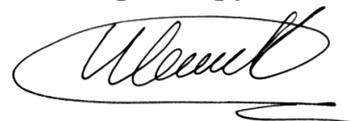


На правах рукописи



ИВАНЮК СЕРГЕЙ ВИКТОРОВИЧ

**РАЗРАБОТКА И ОЦЕНКА ГЕОЭКОЗАЩИТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ
РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ
СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

Специальность:

25.00.36 – Геоэкология (в строительстве и ЖКХ)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Петербургский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВПО ПГУПС)
на кафедре «Техносферная и экологическая безопасность»

- Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор
Титова Тамила Семеновна
- Официальные оппоненты:** Решняк Валерий Иванович, доктор
технических наук, профессор кафедры
"Химия и экология" Санкт-Петербургского государственного
университета водных коммуникаций
- Бухарина Дарья Николаевна, кандидат
технических наук, государственный
инспектор Северо-Западного
управления Ростехнадзора
- Ведущая организация:** Закрытое акционерное общество по
научным исследованиям и разработке в
области естественных и технических
наук "Экологический институт" (ЗАО
"Экологический институт")

Защита состоится 28 мая 2012 г. в 16 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.229.30 при ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9, ауд. 3-237.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Автореферат диссертации доступен на официальном сайте СПбГПУ (<http://www.spbstu.ru/>) и Министерства образования и науки РФ.

Автореферат разослан 27 апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Уманец В.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Ежегодно в Российской Федерации образуется более 520 тыс. тонн отработанных технических масел на минеральной основе. Из этого типа отходов на территории РФ утилизируют менее половины, и только 14 % из них идёт на регенерацию. Основную часть отработанных смазочных масел (ОСМ) подвергают утилизации путем сжигания. Прямое сжигание ОСМ в неспециализированных печах без предварительной очистки приводит к выбросу в атмосферу стойких токсичных органических и неорганических загрязняющих веществ, в дальнейшем оказывающих негативное воздействие на геоэкологическую обстановку.

В процессе эксплуатации строительной техники в результате термической деструкции и окисления в смазочных маслах происходит накопление загрязняющих веществ, попадание которых в почву, гидросферу и атмосферу представляет собой большую опасность для окружающей среды и здоровья человека.

Проблемы обезвреживания и утилизации ОСМ нашли отражение в трудах известных зарубежных (Прасад К., Кламанн Д., Леффлер У. и др.) и отечественных (Брай И.В., Фукс И.Г., Евдокимов А.Ю., Хафизов А.Р., Ишмаков Р.М., Коваленко В.П., Турчанинов В.Е., Школьников В.М., Юзефович В.И. и др.) ученых и специалистов.

Существует множество методов вторичной переработки ОСМ, позволяющих сократить расходы на обслуживание строительной и дорожной техники за счет снижения затрат на приобретение свежих смазочных материалов. Наиболее важное место отводят методам регенерации, обеспечивающим восстановление первоначальных свойств масел с целью их повторного использования по назначению. Такой подход наиболее рационален с точки зрения воздействия на окружающую среду.

Несмотря на высокую экологическую опасность ОСМ до настоящего времени не достаточно разработаны технологические решения, позволяющие экологически эффективно регенерировать их. В этой связи является актуальным вопрос разработки и внедрения перспективного метода регенерации ОСМ, а также методики оценки экологичности (уровня экологической безопасности) существующих и создаваемых технологий регенерации.

Цель диссертационной работы: повышение экологической безопасности при обращении с минеральными ОСМ строительной техники за счет внедрения геоэкозащитных мероприятий, направленных на их регенерацию.

Идея работы: снижение техногенной нагрузки на компоненты окружающей среды следует производить путем применения технологии регенерации минеральных ОСМ на основе процессов коагуляции,

сепарации, адсорбции и фильтрации и устройства для ее осуществления с учетом оценки влияния технологий их регенерации на окружающую среду.

Основные задачи исследования:

1. Оценка экологической опасности воздействия ОСМ строительной техники на окружающую среду.
2. Анализ экологичности известных технологий регенерации ОСМ.
3. Разработка и обоснование геоэкозащитной технологии регенерации ОСМ и устройства для ее осуществления.
4. Разработка методики оценки влияния технологий регенерации ОСМ на окружающую среду.
5. Оценка влияния на окружающую среду разработанной технологии регенерации ОСМ и сравнение с существующими технологиями по разработанной методике.

Методы исследования. Для решения поставленных в диссертации задач использованы следующие методы:

1. Системный анализ промышленных методов утилизации и регенерации ОСМ.
2. Методы экспертной оценки.
3. Методы математической статистики.
4. Экспериментальные исследования физико-химических показателей ОСМ в лабораторных условиях.
5. Опытно-промышленные испытания технологии и установки регенерации ОСМ.

Научная новизна работы:

1. Установлены закономерности преобразования ОСМ строительной техники при их регенерации на основе методов коагуляции и адсорбции в зависимости от видов реагентов, их концентраций и времени контактирования.
2. Предложен системный подход к оценке влияния технологий регенерации ОСМ на окружающую среду, основанный на создании структурно-аналитической модели и алгоритма формирования введенных показателей: степени экологичности *SE* и степени воздействия *SV*.
3. Выявлена зависимость оценки экологической эффективности технологий регенерации ОСМ от количества, опасности образуемых отходов и используемых реагентов при регенерации.

Положения, выносимые на защиту:

1. Оценку экологической опасности отработанных смазочных масел на минеральной основе необходимо производить исходя из высокой опасности полициклических ароматических углеводородов, соединений тяжелых металлов и продуктов окисления базового минерального масла.
2. Рациональная технология регенерации минеральных ОСМ строительной техники включает обработку при нагревании до 90 °С и перемешивании с водным раствором электролита (карбоната лития или

калия) в количестве 0,4 % от массы масла в течение 30 минут, водным раствором деэмульгатора (натриевой или калиевой или литиевой соли перфторалкоксиперфторкарбоновой кислоты) в количестве 0,3 % от массы масла в течение 45 минут и водным раствором коагулянта (катионоактивного сополимера акриламида АК-636Р) в количестве 0,2 % от массы масла в течение 30 минут с последующей сепарацией, вакуумной сушкой, перколяцией и фильтрацией.

