вспомогательных производств, что позволяет унифицировать подходы к оценке загрязнения атмосферного воздуха в различных угольных портах.

4. Предложена классификация природоохранных мероприятий, применяемых в морских портах, осуществляющих хозяйственную деятельность по перевалке угля, учитывающая все существующие на данный момент технологии по снижению пыления и наилучшие доступные технологии, что, в свою очередь дополняет существующие подобные классификации.

5. Обоснован инструментарий выбора природоохранных мероприятий, в котором применение методов анализа больших данных для обработки результатов позволяет выявлять взаимосвязи между внедренными мероприятиями и эффектом от снижения выбросов угольной пыли.

6. Разработана поэтапная методика определения и последующего выбора природоохранных мероприятий, учитывающая экологические, производственные и экономические характеристики и позволяющая принимать обоснованные решения по снижению объемов выбросов на основе системного подхода.

**И значимость результатов** состоит в разработке комплексного подхода к выбору природоохранных мероприятий при перевалке угля на основе оценки экологически рациональных, технически и экономически эффективных способов минимизации антропогенного воздействия хозяйственной деятельности морского порта на окружающую среду.

#### **Практическая значимость диссертации:**

1. Заключается в возможности принятия управленческих решений для перехода угольных стивидорных компаний на «Концепцию нулевого выброса», что особенно актуально в городах, где осуществляется перевалка угля в непосредственной близости к жилым и рекреационным зонам.

2. Определены ключевые экологические, производственные и экономические критерии выбора природоохранных мероприятий при перевалке угля в морских терминалах.

3. Разработана и применена методика выбора природоохранных мероприятий для действующего морского угольного порта – АО «Дальтрансуголь», что в свою очередь позволило выявить основные источники загрязнения атмосферы и определить эффективность предлагаемых мероприятий.

**Методы исследования и достоверность результатов**, рекомендации и технологии, представленные в работе, имеют теоретическое и практическое значение, и основаны на разработанных в работе методиках и критериях выбора природоохранных мероприятий.

Исследования по снижению образования пыли проводились качественным и количественным способом – при помощи расчетных методик и на основе датчиков контроля выбросов, расположенных на границах санитарно-защитной зоны.

Достоверность полученных результатов доказана применением общепринятых научных подходов к изучению антропогенного воздействия промышленных предприятий на окружающую среду, в частности определение взаимосвязей применения природоохранных мероприятий и снижения объемов выбросов; использованием действующей нормативной базы природоохранного и санитарно-эпидемиологического законодательства; современного математического аппарата обработки данных, в том числе с использованием программных комплексов (MS Excel «Анализ данных», SPSS); положительными результатами внедрения методики с использованием.

Для выполнения поставленных в работе задач применялись методы: научное обобщение, системный и факторный анализ, метод аналогий, метод баз знаний, метод косвенных измерений, метод экспертных оценок, теория принятия решений, теория графов и методы больших данных.

#### **Апробация работы**

Полученные результаты были представлены на следующих отечественных и зарубежных научных мероприятиях: на научных симпозиумах «Неделя горняка»

НИТУ МИСИС (г. Москва, 2019-2022 гг.), «Майнинг и охрана окружающей среды» (Сербия, 2017 г.) и «Угольный конгресс» (Москва, 2025 г.) на научных семинарах, проводимых под эгидой Ассоциации морских торговых портов (г. Санкт-Петербург, 2019-2023 гг.), отдельные положения докладывались на Совете директоров АО «Дальтрансуголь» (2022-2023 гг.)

### **Публикации**

По теме диссертационной работы опубликовано 9 печатных работ, в рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ. Опубликованные статьи входят в реферативные и библиографические базы данных РИНЦ и Scopus.

### **Структура и объем работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений, содержит 50 рисунков, 48 таблицы, библиографический список научной литературы из 134 наименования.

### **Основное содержание работы**

**В введении** обоснована актуальность диссертационной работы, обозначены цель, задачи, объект и предмет исследования, степень разработанности проблемы, отражены теоретические и методические основы исследования, научная новизна, практическая значимость, апробация результатов исследования.

**В первой главе** проведен аналитический обзор портовой отрасли и обоснована актуальность исследования. Установлено, что уголь является одним из ключевых экспортных грузов РФ (около 22% грузооборота портов), при этом более 75% экспортируемого угля транспортируется морским транспортом.

Несмотря на глобальные санкции и тренды декарбонизации, российский угольный экспорт демонстрирует устойчивый рост благодаря переориентации на азиатские рынки. Доходы от экспорта угля в 2024 году увеличились на 14,7% по сравнению с предыдущим годом, что подтверждает стратегическую важность отрасли.

Рост объемов перевалки обостряет проблему антропогенной нагрузки на припортовые территории. Актуальность этой проблемы подтверждается следующими факторами:

- непосредственная близость большинства российских угольных портов к жилой застройке, что осложняет соблюдение природоохранных норм;
- многочисленные жалобы населения портовых городов и выявленные нарушения санитарно-эпидемиологических нормативов;
- преобладание неорганизованных источников выбросов, подверженных воздействию климатических факторов.

Проведенный анализ технологий перевалки угля выявил принципиальные различия между универсальной и специализированной схемами. Установлено, что основные различия проявляются на этапах разгрузки вагонов и обработки угля, тогда как технологии хранения практически идентичны.

Ключевым результатом исследования стала систематизация источников негативного воздействия в зависимости от типа терминала и этапа обработки угля (рисунок №1).

