ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

ДЕРЕВЯНОВ МАКСИМ ЮРЬЕВИЧ

Методология системного анализа и оптимизации сложно-структурированного комплекса переработки нефтесодержащих отходов в нефтегазовой промышленности

Специальность 2.3.1 - Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант
Д.т.н., профессор
Плешивцева Юлия Эдгаровна

Самара - 2024

Оглавление

Введение 5

1 Анализ современного состояния переработки нефтесодержащих отходов в нефтегазовой промышленности Российской Федерации 18

1.1 Системные проблемы переработки нефтесодержащих отходов 18

1.2 Анализ подходов к решению задач по переработке нефтесодержащих отходов в нефтегазовой промышленности 39

1.3 Содержательная постановка задачи диссертационного исследования и степень разработанности темы 46

1.4 Выводы по первой главе 53

2 Системный анализ сложно-структурированного комплекса переработки нефтесодержащих отходов 55

2.1 Анализ структуры и общесистемных свойств 55

2.2 Анализ элементов, связей и закономерностей функционирования КП НСО 58

2.2.1 Анализ характеристик элементов подсистем размещения и переработки 58

2.2.2 Анализ связей между элементами 60

2.3 Структуризация и систематизация информации об элементах КП НСО 62

2.4 Анализ качества информации о НСО и технологиях их переработки 72

2.5 Разработка методики системного анализа и оптимизации КП НСО 93

2.6 Выводы по второй главе 95

3 Многофакторный анализ сложно-структурированного комплекса переработки нефтесодержащих отходов 98

3.1 Научно-обоснованная постановка задачи многофакторного анализа 98

3.2 Описание методологии Data Envelopment Analysis 101

3.3 Разработка проблемно-ориентированных моделей для определения оценок эффективности 108

3.3.1 Многофакторный анализ ресурсной ценности нефтесодержащих отходов в хранилищах 109

3.3.2 Многофакторный анализ ресурсного потенциала 112

3.3.3 Многофакторный анализ экологической безопасности 117

3.3.4 Многофакторный анализ ресурсо- и энергоэффективности 122

3.3.5 Многофакторный анализ комплексной эффективности 126

3.4 Методы и алгоритмы решения задач многофакторного анализа 129

3.5 Апробация разработанных методов и алгоритмов решения задач многофакторного анализа 134

3.6 Выводы по третьей главе 149

4 Оптимизация сложно-структурированного комплекса переработки нефтесодержащих отходов 151

4.1 Постановка задачи оптимизации 151

4.2 Алгоритм решения задачи оптимизации 156

4.3 Программное обеспечение для обработки информации, многофакторного анализа и оптимизации 160

4.3.1 Описание основных модулей и процедур программного обеспечения 162

4.3.2 Методическое руководство для работы с программным обеспечением 183

4.4 Апробация алгоритма и процедуры оптимизации 195

4.5 Методика определения оценок эффективности на основе искусственных нейронных сетей 209

4.6 Выводы по четвертой главе 214

5 Выбор и принятие управленческих решений в сложно-структурированном комплексе переработки нефтесодержащих отходов 217

5.1 Алгоритм выбора и принятия управленческих решений..... 217

5.2 Экспертная система поддержки принятия решений 222

5.3 Алгоритм технико-экономического обоснования результатов оптимизации 224

5.4 Практические рекомендации по использованию полученных результатов в промышленности..... 231

5.5 Выводы по пятой главе..... 239

Заключение..... 241

Список литературы..... 245

ПРИЛОЖЕНИЕ А – Акты внедрения 267

ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Лицензионные соглашения о предоставлении права использования результатов интеллектуальной деятельности..... 272

ПРИЛОЖЕНИЕ В – Акт об использовании результатов диссертации в учебном процессе..... 296

ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Заключение квалификационной комиссии по тематике диссертационной работы в рамках выступления на Казанской мультиконференции ММТТ-37 (Казань, 2024 г.) 297