3. Разработанная методика, включающая формирование степени экологичности SE и расчет степени воздействия SV , позволяет выполнить оценку негативного воздействия технологий регенерации ОСМ на окружающую среду.

Практическая значимость работы:

1. Проведен анализ экологичности известных технологий регенерации ОСМ.

2. Разработана эффективная геоэкозащитная технология регенерации ОСМ строительной техники, защищенная патентом РФ № 2444563.

3. Разработана установка для регенерации ОСМ, защищенная патентом РФ № 85900.

4. Проведен технико-экономический расчет разработанной установки регенерации ОСМ.

5. Рассчитан предотвращенный экологический ущерб по предложенным технологическим решениям для регенерации ОСМ.

6. Разработана методика оценки влияния технологий регенерации ОСМ на окружающую среду и проведена оценка разработанной технологии регенерации.

7. Научные и практические результаты диссертации использованы предприятием по ремонту специального самоходного подвижного состава на ст. Санкт-Петербург-Балтийская Окт. ж.д.

8. Материалы диссертационной работы применяет кафедра «Техносферная и экологическая безопасность» ФГБОУ ВПО ПГУПС в учебном процессе по курсу «Экология» и при выполнении лабораторных работ по дисциплинам «Экологическая оценка проектных решений» и «Управление техносферной безопасностью» (справка о внедрении № 460/177к от 04.04.2012).

Достоверность и обоснованность научных положений и рекомендаций обеспечена использованием значительного объема исходных материалов и применением современных методов анализа. Результаты, полученные в лабораторных условиях, подтверждены опытно-промышленными испытаниями. Полученные в работе аналитические и экспериментальные результаты не противоречат нормативным документам.

Апробация диссертации: содержание и основные положения диссертационной работы были доложены на Международных научно-практических конференциях «Техносферная и экологическая безопасность на транспорте» (Санкт-Петербург, 2007, 2008, 2010), межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Шаг в будущее. Неделя науки-2009» (Санкт-Петербург), международной научно-технической конференции «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты» (Санкт-Петербург, 2009), конкурсе инновационных проектов «Новое Звено» (Москва, 2010), международной научно-практической конференции «Проблемы науки и образования на современном этапе общественного развития» (Выборг, 2011).

Личный вклад автора работы состоит в постановке цели, задач и разработке методики исследования, лабораторных экспериментах и опытно-промышленных испытаниях разработанных технологии и установки регенерации ОСМ, разработке методики оценки влияния технологий регенерации на окружающую среду, обобщении и систематизации результатов исследований.

Публикации. По теме работы опубликованы 13 печатных трудов, в том числе, 4 в изданиях, включенных в Перечень ВАК Минобрнауки России, и получены 2 патента РФ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка. Содержит 152 страницы машинописного текста, 56 таблиц, 45 рисунков, список использованных источников из 141 наименования, 4 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В главе 1 диссертационной работы даны общие сведения об основных видах строительной техники. Произведена оценка экологической опасности ОСМ и установлено, что они содержат в значительных количествах загрязняющие вещества 1 и 2 классов опасности, наиболее опасные из которых бенз(а)пирен и полихлорированные дифенилы. Рассмотрены технологии регенерации ОСМ и выявлено, что в России регенерируют около 14 % ОСМ, а в странах ЕЭС – в два раза больше. Проанализированы достоинства и недостатки известных технологий регенерации ОСМ с точки зрения экологической эффективности. На основании принципов экологически чистого производства сформулированы критерии экологической эффективности технологий регенерации ОСМ для осуществления их сравнения.

В главе 2 представлены объекты исследования – отработанные масла строительной и дорожной техники и приведены их характеристики, а также физико-химические показатели свежих и отработанных масел, полученные на основе методов экспериментального исследования,

основанных на стандартных гостированных методиках.

В главе 3 представлена технология регенерации ОСМ. Проведены исследования эффективности представленной технологии в лабораторных условиях и на опытно-промышленном образце установки. Приведены данные отчетов дорожной химико-технологической лаборатории о проведении испытаний проб масел до регенерации и после нее на соответствие требований нормативной документации. Эффективность подтверждена тем, что все проверяемые показатели удовлетворяют соответствующим требованиям и нормам. Проведен технико-экономический расчет. Установлено, что срок окупаемости технологического оборудования для регенерации ОСМ и помещения, необходимого для его размещения, менее года.

В главе 4 представлена методика оценки влияния технологий регенерации ОСМ на окружающую среду, позволяющая на основе новых формируемых показателей (степень экологичности *SE* и степень воздействия *SV*) оценить влияние как внедряемых, так и уже существующих технологий регенерации на геоэкологическую обстановку. Произведены оценка и сравнение экологической эффективности представленной технологии и существующих технологий регенерации ОСМ. Проведен расчет предотвращенного экологического ущерба окружающей природной среде в результате использования установки для регенерации ОСМ.

Основные результаты исследований отражены в следующих положениях, выносимых на защиту:

1. Оценку экологической опасности отработанных смазочных масел на минеральной основе необходимо производить исходя из высокой опасности полициклических ароматических углеводородов, соединений тяжелых металлов и продуктов окисления базового минерального масла.