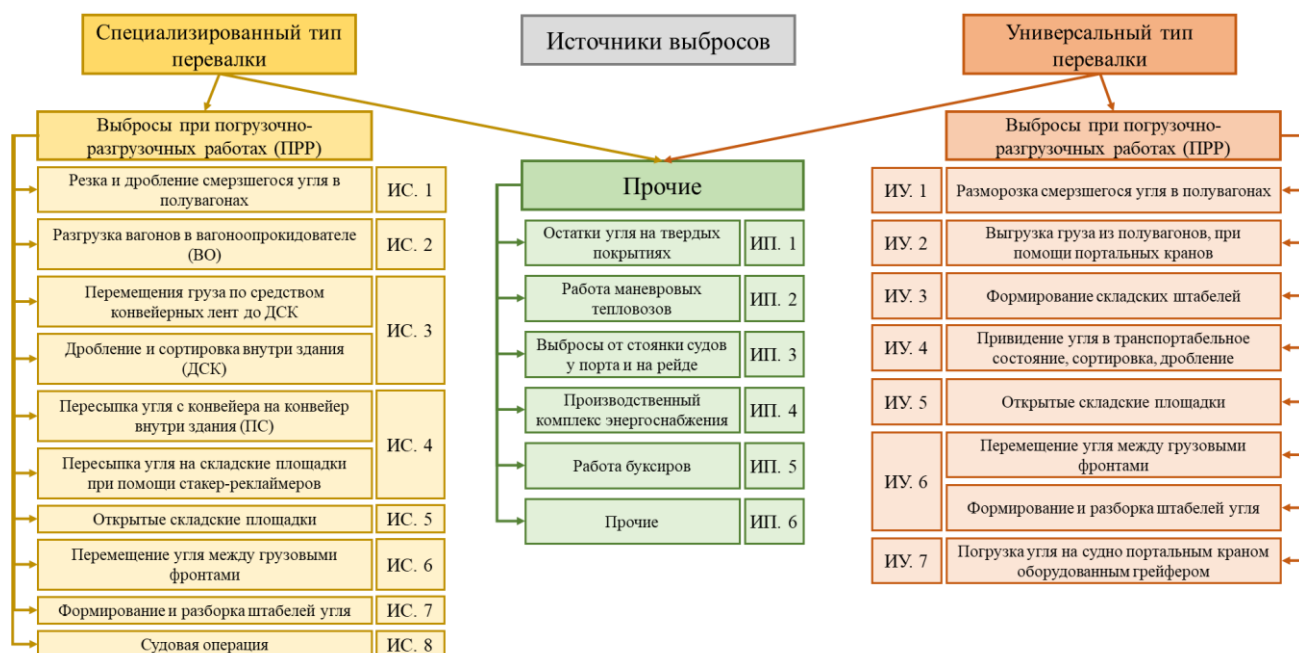


Рисунок №1 – Систематизация источников негативного воздействия обработки угля в морских терминалах.

Установлено, что специализированные терминалы, несмотря на большее количество отдельных источников выбросов, характеризуются значительно

меньшим удельным объемом выбросов за счет изоляции большинства технологических процессов от внешней среды. Это создает основу для разработки эффективных природоохранных мероприятий.

Во второй главе рассмотрены основные мероприятия сокращения антропогенного воздействия в морских угольных портах. Проведен сравнительный анализ мировых и российских практик внедрения наилучших доступных технологий для управления экологической безопасностью.

По итогам проведенного анализа разработана классификация природоохранных мероприятий, учитывающая существующие наилучшие доступные технологии, применяемые в России и мире, перспективные технологии и прочие мероприятия (таблица 1).

Таблица 1. Систематизация природоохранных мероприятий, применяемых в угольных портах

Группа	Наименование мероприятия	Разновидности
Создание барьеров (ПМ-Б)	ПМ-Б-1 Высадка деревьев	ПМ-Б-1.1 Непродуваемая
		ПМ-Б-1.2 Продуваемая
		ПМ-Б-1.3 Ажурная
	ПМ-Б-2 Локальные ветрозащитные конструкции	ПМ-Б-2.1 Защитные кожухи
		ПМ-Б-2.2 Подпорные стенки, укрытия
		ПМ-Б-2.3 Применение мобильных укрытий трюмов
		ПМ-Б-2.4 Устройства для предотвращения выбросов от конвейерных лент
	ПМ-Б-3 Пылеветрозащитные экраны (ПВЭ)	ПМ-Б-3.1 Стальной ПВЭ
		ПМ-Б-3.2 ПВЭ из полиэстера
		ПМ-Б-3.3 ПВЭ из высокопрочного материала
		ПМ-Б-3.4 ПВЭ парусного типа из ткани
		ПМ-Б-3.5 ПВЭ из нетканых материалов
Пылеподавляющие технологии (ПМ-П)	ПМ-П-1 Для предотвращения пыления	ПМ-П-1.1 Распыление воды пушками
		ПМ-П-1.2 Применение поверхностно-активных веществ (ПАВ)
	ПМ-П-2 Для осаждения пыли	ПМ-П-2.1 Установки водяного тумана
		ПМ-П-2.2 Установки сухого тумана
		ПМ-П-2.3 Пушки пылеподавления
		ПМ-П-2.4 Аспирация
		ПМ-П-2.5 Система пылеподавления пеной
		ПМ-П-2.6 Система пылеподавления водой
Технологические мероприятия (ПМ-Т)	ПМ-Т-1 "Закрытое" хранение угля	ПМ-Т-1.1 Закрытые склады для хранения угля
		ПМ-Т-1.2 Контейнерное хранение и перевозка угля
	ПМ-Т-2 Брикетирование угля	ПМ-Т-2.1 Без применением связующих
		ПМ-Т-2.2 С применением связующих
	ПМ-Т-3 Системы вакуумной очистки	ПМ-Т-3.1 Стационарные
		ПМ-Т-3.2 Передвижные
	ПМ-Т-4 Увеличение производительности оборудования	ПМ-Т-4.1 Применение грейферов повышенного объема
		ПМ-Т-4.2 Увеличение доли инновационных вагонов повышенной вместимости
	ПМ-Т-5 Фильтрация выбросов загрязняющих веществ	ПМ-Т-5.1 Установка фильтров для стационарных источников
	Мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности (ПМ-Э)	ПМ-Э-1 Электрификация транспорта
ПМ-Э-1.2 Электрификация тепловозов		
ПМ-Э-2 Береговое электроснабжение судов		
ПМ-Э-3 Альтернативные источники энергии		ПМ-Э-3.1 СЭС
		ПМ-Э-3.2 ВЭС
	ПМ-Э-3.3 Другие	
Организационно-технические мероприятия (ПМ-О)	ПМ-О-1 Внесение организационных изменений в технологический процесс	ПМ-О-1.1 Сокращение количества пылящих марок угля
		ПМ-О-1.2 Уменьшение площади складов
		ПМ-О-1.3 Уменьшение высоты опускания грейфера
	ПМ-О-2 Применение искусственного интеллекта (ИИ)	ПМ-О-2.1 ИИ для эффективной обработки грузов
		ПМ-О-2.2 ИИ для контроля и прогноза НМУ
		ПМ-О-2.3 ИИ для ООС
	ПМ-О-3 Повышение уровня экологического контроля хозяйственной деятельности	ПМ-О-3.1 Производственный экологический контроль
ПМ-О-3.2 Внешний аудит / консалтинг		