Введение

Актуальность темы исследования. Нефтегазовая промышленность является ключевой отраслью, представляющей движущую силу и залог экономического процветания Российской Федерации, её технического прогресса и успешного развития. Являясь основным источником образования нефтесодержащих отходов (НСО), нефтегазовый сектор создаёт одновременно серьёзные проблемы, острота которых возрастает в связи с увеличением объемов добычи нефти и природного газа, расширением месторождений, износом систем транспортировки и хранения отходов, недостатками технологий их утилизации и обезвреживания. По данным Росстата в 2023 году в секторах добычи нефти и газа и предоставления услуг в этой сфере общая масса НСО составила 15,41 млн тонн, из которых утилизации подверглись только 3,88 млн тонн (25,1%). Остальная часть отходов размещена в хранилищах и захоронена на специальных полигонах, общее количество которых превысило 20 тысяч, а их общая площадь ежегодно увеличивается примерно на 400 тысяч га. Недостаточная глубина переработки НСО, под которой понимается процесс обращения с отходами (обезвреживание и (или) утилизация) с целью получения полезных компонентов и их использования в технологиях рециклинга, рекуперации или регенерации, приводит к неэффективному использованию материальных и энергетических ресурсов. Кроме того, по данным Минприроды РФ загрязнением углеводородами ежегодно подвергаются около 510 млн тонн грунта, что усугубляет негативное антропогенное влияние НСО на окружающую среду и требует принятия срочных мер для повышения экологической безопасности при обращении с отходами нефтегазовой промышленности.

В условиях глобализации и усиливающейся международной конкуренции РФ может в долгосрочной перспективе претендовать на завоевание или сохранение ведущих позиций в мире только при условии, что развитие нефтегазовой промышленности будет удовлетворять современным тенденциям, требующим инновационных наукоемких подходов к вовлечению НСО в хозяйственный оборот

в качестве вторичных материальных ресурсов при обеспечении максимальной энергоэффективности производственного цикла и его безусловной экологической безопасности.

Указанные причины приводят к насущной необходимости реорганизации (преимущественно на базе российских технологий) сложно-структурированного комплекса переработки (КП) НСО, встроенного в нефтегазовый комплекс, с целью минимизации его негативного воздействия на окружающую среду за счёт обеспечения «замкнутого» цикла производства. Эта цель может быть достигнута только на основе применения методов системного анализа для научно-обоснованного выбора технологий переработки отходов, являющихся оптимальными по критериям энерго- и ресурсосбережения, экономической эффективности и экологической безопасности.

Обозначенные проблемы осложняются необходимостью их решения с учетом существующих региональных особенностей нефтегазовой промышленности, связанных, прежде всего, с разнородностью физической основы процессов переработки и использования отходов, различием в географических, социально-экономических и промышленно-технологических условиях, нестабильностью составов исходного сырья и вторичных продуктов, постоянно ужесточающимися требованиями, предъявляемыми к качеству выходного продукта на мировом и внутреннем рынках, сложной и неблагоприятной экологической ситуацией во многих Российских регионах.

Вышеизложенные обстоятельства приводят к необходимости рассмотрения актуальных задач многофакторного анализа и оптимизации КП НСО как сложных междисциплинарных проблем, решение которых требует системного подхода. При этом необходима глубокая фундаментальная проработка всех закономерностей, взаимосвязей, ключевых параметрических характеристик материальных и энергетических потоков, логистических, экологических и технологических аспектов, которую возможно провести только на основе наукоемких подходов с применением современных информационных технологий.

Степень разработанности темы исследования. Современные подходы к обращению с НСО основаны на концепциях сокращения и повторного использования отходов предприятий нефтегазовой промышленности, в основу которых положены принципы консервации ресурсов и энергии. Эффективность обращения с НСО в рамках таких концепций может оцениваться через ресурсный потенциал отходов, который зависит не только от состава и «качества» отходов, но и от используемых технологий переработки. Выбор подходящих технологий переработки для реализации ресурсного потенциала НСО, включающего их энергетический и материальный потенциал, осуществляются в настоящее время с помощью различных подходов к классификации технологий переработки, которые представлены в работах Мещерякова С.В., Кононенко Е.А., Мазловой Е.А., Пименова А.А., Быкова Д.Е., Ручкиновой О.И., Свергузовой С.В., Минигазимова Н.С., Ибатулина Р.Р., Ягафаровой Г.Г., Сахабутдинова К.Г., Хесиной А.Я., Мурзаковой А.Р., Сутуриной Е.О., Яманиной Н.С., Сыроваровой А.М., Литвиновой Т.А., Сухоносовой А.Н., Солодковой А.Б., Фетисова Д.Д., Филиной Н.А., Боковиковой Т.Н., Шпербера Д.Р., Wang J., Gong C., Liu D., Cao C., Ding H., Pyziak T., Brinkman D., Fellah Jahromi A., Elektorowicz M. и других. Предложенные классификации базируются на технологическом аспекте переработки отходов, т.е. на выборе наиболее приемлемой технологии с точки зрения простоты и надежности ее реализации без учёта качественного и количественного результатов переработки отхода в виде полезного для вторичного использования углеводородного ресурса.