Отработанные смазочные масла при эксплуатации строительной и дорожной техники представляют собой многокомпонентную смесь переменного состава. Помимо основного компонента – углеводородной высококипящей фракции, масла содержат различные добавки: загустители (полиизобутилен, полиметакрилаты, полиалкилстиролы), моющие присадки (алкил(арил)-сульфонаты, -фосфонаты кальция, магния и др. металлов), антиокислительные и антикоррозионные присадки (диалкилдитиофосфат и дитиокарбамат цинка, бензотриазол), противоизносные присадки (дитиофосфаты металлов, нафтенат свинца, трикрезилфосфат), антифрикционные присадки (дисульфид молибдена, дитиофосфаты молибдена), противопенные присадки (полисилоксаны). Кроме того, в отработанных маслах присутствуют продукты термического

разложения и окисления масла и указанных присадок, а также продукты неполного сгорания топлива, частицы сажи и коксовых отложений, металлические частицы с поверхности трущихся деталей, вода и различные механические примеси.

Биологически активные полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – продукты термического разложения масла, а также нитрозамины, которые относят к потенциальным канцерогенам.

Наиболее токсичное соединение из всех ПАУ – бенз(а)пирен (C₂₀H₁₂), принадлежащий к веществам 1 класса опасности.

В свежих маслах содержание ПАУ составляет 4 мг/кг. После пробега двигателя 1000 км концентрация наиболее опасных ПАУ с 4-7 кольцами составляет более 25 мг/кг, в том числе бенз(а)пирена – до 10 мг/кг. Накопление бенз(а)пирена составляет 0,1-1 мг/л на 1000 км.

Среднее содержание ПАУ в ОСМ строительной и дорожной техники – 40 мг/кг. Среднее содержание ПАУ в ОСМ строительной техники возрастает в зависимости от интенсивности эксплуатации.

После пробега 10-15 тыс. км содержание ПАУ в ОСМ составляет уже 400 мг/кг.

Средние значения содержания наиболее токсичных ПАУ в ОСМ для строительной и дорожной техники представлены в таблице 1 (по данным Евдокимова А.Ю., 2000)

Таблица 1 – Содержание токсичных ПАУ в ОСМ

Соединение	Хризен, трифенилен	Бензфлуорантен	Инденопирен	Антрацен	Бенз(а)пирен	Всего
Содержание, мг/кг	26,7-32,0	5,6-5,7	1,3-1,5	0,5-0,8	2,2-2,4	36,5-42,2

Не меньшую опасность в ОСМ представляют собой галогенсодержащие соединения (в особенности полихлордифенилы и их производные), относящиеся к 1 классу опасности и способные вызывать онкологические заболевания, расстройство иммунной системы и бесплодие. Высокое содержание хлора характерно для противозадирных присадок в редуторных маслах и других смазочных материалах и составляет 0,1-1 %. Общее содержание хлора в ОСМ (до 0,64 %) зависит от срока службы масла и концентрации хлора в используемых присадках.

При анализе значительного числа образцов масел строительной техники, а также образцов загрязненной маслами почвы, установлено присутствие продуктов разложения хлорсодержащих присадок в количестве до 240 млн.⁻¹ в смесях ОМ и до 50-70 млрд.⁻¹ в почве.

Совместное воздействие ПАУ и ПХД усиливает негативный эффект, поскольку ПАУ замедляют выведение ПХД из организма и почвы.

После ПХД наибольшим уровнем опасности обладают органические

фосфаты, отнесённые ко 2 классу опасности. Благодаря своей огнестойкости и триботехническим характеристикам их применяют в качестве присадок к маслам строительной техники для различных гидравлических и турбинных систем.

Не меньшую опасность для литосферы представляет загрязнение тяжелыми металлами. Наиболее токсичны кадмий, свинец, менее токсичны цинк и медь. Загрязнение почв соединениями тяжелых металлов, входящих в состав ОСМ строительной техники подавляет микробиологическую деятельность и снижает биологическую продуктивность.

Самым распространенным на сегодняшний день методом утилизации является сжигание ОСМ. При сжигании происходит образование следующих групп загрязняющих веществ:

1. Производные ПАУ, содержащие серу, азот и кислород.
2. Производные ПХД – диоксины, дибензофураны.
3. Соединения тяжелых металлов (свинец до 20-100 % от его общего содержания; цинк, хром, медь, железо, кадмий и олово – до 0,1 %).
4. Соединения серы, азота, фосфора, хлора, брома. Наиболее распространенные соединения этих элементов – оксид азота (IV), оксид серы (IV), фосфорный ангидрид (оксид фосфора V) и ряд галогенсодержащих кислот.

Наряду с тяжелыми металлами вред литосфере также приносят поступления серы в виде сернистой и серной кислот, которые закисляя почву, снижают фотосинтетическую активность растений (их продуктивность).

Таким образом, негативное воздействие ОСМ на окружающую среду оказывают как сами масла, так и продукты их сжигания. Следовательно, проблема их экологически безопасной утилизации, среди которых важнейшая – регенерация ОСМ, актуальна.

2. Рациональная технология регенерации минеральных ОСМ строительной техники включает обработку при нагревании до 90 °С и перемешивании с водным раствором электролита (карбоната лития или калия) в количестве 0,4 % от массы масла в течение 30 минут, водным раствором деэмульгатора (натриевой или калиевой или литиевой соли перфторалкоксиперфторкарбоновой кислоты) в количестве 0,3 % от массы масла в течение 45 минут и водным раствором коагулянта (катионоактивного сополимера акриламида АК-636Р) в количестве 0,2 % от массы масла в течение 30 минут с последующей сепарацией, вакуумной сушкой, перколяцией и фильтрацией.

Предпосылками к разработке технологии регенерации ОСМ строительной техники и технических средств реализации процесса

послужили недостатки существующих технологий, использующих адсорбционную очистку в качестве основной стадии. К ним отнесены:

- значительный расход адсорбентов и проблема утилизации использованного адсорбента и других опасных отходов;
- использование токсичных вспомогательных материалов;
- высокий удельный расход энергии (при многократном превращении ОСМ в паромасляную эмульсию и его распылении, при создании глубокого вакуума);
- потери масла в ходе технологического процесса за счет выноса частиц масла вакуумным насосом в конденсатор-отделитель паров вместе с парами загрязнителей и за счет смешивания с загрязнителями после конденсации;
- низкая эффективность реагентной обработки при коагуляции и разделении ОСМ на фракции.