Все мероприятия разделены на 5 групп: создание барьеров, пылеподавляющие технологии, организационно-технические мероприятия, мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности и технологические мероприятия.

Определение взаимосвязей между внедряемыми природоохранными мероприятиями и снижением валового объема выбросов загрязняющих веществ основано на методе анализа «больших данных» (Big Data), в частности, алгоритме MapReduce. Суть данного метода заключается в разделении информационного массива на части, параллельном анализе каждой части и финальном объединении всех результатов для получения интегрированного заключения. Данный метод позволяет обрабатывать большие объемы разнородных данных и выявлять скрытые закономерности, которые не могут быть обнаружены при традиционном анализе.

За информационный массив взяты результаты реализации программ экологизации угольных портов России и, в частности, влияние внедренных природоохранных мероприятий на снижение валового выброса загрязняющих веществ. Весь процесс определения взаимосвязей состоял из нескольких последовательных этапов:

1. **Сбор данных** о фактических снижениях валовых выбросов на морских угольных терминалах при применении того или иного природоохранного мероприятия в временном промежутке с 2018 по 2024 годы.

2. **Составление матрицы сопряжения** источников загрязнения и природоохранных мероприятий для каждого источника.

3. **Этап маппинга** (отображения). Каждому источнику выбросов и внедренному природоохранному мероприятию присвоены соответствующие условные обозначения. Это необходимо для того, чтобы привести все данные, которые поступают на этапе маппинга, в виде пар "ключ-значение". Это означает, что каждая запись данных имеет уникальный ключ, который идентифицирует данную запись, и значение, соответствующее этому ключу. В рамках обработки

данных ключами являются источники выбросов, а значениями — объем снижения выбросов при внедрении того или иного мероприятия.

Такие схемы составляются для каждого угольного терминала, выбранного для анализа. Условием для включения терминала в анализ является наличие достоверных данных о выбросах загрязняющих веществ за период не менее трех лет и документально подтвержденные факты внедрения природоохранных мероприятий.

4. **Этап редьюсинга (агрегации данных).** На этапе редьюсинга множество данных сжимается в одно итоговое, обобщенное значение. Этот метод был применен для анализа и визуализации взаимосвязей между внедренными природоохранными мероприятиями и снижением валовых выбросов в портах. Полученные в результате агрегации зависимости между мероприятиями и источниками выбросов представлены на рисунке 2.