Разработанный в диссертации подход соответствует происходящему в настоящее время переходу от парадигмы управления отходами «waste-based paradigm» к парадигме управления ресурсами «resource-based paradigm», что приводит к формированию новой системы оценки эффективности переработки НСО. Существующее в рамках парадигмы управления ресурсами ключевое понятие «ресурсный потенциал» рассматривается в работе применительно к комбинации «хранилище НСО - технология переработки» и означает комплексный количественный показатель возможности эффективного вторичного использования отходов, оцениваемый по совокупности разнородных факторов (технологических,

энергетических, логистических, технико-экономических, экологических и др.). При этом в качестве одного из основных количественных показателей оценки эффективности повторного использования отходов в работе рассматривается ресурсная ценность НСО, представляющая количественную оценку их физико-химического состава и свойств, определяющих степень пригодности отходов для использования в качестве материальных ресурсов в технологиях вторичной переработки, связанных с их рециклингом, рекуперацией и регенерацией.

Экономические и экологические подходы к оценке ресурсного потенциала отходов при использовании различных технологий переработки известны по работам J.Y. Park, M.R. Chertow, T.V. Velikanova, I.K. Kiforenko, A.A. Tolstonogov, М.С. Кузнецовой, Н.А. Уваровой, А.А. Пименова, В.В. Ермакова, В.А. Бурлаки, Е.В. Калининой, А.Г. Кочкиной, Г.С. Арзамасовой, В.В. Кармановой и других. Однако, в этих исследованиях отсутствуют системные подходы к учёту взаимосвязей экологических, экономических, ресурсных, технологических, энергетических факторов при оценке ресурсного потенциала, что снижает объективность оценки эффективности технологий переработки отходов в целом.

Как показали в своих работах Ashby M.F., Ghisellini P., Cialani C., Ulgiati S., необходимость анализа эффективности систем переработки НСО в мировой промышленности обусловлена переходом от концепции управления отходами к концепции управления ресурсами в рамках «экономики замкнутого цикла». Эффективность обращения с отходами в рамках такой концепции определяется максимальными ресурсосбережением и экологической безопасностью, а также высокой энергоэффективностью систем переработки на предприятиях нефтегазовой промышленности. Конечной целью использования НСО в рамках указанной концепции является получение энергии, а одной из основных проблем – научно-обоснованное принятие решений по использованию конкретных технологий переработки отходов с учётом заданных критериев эффективности.

Проблема анализа сложно-структурированных КП НСО заключается в необходимости учёта множества разнородных факторов, влияющих на конечную оценку эффективности. В качестве таких факторов могут выступать

конструктивные характеристики объектов хранения НСО, физические и химические параметры, характеризующие компонентный состав отходов, а также характеристики режимов функционирования технологических процессов переработки, логистические и другие факторы. Как показали Vlachokostas Ch., Michailidou A.V., Achillas Ch., указанная проблема обычно решается с помощью методов многофакторного анализа, позволяющих проводить сравнительную оценку технологий с учётом указанных факторов, влияющих на оценку эффективности.

Решений в области использовании отходов как энергетических ресурсов обычно принимаются на основе метода анализа иерархий T. Saaty и аналогичных методов (ELECTRE, PROMETHEE, TOPSIS и т.д.), которые имеют существенный недостаток, заключающийся в субъективности определения сравнительных оценок и весовых коэффициентов, назначаемых экспертами. Полученные в диссертации научные результаты свободны от субъективных оценок экспертов, поскольку в них используется новый подход к многофакторному анализу и оптимизации по различным критериям качества системы переработки НСО в нефтегазовой промышленности на основе метода Data Envelopment Analysis (DEA). Метод DEA, который широко известен по исследованиям в области многофакторной оценки эффективности производственных и экономических систем по работам Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E., Farrell M.J., Zhu J., Forsund F.R., Кривоножко В.Е., Ратнер С.В., Лычева А.В. и др., для решаемых в работе задач применяется впервые.