Разработанная нами усовершенствованная технология регенерации ОСМ строительной техники позволила устранить приведенные недостатки.

Процесс регенерации ОСМ предлагаемым способом, технологическая схема которого представлена на рис. 1, включал следующие этапы. На первой стадии регенерации ОСМ в реакторном аппарате происходил нагрев до температуры 90 °С и перемешивание сырья. Продолжая перемешивание и поддерживая температуру, масло контактировало последовательно с тремя реагентами: сначала масло с водным раствором электролита в количестве 0,4 % от массы сырья, в результате чего отделяли металлические загрязнения и твердые частицы; затем, с водным раствором деэмульгатора в количестве 0,3 % от массы сырья для адсорбции смолистых веществ и разрушения эмульсий образованных на первой стадии; завершали реагентную обработку добавлением водного раствора коагулянта в количестве 0,2 % от массы сырья для образования укрупненных частиц загрязнений, полученных на первых двух этапах, и осуществления более эффективной седиментации.

Затем полученную смесь отстаивали, после чего осуществляли слив отстоя (вода, шлам, механические частицы). Оставшуюся масляную фазу подвергали сепарации на ультрацентрифуге для очистки от неседиментировавших воды и примесей.

Далее масло проходило обработку в вакуумном осушителе с целью удаления под действием температуры и разряжения остатков воды и легкокипящих разбавителей.

После очистки в вакуумном осушителе масло для более тонкой очистки подавали на блок фильтрации и перколяции.

После фильтрации производили ввод легирующих компонентов, чтобы регенерированное масло соответствовало требованиям, предъявляемым к товарным маслам.