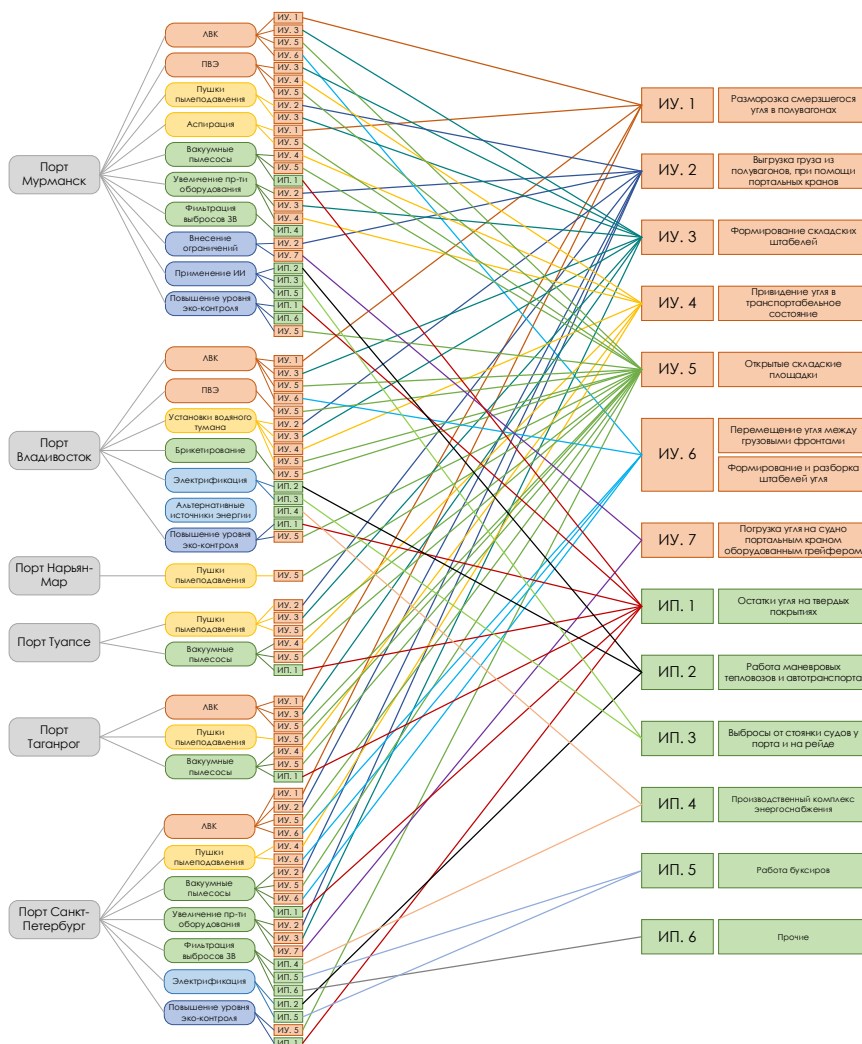


Рисунок 2 – Визуализация метода MapReduce для морских угольных портов

Каждая линия на схеме соответствует положительному эффекту на снижение объема загрязняющих веществ от источников выбросов. Необходимо отметить, что красным были выделены мероприятия, которые входят в справочники наилучших доступных технологий, но на данный момент не имеют доказанного положительного эффекта на снижение объема выделения загрязняющих веществ. Природоохранные мероприятия (ПМ), положительный эффект от внедрения, которых зафиксирован на двух и более морских портах, используя метод корреляции, попадают в итоговую схему соответствия ПМ определенному источнику выбросов в специализированном угольном порту (рисунок 3).

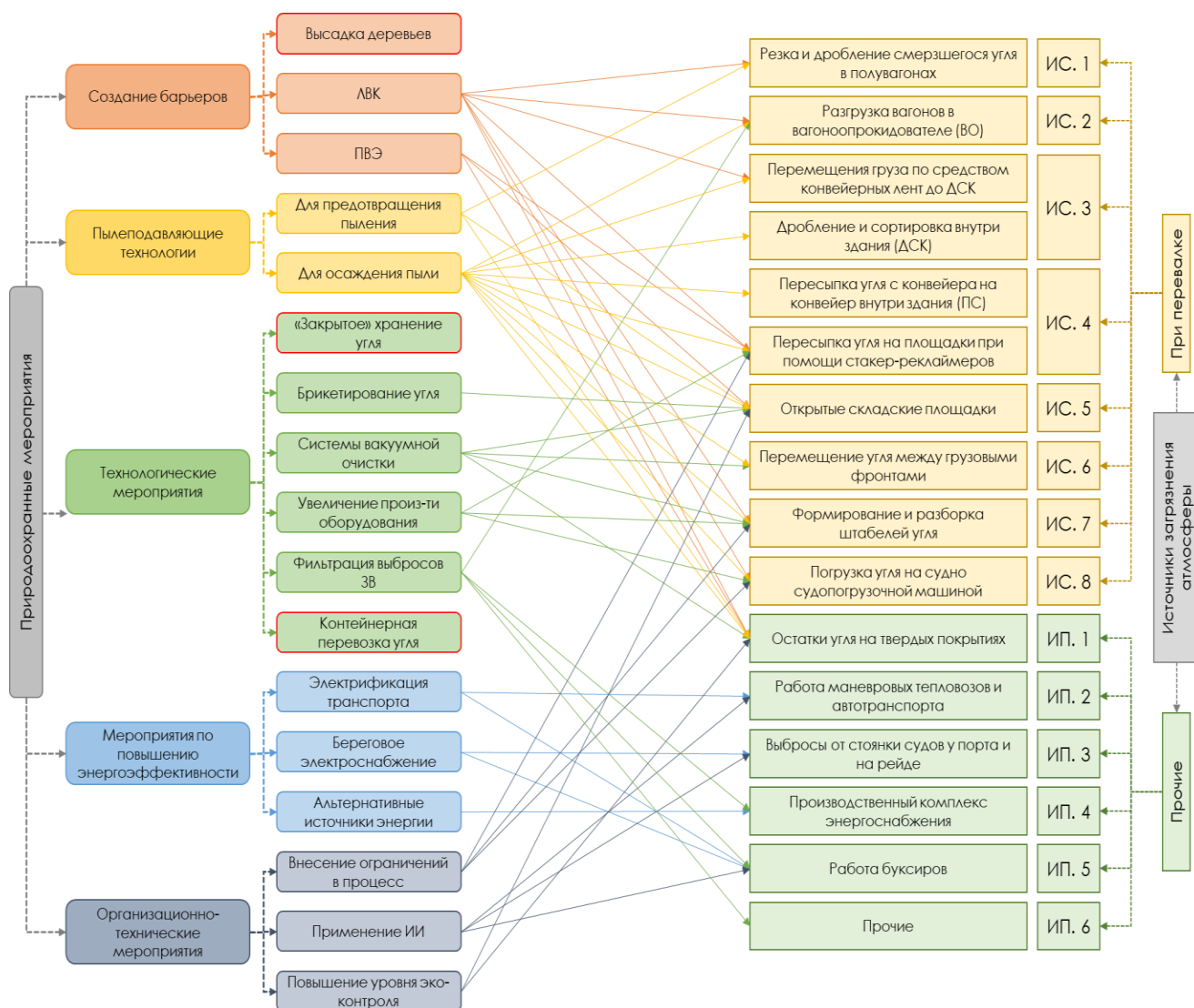


Рисунок 3 – Схема соответствия ПМ определенному источнику выбросов в специализированном угольном порту