На основе анализа научных и информационных источников по тематике диссертации можно утверждать, что в современной практике преобладает утилитарный подход к определению ресурсного потенциала НСО, который, как правило, не учитывает «рыночные» факторы определения стоимости применения технологий переработки НСО. Отсутствие комплексного (системного) подхода к проблеме использования ресурсного потенциала НСО ограничивает возможность перехода на более высокий уровень порядка обращения с отходами.

Учитывая изложенное, актуальной научно-технической задачей является разработка нового подхода к системному многофакторному анализу и оптимизации КП НСО, решение которой возможно при одновременном учете разнородных

экономических, технологических, энергетических, логистических и экологических факторов, характеризующих организацию и функционирование системы переработки отходов в нефтегазовой промышленности.

Объектом исследования является сложно-структурированный комплекс переработки НСО в нефтегазовой промышленности, включающий хранилища отходов и технологические установки для их переработки.

Целью работы является разработка теоретических и системно-методических основ для решения актуальных проблем повышения эффективности по комплексным критериям качества функционирования КП НСО в нефтегазовой промышленности. Для достижения указанной цели в диссертации решаются следующие **задачи**:

1. Разработка методики системного анализа и оптимизации комплексной переработки НСО в нефтегазовой промышленности.

2. Разработка и обоснование проблемно-ориентированных моделей для определения оценок эффективности сложно-структурированного комплекса переработки НСО по разнородным технологическим, энергетическим, логистическим и экологическим факторам, характеризующих организацию и функционирование системы переработки отходов в нефтегазовой промышленности.

3. Разработка и обоснование методов и алгоритмов многофакторного анализа системы комплексной переработки НСО в нефтегазовой промышленности с целью выявления ее принципиальных структурных закономерностей, количественного и качественного оценивания основных системных характеристик и свойств.

4. Разработка и обоснование алгоритмов и процедур оптимизации систем комплексной переработки НСО в нефтегазовой промышленности по различным критериям качества.

5. Создание специализированного программного обеспечения для апробации и реализации разработанных методик системного анализа и оптимизационных алгоритмов и процедур для сложно-структурированных систем комплексной переработки НСО в нефтегазовой промышленности.

6. Разработка и обоснование алгоритма выбора и принятия управленческих решений в сложно-структурированной системе переработки НСО в нефтегазовой промышленности.

7. Апробация разработанных методик, методов и алгоритмов, оценка технико-экономической эффективности полученных результатов и разработка рекомендаций по их практическому использованию.

Методы исследования. Для решения поставленных в диссертационной работе задач использовались методы системного анализа, оптимизации, математического моделирования, математического программирования, DEA-метод, методы анализа и обработки данных.

Работа соответствует предметной области исследования научной специальности 2.3.1 - Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (пункты паспорта специальности 1–5).

Научная новизна заключается в разработке и теоретическом обосновании нового подхода к системному многофакторному анализу и оптимизации КП НСО.

В работе получены следующие **научные результаты**, обладающие научной новизной:

- Предложена новая методология решения актуальной проблемы переработки нефтесодержащих отходов, основанная на интеграции методов системного анализа и оптимизации, которая обеспечивает значительное улучшение показателей качества работы промышленных комплексов в нефтегазовой отрасли и снижение их экологического воздействия на окружающую среду.
- Предложена и апробирована не имеющая известных аналогов методика системного анализа и оптимизации комплекса переработки отходов, в котором хранилища НСО и технологии их переработки являются элементами единой системы, определяющими ключевые свойства и структурные закономерности ее функционирования. Методика включает теоретически обоснованные последовательные этапы разработки моделей для определения оценок эффективности, многофакторного анализа, оптимизации и принятия решений, на каждом из которых математический аппарат DEA метода впервые

используется в задачах управления переработкой отходов в нефтегазовой промышленности.