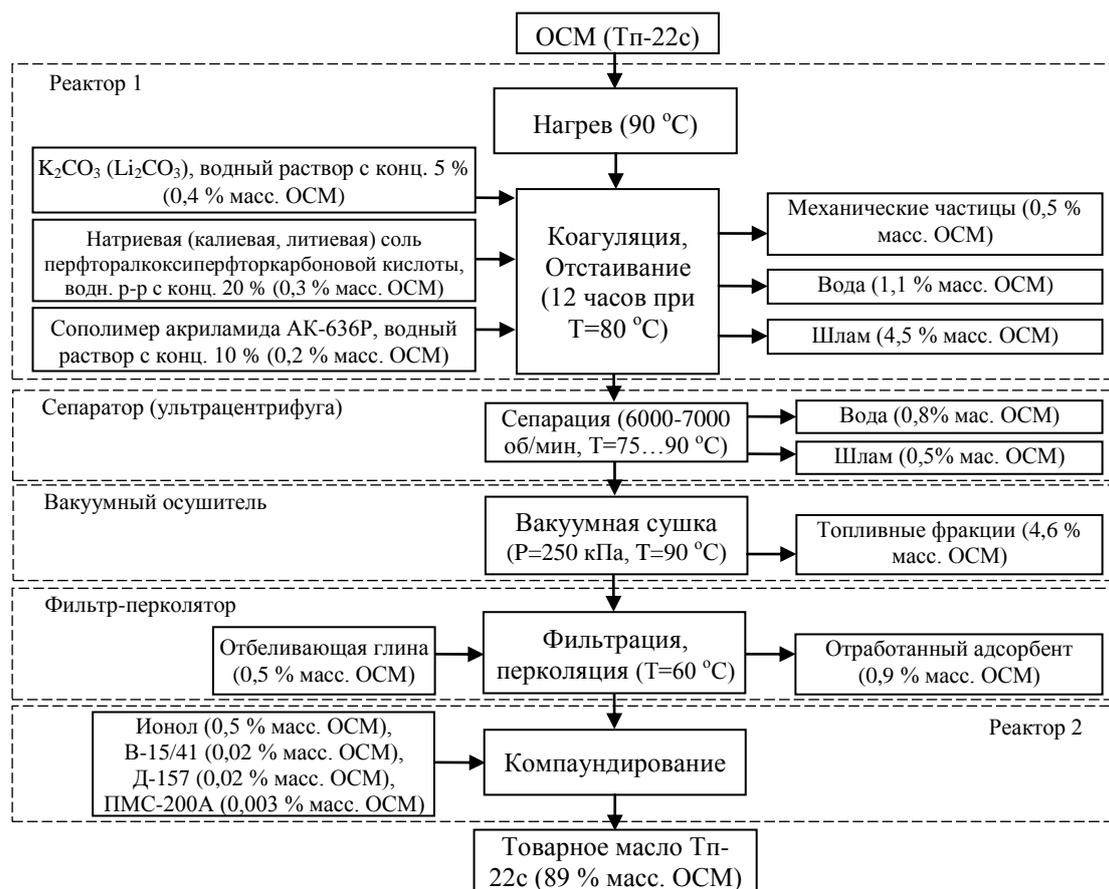


Рисунок 1 – Технологическая схема регенерации ОСМ

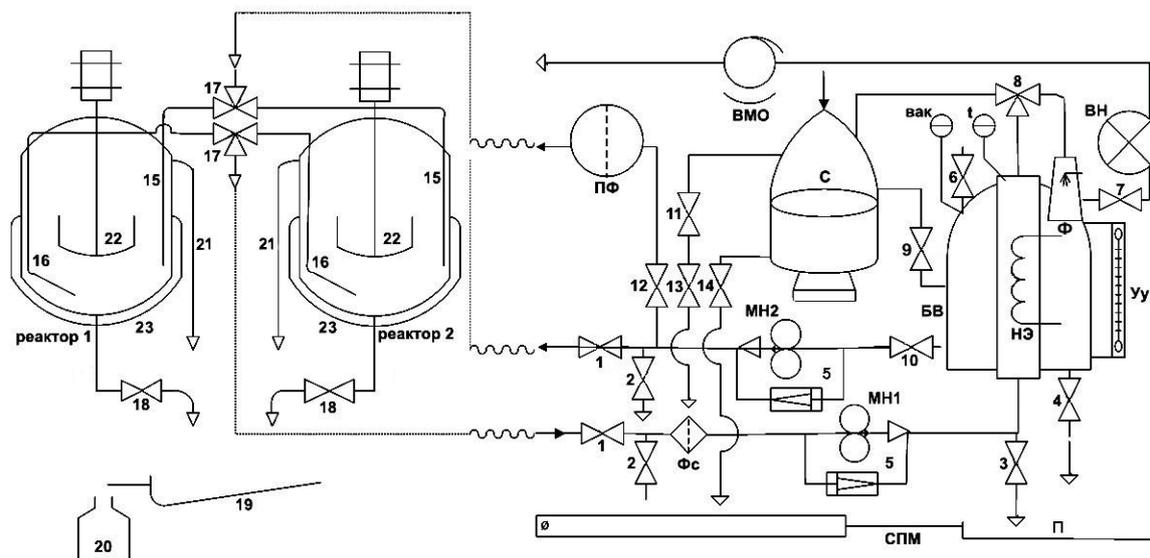
Результаты регенерации на лабораторном стендовом оборудовании турбинного масла Тп-22с представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты исследования

Показатель	ТУ	Инструкция	Фактическое значение (номер образца)					
			1	2	3	4	5	6
Вязкость кинем. при 50 °С, мм ² /с	20-23	>14,0	22,3	21,3	21,2	20,2	20,1	20,8
Содержание воды, %	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.
Кислотное число, мг КОН на 1 г ОСМ	<0,07	-	0,05	-	0,07	0,03	0,22	-
Содержание мех. примесей, %	Отс.	0,1	0,01	0,1	Отс.	Отс.	0,01	Отс.
Темп. Вспышки, в откр. тигле, °С	>186	>160	209	218	203	206	190	194
Содержание водорастворимых кислот и щелочей, %	Отс.	-	Отс.	-	Отс.	Отс.	-	-
Плотность при 20 °С, кг/м ³	<900	-	872	-	869	870	-	-

Образцы масел под номерами 1, 3, 4 после регенерации соответствовали требованиям ТУ38.101821-2001, а образцы под номерами 2, 5, 6 требованиям типовой инструкции 01ДК.421457.001И. Выход очищенного турбинного масла составил 89 % от массы сырья.

Для опытного испытания разработанной в лабораторных условиях технологии регенерации ОСМ была создана установка, принципиальная схема которой представлена на рис. 2.



С – сепаратор СЦ-3,0, ПФ – пресс-фильтр, БВ – бак вакуумный, НЭ – маслонагреватель электрический, Вн – вакуумный насосный агрегат, Уу – указатель уровня, ВМО – водомаслоотделитель, Фс – фильтр сетчатый, Ф – форсунка, МН1, МН2 – маслососы шестеренные, П – поддон, СПМ – сборник проливов масла, вак – вакуумметр, t – термометр, 1-4, 10-14 – краны масляные, 5 – клапаны перепускные, 6, 7 – краны воздушные, 8 – кран трехходовой, 9 – вентиль масляный угловой, 15 – напорные трубопроводы, 16 – всасывающие трубопроводы, 17 – краны трехходовые, 18 – краны для слива отстоя, 19 – шламприемник, 20 – шламособорник, 21 – переливные трубы, 22 – мешалки механические, 23 – терморубашки реакторов.

Рисунок 2 – Принципиальная схема установки регенерации ОСМ

Конструктивная особенность установки регенерации ОСМ состоит в наличии устройства формирования тонкослойного потока масла. Оно не вызывает разбивку струи масла на мелкие частицы брызг и масляного тумана, а формирует поток масла в виде поверхности расширяющегося конуса. Применение этого устройства позволило сократить потери ОСМ при сохранении высокой степени их очистки, а также существенно уменьшить расход энергии и адсорбентов на регенерацию ОСМ.

На рис. 3 представлен опытно-промышленный образец установки, работа которой показала, что конечный продукт соответствует всем необходимым нормативным документам.

Предлагаемый способ может быть использован на установках, применяемых для малотоннажных производств, где обеспечен сбор отработанных масел по маркам, значительно упрощая, удешевляя и обеспечивая экологически безопасную регенерацию ОСМ.



Рисунок 3 – Опытно-промышленный образец установки

В таблице 3 представлена информация об отходах регенерации ОСМ: количество, место образования, а также организационные меры их обезвреживания и применения.

Таблица 3 – Отходы регенерации ОСМ

Вид отхода, место образования, транспорт	Организационные меры	Кол-во, % масс. сырья
Воду – собирают в шламосборник. После отстоя откачивают насосом из шламосборника в реактор для повторного использования в процессе регенерации.	После отстаивания и фильтрации может быть повторно использована в процессе регенерации ОСМ или для мойки деталей.	2-3
Шлам – после отстоя происходит накопление в верхней части шламосборника. Удаляют в металлические или пластиковые полубочки.	Обладает антисептическими свойствами, пригоден для пропитки столбов, мостовых брусев. Используют при изготовлении смазки для путевой лубрикации.	1-2
Твердые частицы – осадение на дне шламосборника, откуда удаляют при его зачистке в полиэтиленовые мешки.	Сжигают в печи при температуре 1000...1200 °С. Зола от сжигания может быть использована в строительстве	0,15-0,30
Отработанный адсорбент – собирают в поддон модуля фильтрации. Удаляют в полиэтиленовые мешки.	при производстве бетонных конструкций.	0,05-1,5

Экономический эффект, получаемый при использовании предложенной установки регенерации ОСМ, заключен в снижении:

- затрат на приобретение свежих товарных масел;

- расходов на утилизацию отработанных масел;
- расходов на штрафы за нарушение экологических требований.