Построение подобных схем является ключевым инструментом в предлагаемой методике выбора природоохранных мероприятий в морских угольных портах, что:

- определить взаимосвязи между группами природоохранных мероприятий и источниками выбросов загрязняющих веществ,
- предложить способ выявления подходящей природоохранной технологии для того или иного источника выбросов,
- выявить наиболее эффективные мероприятия с точки зрения положительного эффекта за счет сокращения объема загрязняющих веществ.

Анализ существующих способов оценки эффективности природоохранных мероприятий показал их ограниченность. В настоящее время применяются лишь два основных подхода: инструментальные замеры (осуществляемые после реализации мероприятий) и математическое моделирование. Оба метода характеризуются высокой трудоемкостью, требуют привлечения специализированных проектных организаций и влекут значительные дополнительные затраты.

В результате компании при выборе природоохранных мероприятий руководствуются преимущественно собственными финансовыми возможностями и рекомендациями справочника НДТ ИТС-46-2019, что зачастую приводит к выбору спорных решений и неэффективному расходованию средств.

**В третьей главе** выполнен анализ качественных и количественных показателей эффективности природоохранных мероприятий. На основе двухэтапной экспертной оценки (привлечены 30 экспертов из числа технических и экологических служб крупнейших стивидорных компаний России, проектировщиков и экспертов со стороны органов надзора) и математической обработки результатов анкетирования экспертов определены ключевые критерии эффективности природоохранных мероприятий. Полученные критерии представлены в таблице 3. Критерии ранжированы по частоте упоминания, и в соответствии с этим каждому критерию определена соответствующая балльная оценка.

Таблица 3. Критерии оценки производственной, экономической и экологической эффективности природоохранных мероприятий при перевалке угля в морских портах.

	<b>Э<sub>п</sub> - Производственная эффективность</b>	<b>Э<sub>э</sub> - Экологическая эффективность</b>	<b>Э<sub>экон</sub> - Экономическая эффективность</b>	
<b>Как рассчитать?</b>	Подсчитывается сумма баллов согласно критериям оценки $Э_p = \sum \text{баллов}$	Подсчитывается сумма баллов согласно критериям оценки $Э_э = \sum \text{баллов}$	Расчетная формула: $Э_{экон} = \frac{\sum (П_y + И + П_в - З_о)}{З_к}$	
<b>Какие критерии?</b>	1.1. Наличие технической возможности внедрения 1.2. Необходимость в установке специализированного оборудования 1.3. Влияние на скорость обработки грузов 1.4. Применимость как для перевалки угля, так и для отрасли в целом 1.5. Доказанная практическая полезность 1.6. Отсутствие рисков в части промышленной безопасности 1.7. "Риск отрицательного влияния на качество конечного продукта" 1.8. Обязательность согласования внедрения с государственными органами 1.9. Наличие специалистов, способных реализовать данный проект 1.10. Потребность в расширении штата сотрудников 1.11. Доступность расходных материалов, применяемых в данной технологии 1.12. Есть ли необходимость приостанавливать работу порта для внедрения мероприятия 1.13. Сроки проектирования мероприятия 1.14. Сроки реализации (включая закупку, поставку, СМР, пуско-наладку)	2.1. Соответствие выбранной технологии утвержденным справочникам наилучших доступных технологий 2.2. Необходимость получения заключения экологической экспертизы при внедрении на предприятии 2.3. Наличие риска для состояния окружающей среды при несоблюдении правил работы с данной технологией 2.4. Снижение воздействия на атмосферу 2.5. Снижение воздействия на водную среду 2.6. Энергоэффективность мероприятия (в том числе использование экологически безопасных источников энергии и повторное использование энергии) 2.7. Размер частиц пыли улавливаемых данным мероприятием 2.8. Отсутствие возникновения отходов 1-2 классов опасности по причине использования данного мероприятия 2.9. Определение расчетной экологической эффективности	3.1. Объем предотвращенного ущерба 3.2. Способствует ли внедрение данной технологии способствует сокращению издержек в части ООС (штрафы, плата за негативное воздействие и пр.) 3.3. Есть ли возможность для получения прибыли от внедрения природоохранной технологии 3.4. Срок окупаемости мероприятия 3.5. Экономическая эффективность ПМ	
<b>Метод оценки</b>	Экспертная оценка	Экспертная оценка и расчетный способ	Расчетный способ	
<b>Как оценить?</b>	Количество баллов	Количество баллов	Срок окупаемости	Кол-во баллов
	100 – 85	100 – 85	До 2-х лет	100
	84 – 70	84 – 70	От 2-х до 5 лет	80
	69 – 50	69 – 50	От 5 до 10 лет	60
	49 – 21	49 – 21	Более 10 лет	40
Менее 20	Менее 20	Более 20 лет	20	