- На основе метода DEA разработаны и обоснованы новые модели для определения оценок эффективности сложно-структурированных комплексов переработки НСО, ориентированные на задачи многофакторного анализа и оптимизации. Эти модели, в отличие от известных, позволяют объективно анализировать сложные многостадийные процессы переработки отходов, учитывая многообразные взаимосвязи между технико-экономическими, технологическими, ресурсными, логистическими, энергетическими и экологическими параметрами.
- Разработаны, обоснованы и апробированы новые методы и алгоритмы решения задач многофакторного анализа системы комплексной переработки НСО, которые, в отличие от известных, позволяют качественно и количественно оценить её функциональные и масштабные характеристики на основе ряда ключевых критериев: ресурсной ценности и потенциала, экологической безопасности, эффективности использования ресурсов и энергии, а также общей эффективности системы.
- Впервые предложен оригинальный подход к оптимизации систем комплексной переработки НСО в нефтегазовой отрасли, в котором комбинация "хранилище-технологическая установка" рассматривается как центральный объект сравнения. Это позволило разработать и теоретически обосновать новые алгоритмы и процедуры решения задач оптимизации, направленные на достижение максимальной эффективности и экологической безопасности технологических процессов переработки отходов.
- Разработано не имеющее известных аналогов специализированное программное обеспечение, включающее библиотеку модулей и оптимизационных процедур, предназначенное для апробации и реализации разработанных методик системного анализа, алгоритмов многофакторного анализа и оптимизации сложно-структурированных систем комплексной переработки НСО нефтегазовой промышленности.

- Впервые разработан и обоснован алгоритм выбора и принятия управленческих решений в сложно-структурированной системе переработки НСО, который, в отличие от известных, позволяет всесторонне анализировать оперативную ситуацию, прогнозировать последствия различных управленческих действий и выбирать оптимальные стратегии управления на основе комплексной оценки текущего состояния производственных процессов и доступных ресурсов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методика системного анализа и оптимизации комплекса переработки НСО в нефтегазовой промышленности.

2. Построенные на основе DEA метода проблемно-ориентированные модели для определения оценок эффективности в задачах многофакторного анализа и оптимизации сложно-структурированного комплекса переработки НСО.

3. Методы и алгоритмы решения задач многофакторного анализа сложно-структурированной системы переработки НСО для количественной и качественной оценки ее функциональных и масштабных характеристик.

4. Алгоритмы и процедуры решения задачи оптимизации комплекса переработки НСО по разнородным критериям, обеспечивающим максимальную эффективность технологических и экологическую безопасность процессов переработки отходов.

5. Специализированное программное обеспечение для апробации и реализации разработанных методик системного анализа, методов и алгоритмов многофакторного анализа и оптимизации комплекса переработки НСО в нефтегазовой промышленности.

6. Алгоритм выбора и принятия управленческих решений в сложно-структурированной системе переработки НСО для повышения эффективности управления в нефтегазовой промышленности на оперативном и стратегическом уровнях.

Теоретическая и практическая значимость. В диссертации разработан новый подход к системному многофакторному анализу и оптимизации сложно-структурированного комплекса переработки НСО на основе метода DEA,

включающий последовательный учёт критериев ресурсного потенциала, ресурсо- и энергосбережения, экологической безопасности и комплексной эффективности на разных стадиях решения задач математического программирования. Предлагаемый подход может использоваться для широкого круга задач многофакторного анализа и многокритериальной оптимизации сложных систем, обеспечивая снижение трудоемкости и позволяя получить результаты вычислений в удобной для практического использования относительной форме.

Разработанные методика системного анализа, проблемно-ориентированные модели для определения оценок эффективности, методы, алгоритмы и процедуры многофакторного анализа, оптимизации, выбора и принятия решений, программное обеспечение могут быть использованы отдельно или совместно для решения конкретных задач по переработке НСО в нефтегазовой отрасли в различных регионах РФ, а также в других отраслях промышленности для выбора оптимальных режимов работы установок первичной переработки нефти, технологий производства дорожного битума, водорода и продуктов на его основе, переработки техногенных отходов.

Реализация результатов исследований. Полученные в работе теоретические положения и практические результаты использованы при выполнении НИР:

- по проектам РФФИ: «Научно-технические основы системного анализа и многокритериальной оптимизации сложно-структурированной системы переработки техногенных отходов нефтеперерабатывающих и нефтегазохимических предприятий» (№20-08-00353, 2020-2022 гг.); «Разработка методов математического моделирования и управления по системным критериям качества тепло- и массообменными процессами в автономных объектах и технологической теплофизике» (№20-08-00240, 2020-2022 гг.);
- в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы»: «Разработка энергосберегающей технологии производства окисленных нефтяных битумов в условиях сонохимической активации» (проект

№14.577.21.0209, 2016-2018 гг.); «Разработка научных основ технологии и конструирования оборудования генерации водорода для производства метановодородной смеси и нужд водородной энергетики» (Соглашение от 02.12.2019 г. № 05.607.21.0311, 2019-2020 гг.);

- в рамках проектной части государственного задания Минобрнауки РФ по проекту «Оптимизация по критериям ресурсной ценности, энергосбережения и экологической безопасности организационно-технической системы утилизации отходов нефтегазового комплекса» (проект №10.3260.2017/ПЧ, 2017-2019 гг.) и при выполнении темы № АААА-А12-2110800012-0 (2022-2024 гг.).