Алгоритм расчета экономического эффекта сведен к определению чистого дохода, чистого дисконтированного дохода, внутренней нормой доходности и срока окупаемости (Ковалев В.В., 1999).

Результаты расчёта экономического эффекта установки для регенерации ОСМ представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчетные экономические показатели

Расчетные экономические показатели	Значение
Φ_0 , объем инвестиций (начальных вложений)	1 842 000 руб.
\mathcal{E}_p , расходы на эксплуатацию установки (в год)	4 049 294 руб.
$\Phi^{вх}$, входящий денежный поток (экономия на приобретении свежих смазочных материалов в течение срока эксплуатации)	72 200 000 руб.
$\Phi^{исх}$, исходящий денежный поток (затраты на эксплуатацию установки, налоги)	47 142 340 руб.
ЧД, чистый доход за весь расчетный период	23 215 660 руб.
ЧДД, чистый дисконтированный доход за весь расчетный период	10 733 794 руб.
ВНД, внутренняя норма доходности	136 %
$T_{ок}$, срок окупаемости (возврата вложенных средств)	<1 года

Таким образом, технологическое оборудование для регенерации ОСМ и помещение, необходимое для размещения оборудования, экономически эффективно, а срок окупаемости составляет менее года.

3. Разработанная методика, включающая формирование степени экологичности SE и расчет степени воздействия SV , позволяет выполнить оценку негативного воздействия технологий регенерации ОСМ на окружающую среду.

Основная идея получения экологической оценки состоит в следующем. Значения всех экологических показателей, характеризующих рассматриваемую технологию (независимо от единицы измерения и диапазона изменения), сопоставляли с безразмерной величиной в диапазоне от 0 до 1, которую обозначили как SE_i ($0 \leq SE_i \leq 1$) и назвали степенью экологичности по показателю. На основе значений SE_i (для всех экологических показателей) получали интегрированную оценку экологичности технологии – степень экологичности SE , по которой рассчитывали степень воздействия технологии SV .

Поскольку применяемые экологические показатели разнородны и несопоставимы, то для оценки их значимости использовали весовые коэффициенты. Для их определения применяли экспертный метод оценки, сущность которого заключена в присвоении двумя группами экспертов рангов и весовых коэффициентов каждому показателю с последующей

математической обработкой полученных оценок. Результаты примененного метода приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Итоговые весовые коэффициенты экологических показателей

№ п/п	Экологические показатели, i	Вес показателя, k_{pi}
1	Количество образуемых отходов	0,18
2	Токсичность образуемых отходов	0,38
3	Количество наиболее токсичного отхода	0,07
4	Количество вторично используемых отходов	0,16
5	Количество используемого реагента	0,04
6	Токсичность используемых реагентов	0,04
7	Количество наиболее опасного реагента	0,13

Для оценки согласованности мнений экспертов в пределах каждой группы определяли коэффициент конкордации W по формуле (1) (Кендэл М., 1975).

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^n \left\{ \sum_{j=1}^m R_{ij} - \frac{m(n+1)}{2} \right\}^2}{m^2 (n^3 - n)}, \quad (1)$$

где $\sum_{j=1}^m R_{ij}$ – сумма рангов каждого показателя; $\frac{m(n+1)}{2}$ – средняя сумма рангов; m – количество экспертов в каждой группе; n – количество анализируемых экологических показателей.

Для первой группы экспертов $W_1 = 0,878$, а для второй $W_2 = 0,853$. При этом, чем больше значения W_1 и W_2 отличны от 0, тем выше согласованность экспертов.

Для расчета степени экологичности каждого экологического показателя SE_i строили функцию нормирования его значения. Для этого выбирали интервал значений показателя $[a; b]$, на оси которого отмечали максимальное, минимальное и промежуточные значения, и разбивали на m диапазонов падения экологичности. На интервале значений показателя технологии максимальному его значению сопоставляли значение степени экологичности, равное 1 ($SE_i = 1$), а минимальному значению – 0 ($SE_i = 0$). В результате получали последовательность значений $a = d_0 < d_1 < d_2 < \dots < d_m = b$, где d_{m-1} , d_m – левая и правая границы m -го диапазона, соответственно. Тогда $L_d = (d_m - d_{m-1})$ – длина диапазона (рис. 4).

Каждому из полученных диапазонов присваивали коэффициент падения экологичности ($KПЭ_m = 1, 2, \dots, m$), который характеризовал уровень падения экологичности в диапазоне значений показателя.

Для построения функции нормирования значения экологического показателя предварительно вычисляли коэффициенты (K_D) по формуле (2) и (K_{md}) по формуле (3):

$$K_D = \sum_{m=1}^m K\Pi\mathcal{E}_m \cdot L_{dm}, \quad (2)$$

$$K_{md} = K\Pi\mathcal{E}_m / K_D, \quad (3)$$

где K_D – коэффициент нормирования интервала рассматриваемых значений показателя технологии;

K_{md} – коэффициент нормирования m -го диапазона.