Для выбора наиболее подходящего природоохранного мероприятия предлагается модель, определяющая максимизацию среднего значения суммы производственной, экономической и экологической эффективности:

$$\mathcal{E}_{\text{ПМ}i} = \left( \frac{\mathcal{E}_{\text{П}i} + \mathcal{E}_{\text{ЭК}i} + \mathcal{E}_{\text{Э}i}}{3} \right) \rightarrow \max ,$$

где,  $\mathcal{E}_{\text{ПМ}}$  – эффективность природоохранного  $i$  мероприятия;

$\mathcal{E}_{\text{П}}$  – производственная эффективность природоохранного  $i$  мероприятия;

$\mathcal{E}_{\text{ЭК}}$  – экономическая эффективность природоохранного  $i$  мероприятия;

$\mathcal{E}_{\text{Э}}$  – экологическая эффективность природоохранного  $i$  мероприятия;

$i$  – вид природоохранного мероприятия.

Среднее значение между тремя видами эффективности позволяет нивелировать высокую оценку по одному направлению и низкую по-другому. Предлагаемый инструментарий выбора природоохранных мероприятий достаточно объективно может выявить ценность мероприятия без привлечения сторонних экспертов и без дополнительных затрат.

В диссертации предложена обобщенная методика выбора природоохранных мероприятий, состоящая из трех этапов: подготовительный этап, этап анализа и оценки ПМ, этап эксплуатации.

Основным является этапа анализа и оценки ПМ. Процесс расчета эффективности природоохранного мероприятия выглядит следующим образом:

1) Для начала необходимо определить существует ли техническая возможность внедрения данного природоохранного мероприятия. Только при наличии условий для применения рассматриваемого мероприятия проводится дальнейший расчет производственной эффективности ( $\mathcal{E}_{\text{П}}$ ). В обратном случае мероприятие исключается из списка рассматриваемых ПМ. Экспертная группа, состоящая из специалистов порта и квалифицированных представителей заинтересованных сторон, оценивают предлагаемое мероприятие, в соответствии с таблицей 3. После этого определяется среднее арифметическое экспертной оценки и полученный результат принимается как значение производственной эффективности.

2) После определения производственной эффективности устанавливается значение экономической эффективности. Показателем экономической эффективности природоохранного мероприятия является отношение выгод от внедрения мероприятия, за вычетом операционных затрат, к капитальным затратам (таблица 3). Одним из ключевых критериев оценки ПМ является  $P_y$  – величина предотвращенного ущерба окружающей среде, ведь главная цель внедрения любого мероприятия — это минимизация антропогенного воздействия. Также в расчете экономической эффективности учитываются сокращенные издержки (И), прирост годовой прибыли порта при внедрении данной технологии ( $P_B$ ), годовые операционные ( $Z_o$ ) и капитальные затраты ( $Z_k$ ) на внедрение природоохранного мероприятия

3) После того как установлены производственная и экономическая эффективность, необходимо определить экологическую эффективность ( $\mathcal{E}_o$ ). Величина  $\mathcal{E}_o$  может быть выявлена двумя способами: экспертная оценка и определение расчетной эффективности природоохранного мероприятия, которую, в свою очередь, можно рассчитать на основе утвержденных Минприроды методик расчета объема загрязняющих веществ.

Далее оценивается потенциальный синергетический эффект от внедрения выбранного природоохранного мероприятия. Процесс оценки синергетического эффекта внедрения природоохранных мероприятий в морских угольных портах включает несколько ключевых этапов, направленных на выявление дополнительной экономической выгоды от универсальности применения мероприятий.

Используя группы источников выбросов, для которых существует возможность применения единых природоохранных решений и на основе максимизации экономической эффективности внедрения природоохранных мероприятий для каждого отдельно взятого источника выбросов, учитывая техническую возможность применения одного природоохранного мероприятия для нескольких источников выбросов, одновременно рассчитывается синергетический эффект. Синергетический эффект рассчитывается как разность между суммарными

затратами на внедрение индивидуальных решений для каждого источника и затратами на единое комплексное решение. Экономия достигается за счет снижения капитальных затрат на оборудование, сокращения эксплуатационных расходов, оптимизации персонала и унификации обслуживания (рисунок 4)

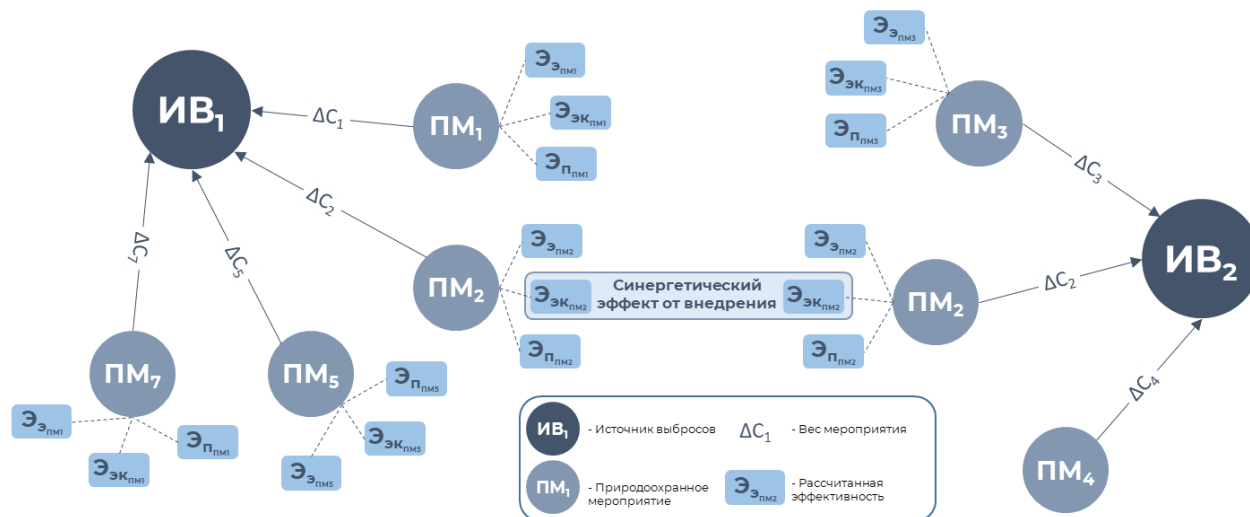


Рисунок 4 – Схема возникновения (получения) синергетического эффекта от внедрения ПМ