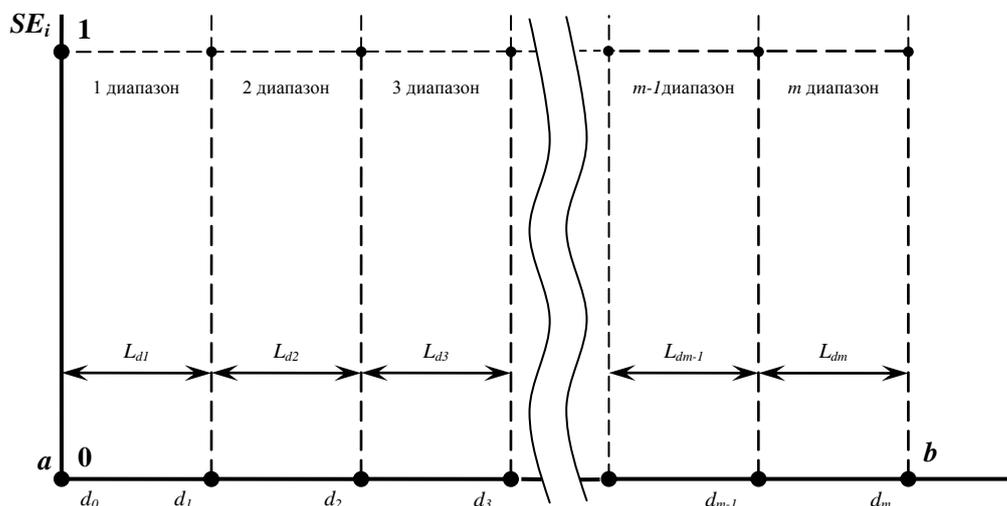


Рисунок 4 – Система координат для определения SE_i

Затем для каждой границы диапазона вычисляли нормированное значение степени экологичности SE_m по следующему правилу. Если максимальное значение лежало левее диапазона (SE_{max} при d_{m-1}), то значение на правой границе диапазона вычисляли по формуле (4). Если максимальное значение лежало правее диапазона (SE_{max} при d_m), то значение на левой границе диапазона определяли по формуле (5):

$$SE_m = SE_{m-1} - K_{md} \cdot L_{dm-1}, \quad (4)$$

$$SE_{m-1} = SE_m - K_{md} \cdot L_{dm}. \quad (5)$$

По результатам расчета строили график функции нормирования (рис. 5) и по нему определяли степень экологичности SE_i каждого показателя, значения которых для разработанной и других технологий, рассмотренных в работе, представлены в таблице 6.

В зависимости от выбранного интервала экологического показателя и расположения максимального и минимального значений можно получить либо кривую 1, либо кривую 2. Кривая 1 характерна для экологических показателей, учитывающих количественные характеристики технологии (количество отходов, реагентов), а кривая 2 для показателей, учитывающих качественные характеристики (опасность отходов, реагентов).

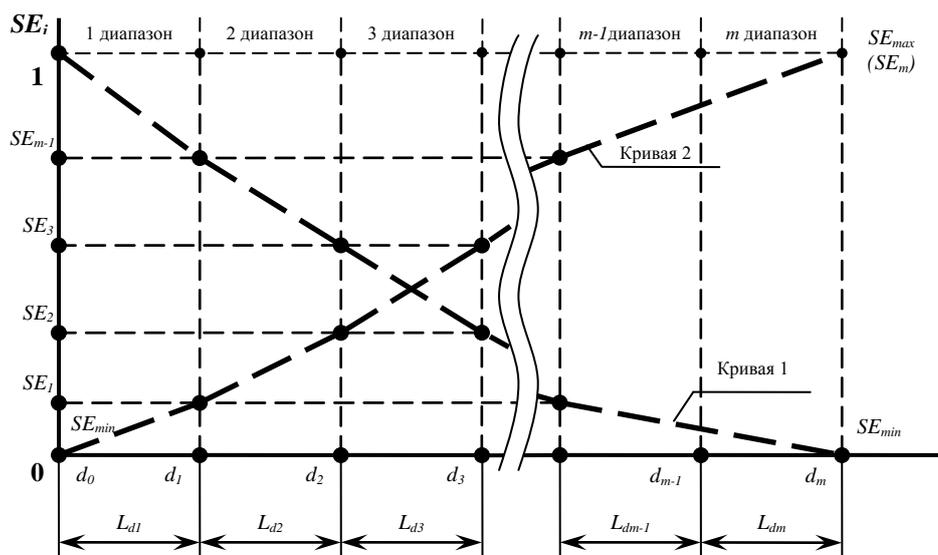


Рисунок 5 – Зависимость SE_i от значения экологического показателя

Таблица 6 – Результаты расчета SE_i

Объекты исследования	SE^1_i	SE^2_i	SE^3_i	SE^4_i	SE^5_i	SE^6_i	SE^7_i
	$k_{p1}=0,38$	$k_{p2}=0,18$	$k_{p3}=0,16$	$k_{p4}=0,13$	$k_{p5}=0,07$	$k_{p6}=0,04$	$k_{p7}=0,04$
ПГУПС-2011 (SE^1_i)	0,85	0,7	0,84	0,92	0,98	0,4	0,99
ПОМ-ТЭК (SE^2_i)	0,60	0,9	0,98	0,98	0,99	0,4	0,99
ENTRA (SE^3_i)	0,75	0,4	0,87	0	0,92	0,4	0,98
Rotovac (SE^4_i)	0,82	0,7	0,87	0	0,88	0,7	0,88
Meinken (SE^5_i)	0,68	0,4	0,78	0	0,67	0,4	0,87

Результирующую оценку степени экологичности (SE), представленную в таблице 7, рассчитывали по формуле (6).

$$SE = \sum k_{pi} \cdot SE_i \quad (6)$$

Таблица 7 – Расчет величины SE^n для исследуемых технологий

Объекты исследования	SE^n
Технология ПГУПС-2011	0,827
Технология «ПОМ-ТЭК» (термический крекинг)	0,799
Технология «ENTRA» (серно-кислотная очистка, термический крекинг)	0,616
Технология Rotovac (адсорбция)	0,702
Технология Meinken (серно-кислотная очистка)	0,553

Показатель SV определяли как долю максимального значения степени экологичности и рассчитывали по формуле (7)

$$SV = SE_{\max} / SE = 1 / SE \quad (7)$$

В таблице 8 представлены результаты расчетов степени воздействия SV^n технологий.

Таблица 8 – Расчет SV^n для исследуемых технологий

Объекты исследования	SV^n
Технология ПГУПС-2011	1,209
Технология «ПОМ-ТЭК» (термический крекинг)	1,251
Технология «ENTRA» (серно-кислотная очистка, термический крекинг)	1,624
Технология Rotovac (адсорбция)	1,425
Технология Meinken (серно-кислотная очистка)	1,809

Разработанная методика позволяет оценить экологическую эффективность (степень воздействия) различных проектируемых и используемых в настоящее время технологий регенерации ОСМ.