Важно отметить, что синергетический эффект может достигаться как за счет внедрения новых природоохранных мероприятий, так и за счет уже применяемых природоохранных мероприятий, благодаря системному подходу к вопросу снижения объема выбросов.

**В четвертой главе** на основе разработанного инструментария выбора природоохранных мероприятий рассматриваются пути снижения валового объема выбросов загрязняющих веществ на примере АО «Дальтрансуголь». АО «Дальтрансуголь» (далее ДТУ) – морской угольный терминал, предназначенный для перегрузки угля с железнодорожного транспорта на морские суда. Мощность ДТУ по состоянию на конец 2022 год составляет 24 млн. тонн угля в год.

ДТУ по общему годовому грузообороту угля занимает 3 место в России и является одним из немногих морских специализированных комплексов по перевалке угля. В настоящее время реализуется проект по увеличению мощности терминала до 40 млн. тонн.

По результатам инвентаризации на АО «Дальтрансуголь» выявлено 79 источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу: 32 – организованных, 47 – неорганизованных.

Валовый выброс загрязняющих веществ АО «Дальтрансуголь» составляет 903,4 т/год, в том числе: твердые – 123,5 т/год, жидкие и газообразные – 779,9 т/год.

Используя разработанную поэтапную методику выбора природоохранных мероприятий, определены основные источники загрязнения атмосферы. Подробнее они представлены в основном содержании работы. Наибольший вклад в валовый выброс загрязняющих веществ от хозяйственной деятельности АО «ДТУ» зафиксирован от складов хранения угля.

Далее, используя матрицу выбора ПМ, определены мероприятия, направленные на снижение выделения загрязняющих веществ. Сразу же были исключены ПМ, внедренные на текущий момент в ДТУ.

Таким образом, для дальнейшего рассмотрения были отобраны ключевых природоохранные мероприятия:

- вакуумная уборка территории;
- пылеветрозащитные экраны;
- системы пылеподавления;
- брикетирование угля;
- контейнерное хранение и перевалка угля.

Совместно со специалистами технической и экологической службы ДТУ мероприятия были оценены согласно предлагаемой методике. По итогам был сформирован рейтинг мероприятий (таблица 4):

Таблица 4 – Рейтинг природоохранных мероприятий по снижению выброса загрязняющих веществ для условий ДТУ

№	Наименование мероприятия	Оценка
1	Вакуумная уборка территории	86,0
2	Пылеветрозащитные экраны	84,7
3	Системы пылеподавления	82,7
4	Брикетирование угля	51,0
5	Контейнерное хранение и перевалка угля	46,7

Наиболее эффективные из определенных мероприятий:

1. **Вакуумная уборка территории.** Для снижения пылевой нагрузки на атмосферный воздух, возникающей при перевалке и открытом хранении грузов, предлагается внедрение мобильной вакуумной установки. Данное оборудование обеспечивает комплексную очистку производственных площадей от просыпей, позволяет осуществлять сбор сыпучих материалов для их возврата в технологический процесс, а также производить уборку территории. Прогнозируемое сокращение объемов пылевыведения в результате применения установки составляет до 15%.

2. **Строительство пыле-ветрозащитного ограждения** по периметру территории порта. Мероприятие было предложено с учетом балльной оценки, но также произведен расчет по методикам определения объема выбросов загрязняющих веществ, утвержденных Минприроды РФ. Так как эффективность пыле-ветрозащитных экранов (ПВЭ) меняется в зависимости от скорости ветра, то расчет производился для скорости 14 м/с (средняя по году) и 34 м/с (максимальная). Необходимо также отметить, что расчет произведен для нескольких источников выбросов, расположенных на складах хранения угля в АО ДТУ (рисунок 5).



Рисунок 5 – Прогноз снижения объема выбросов при установке ПВЭ

На источниках хранения угля при скорости в 14 м/с данное мероприятие позволит снизить годовой валовый выброс на 80%, при этом общий валовый выброс порта снизится на 20%.

**3. Установка систем пылеподавления УДС на стакер-реклаймерах.** В связи с ежегодным увеличением количества выгружаемых полувагонов растет доля полувагонов с пыльными марками угля, не обогащёнными углями с добычных разрезов компании и сторонних отправителей. В целях минимизации пыления в момент работы стакер-реклаймеров предложено мероприятие по установке системы пылеподавления в наиболее проблемных по пылению зонах.

Доля пыльных углей продолжает составлять значимую часть от общего количества перегружаемого угля. С ноября 2022 г. по апрель 2023 г. в АО «Дальтрансуголь» выгружено 62,9 тыс. полувагонов с пылящим углем, что составляет 47% от общего числа полувагонов за данный период времени. За аналогичный период в 2019-2020 гг. АО «Дальтрансуголь» выгрузили 38,3 тыс. полувагонов с пылящим углем, что составило 37% от общего числа полувагонов за зимний период времени.