Предотвращенный экологический ущерб окружающей природной среде в результате недопущения к размещению ОСМ составил 180 тыс. руб. за счет использования одной установки регенерации производительностью 200 т/год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая содержит новое решение актуальной научной и практической задачи: снижение негативного влияния отработанных смазочных масел на окружающую среду путем применения геоэкозащитной технологии их регенерации и технического устройства для ее реализации.

Основные научные и практические выводы:

1. Проведена оценка экологической опасности воздействия ОСМ строительной техники на окружающую среду и установлено, что они содержат в значительных количествах загрязняющие вещества 1 и 2 классов опасности, наиболее токсичные из которых бенз(а)пирен и полихлорированные дифенилы, оказывающие негативное воздействие на геоэкологическую обстановку.

2. Проанализированы основные технологии утилизации и регенерации отработанных смазочных масел с точки зрения как экологической, так и экономической эффективности, обоснованы основные показатели для оценки экологической безопасности технологий и методов регенерации ОСМ. Выявлены достоинства и недостатки существующих технологий.

3. Разработаны технология для регенерации ОСМ, включающая стадии коагуляции, сепарации, вакуумной сушки, адсорбции и фильтрации, и установка для ее реализации, позволившие минимизировать образование отходов. Произведен технико-экономический расчет

технологического оборудования для регенерации ОСМ и помещения, необходимого для размещения оборудования, который показал экономическую эффективность от внедрения предлагаемых решений.

4. Разработана и научно обоснована методика оценки влияния технологий регенерации ОСМ на окружающую среду, включающая в себя создание структурно-аналитической модели и алгоритма формирования введенного показателя степени экологичности SE , а также расчет на его основе показателя степени воздействия SV .

5. Произведена сравнительная оценка разработанной и наиболее распространенных технологий регенерации ОСМ. Полученные значения показывают, что утилизация отработанных смазочных масел по разработанной технологии имеет преимущество перед всеми остальными сравниваемыми технологиями.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

Публикации по перечню ВАК

1. Иванюк С.В. Оценка влияния технологий регенерации отработанных масел на окружающую среду // Известия ПГУПС. – 2011. – № 3. – С. 10-12.

2. Титова Т.С., Иванюк С.В., Зачиняев Я.В. Выбор оптимальных технологий регенерации отработанных масел // Экология и промышленность России. – 2010. – № 9. – С. 22-27.

3. Титова Т.С., Иванюк С.В., Зачиняев Я.В. Технология регенерации отработанных смазочных масел // Экология и промышленность России. – 2010. – № 4. – С. 4-6.

4. Титова Т.С., Красненко А.Ф., Иванюк С.В. Ресурсосбережение при обращении с отработанными маслами в системе железнодорожного транспорта // Безопасность жизнедеятельности. – 2009. – № 9. – С. 15-19.

Публикации в других изданиях

5. Титова Т.С., Иванюк С.В. Влияние отработанных масел на геоэкологическую обстановку // «Техносферная и экологическая безопасность на транспорте»: материалы межд. научно-практ. конф. – СПб.: ПГУПС, 2007. – С. 92-93

6. Красненко А.Ф., Иванюк С.В. Обращение с отработанными маслами на предприятиях железнодорожного транспорта // «Техносферная и экологическая безопасность на транспорте»: материалы межд. научно-практ. конф. – СПб.: ПГУПС, 2008. – С. 72-74

7. Иванюк С.В. Сравнительная характеристика методов регенерации и утилизации отработанных масел // «Шаг в будущее. Неделя науки-2009»: материалы межвузовской научно-технич. конф. студентов, аспирантов и

молодых ученых. – СПб.: ПГУПС, 2009. – С. 31-34

8. Иванюк С.В. Снижение воздействия на окружающую среду нефтепродуктов от подвижного состава // «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты»: материалы межд. научно-технич. конф. – СПб.: ПГУПС, 2009. – С. 75-76

9. Титова Т.С., Иванюк С.В., Зачиняев Я.В. Критерии оценки технологий регенерации отработанных смазочных масел на окружающую среду // «Техносферная и экологическая безопасность на транспорте»: материалы межд. научно-практ. конф. – СПб.: ПГУПС, 2010. – С. 240-241

10. Титова Т.С., Иванюк С.В., Зачиняев Я.В. Отработанные масла и окружающая среда // «Проблемы науки и образования на современном этапе общественного развития»: материалы межд. научно-практ. конф. – СПб.: РГГУ им. Герцена, 2011. – С. 141-144

11. Титова Т.С., Зачиняев Я.В., Иванюк С.В. Критерии оценки воздействия отработанных масел на окружающую природную среду. Обзор технологий регенерации отработанных масел // Экономический и научно-технический интернет-журнал. – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.novainfo.ru/> – 2011.

12. Патент – 85900 РФ, С10М175/02, В01D36/00. Установка для регенерации отработанных промышленных масел / Красненко А. Ф., Пучков Н. В., Титова Т. С., Иванюк С. В., Илгач А. Н. – № 2008153069/22; Заяв. 31.12.2008; Публ. 20.08.2009.

13. Патент – 2444563 РФ, С10М175/02. Способ регенерации отработанных смазочных масел / Зачиняев Я.В., Сергиенко Ю.В., Иванюк С.В., Титова Т.С., Межидов М.Б. – № 2010128403/04; Заяв. 08.07.2010; Публ. 10.03.2012.

Подписано к печати
Печать-ризография
Тираж 100 экз.

27.04.2012 г.
Бумага для множит. апп.

Печ. л. – 1,25
Формат 60x84, 1/16
Заказ № 273

Отпечатано в типографии «ПГУПС» (190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9)