В основном содержании работы помимо бальной оценки данного мероприятия, проанализированы подходящие места для расположения систем пылеподавления на стакер-реклаймерах. Используя утвержденные методики расчёта выбросов угольной пыли, данное мероприятие ориентировочно позволит снизить объем выбросов на 30 тонн/год.

АО «Дальтрансуголь» учитывая разработанный инструментарий выбора природоохранных мероприятий, на основе синергетического эффекта, приняло решение о строительстве пылеветрозащитного экрана и установке системы пылеподавления на стакер-реклаймерах. В настоящее время ведется строительство несущих конструкций для установки пылеветрозащитного экрана. Также необходимо отметить, что в порту прорабатывается возможность внедрения берегового электроснабжения судов.

Для подтверждения эффективности внедренных мероприятий, специалистами АО «Дальтрансуголь» в рамках производственного экологического

контроля проводятся замеры качества воздуха как на производственной площадке, так и на границах санитарно-защитной зоны. Как показали последние замеры, после установки системы пылеподавления на стакер-реклаймере объемы выбросов от хранения угля на складе №3 сократились на 35%. В связи с положительным опытом на складе №3, прорабатывается вопрос о внедрении подобных систем пылеподавления на оставшихся стакер-реклаймерах в течении 2024-2026 гг.

Поэтапное внедрение трех выбранных мероприятий позволит снизить общий объем валового выброса загрязняющих веществ на 30% от текущего положения.

### **Заключение**

В диссертационной работе дано решение актуальной научно–технической задачи совершенствования методов выбора природоохранных мероприятий для морских портов, занимающихся обработкой и погрузкой угля, для повышения экологической безопасности.

Основные результаты исследования, научные и практические выводы и рекомендации, полученные лично автором, состоят в следующем:

- Проанализирована деятельность морских портов России, отечественные и зарубежные практики ведения погрузочно-разгрузочных работ в угольных терминалах;
- Определено экономическое значение морских перевозок и роль портов в экспорте насыпных грузов Российской Федерации;
- Проведен сравнительный анализ отечественных и зарубежных практик ведения погрузочно-разгрузочных работ в угольных терминалах;
- Выполнен анализ источников антропогенного воздействия на окружающую среду, систематизированы и выявлены основные закономерности в причинах их возникновения;
- Разработана методика выбора природоохранных мероприятий с учетом преобладания того или иного источника выбросов загрязняющих веществ;

– Разработана методика выбора природоохранных мероприятий с учетом экологических, экономических и производственных характеристик угольного терминала, направленная на совершенствование механизмов управления экологической безопасностью в морских портах;

– Осуществлена апробация полученных результатов в условиях действующего морского угольного терминала АО «Дальтрансуголь»; дан прогноз снижения объема выбросов загрязняющих веществ и предложены природоохранные мероприятия с наибольшей эффективностью для охраны окружающей среды;

– Результаты работы могут быть использованы для объективной оценки эффективности предлагаемых природоохранных мероприятий при перевалке угля в морских портах для обеспечения экологической безопасности.

#### **Научные работы, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК**

1. Шмелев, В.С. Проблемы обеспечения экологической безопасности в морских угольных портах / В. С. Шмелев // Строитель Донбасса. – 2024 – №3 - С. 64-71.

2. Шмелев В.С., Мясков А.В., Мясков А.А., Севостьянова Е.В., Сухорукова М.А., Внедрение автоматизированных систем мониторинга окружающей среды для обеспечения экологической безопасности в морских угольных портах // Строитель Донбасса. – 2024 – №3 – С. 71-78.

3. Шмелев, В. С. Применение цифровых технологий для минимизации антропогенного воздействия в морских портах / В. С. Шмелев, А. В. Мясков, Е. В. Севостьянова // Автоматизация в промышленности. – 2023. – № 10. – С. 58-62. – DOI 10.25728/avtprom.2023.10.12. – EDN KDJXKA.

4. Шмелев, В. С. Экологический мониторинг как основа системы экологического менеджмента / В. С. Шмелев // Контроль качества продукции. – 2023. – № 12. – С. 63-64. – EDN WYTXDW.

5. Мясков А.В., Севостьянова Е.В., Шмелев В.С. «Наилучшие доступные технологии как эффективное решение для угольных стивидорных компаний» // Горный журнал-2021-№2- С. 69-76.

6. Мясков А.В., Зайцев В.С., Шмелев В.С. Использование особо охраняемых природных территорий для мониторинга негативного воздействия промышленных предприятий на естественные экосистемы // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019 - №5 (специальный выпуск 10) – С. 3-19

7. Мясков А. В., Петров И. В., Зайцев В. С., Шмелев В. С. Системные особенности экологического мониторинга при формировании территориальных проектов Северного морского пути // Мониторинг. Наука и технологии - 2018 - № 5(38). С. 7–14.

8. Myaskov A.V., Gonchar A.A., Shmelev V.S. Systematization of damages natural ecosystems applied in mining companies // 2016 International Conferences on Earth Sciences and Sustainable Geo-Resources Development (ESASGD 2016) // ISBN 978-604-76-1171-3

9. Myaskov A.V., Gonchar A.A., Shmelev V.S. Activities to Conserve Biodiversity and Maintain Natural Ecosystems and the Criterial Basis for their Assessment // 6th International Symposium MINING AND ENVIRONMENTAL PROTECTION // ISBN 978-86-7352-298-2