Внедрение результатов работы. Разработанные методы и алгоритмы решения задач многофакторного анализа и оптимизации по разнородным критериям, специализированное программное обеспечение и алгоритм поддержки принятия управленческих решений по переработке НСО внедрены в ООО «Самарская Битумная Компания» (г. Самара), ООО «Экоинтех» (г. Нефтеюганск, ХМАО), ООО «ТрансОйл» (г. Нижний Новгород), ООО «Отрадное» (г. Отрадный, Самарская обл.) (Приложение А). Разработанное программное обеспечение и базы данных переданы по 8 лицензионным договорам и используются Институтом проблем управления сложными системами Российской академии наук – обособленным подразделением Федерального государственного бюджетного учреждения науки Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИПУСС РАН - СамНЦ РАН) и ООО «Технологические покрытия» (Приложение Б). Материалы диссертационного исследования используются в учебном процессе в ФГБОУ ВО «СамГТУ» при подготовке бакалавров по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» и магистров по направлению 13.04.01 «Оптимизация и интеллектуализация автоматизированных процессов управления в теплоэнергетике и энерготехнологиях» (Приложение В). Экономический эффект, подтвержденный актами внедрения, составил 5 млн. руб.

Достоверность и обоснованность полученных результатов. Достоверность полученных в диссертационном исследовании научных результатов обеспечивается

корректным применением методов системного анализа, математического моделирования, математического программирования, DEA-метода, методов анализа и обработки данных.

Обоснованность полученных в работе научных результатов и выводов подтверждается анализом технико-экономического эффекта их применения при выполнении НИР, внедрением и использованием методов и алгоритмов решения задач многофакторного анализа, оптимизации, принятия решений, специализированного программного обеспечения на предприятиях нефтегазовой промышленности и в ИПУСС РАН - СамНЦ РАН, что подтверждается соответствующими актами и лицензионными соглашениями.

Апробация результатов. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Международная научно-техническая конференция "Автоматизация" (RusAutoCon), (Сочи, 2022 г.); International science and technology conference "Earth science" (Earth science), (Владивосток, 2022 г.); 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (Summa), (Липецк, 2021 г.); International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies (FarEastCon), (Владивосток, 2019-2021 гг.); Международная научная конференция "Математические методы в технике и технологиях" (Казань, 2020 и 2024 г.); III, IV, V International Scientific and Technical Conference "Energy Systems" (ICES), (Белгород, 2018-2020 г.); 2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP-2019), (Самара, 2019 г.); International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES), (Грозный, 2019 г.); Региональная научно-практическая конференция по экологии «Инновации и "зеленые" технологии», (Самара, 2018 г.); Международная научно-практическая конференция «Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли», посвященной 60-летию высшего нефтегазового образования в Республике Татарстан, (Альметьевск, 2016 г.). В рамках Казанской мультиконференции ММТТ-37 (Казань, 2024 г.) диссертация представлена на заседании квалификационной секции (Приложение Г).

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в 42 печатных работах, из них 9 статей в рецензируемых журналах из перечня ВАК: [1–9]; 5 статей в рецензируемых журналах, индексируемых в системах Web of Science и Scopus: [10–14], 16 публикаций в других изданиях, сборниках научных трудов, материалов конференций разного уровня: [15–30], 7 свидетельств государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных [31–37], 3 учебных пособия.

Личный вклад автора. Основные положения и результаты диссертационной работы получены автором лично. Постановка научной проблемы, постановка и решение задач исследования, непосредственное выполнение основной части работ, выполненных в соавторстве, принадлежат автору. В [5; 6; 9; 12–30] автором разработаны методика и алгоритмы многофакторного анализа и оптимизации, осуществлена постановка задач математического программирования, проведено обоснование полученных результатов применительно к рассматриваемой предметной области. В [4; 7; 8; 10; 11] автором разработаны подходы к системному анализу, реализована методика решения задач исследования. В [31–37] автором разработаны информационная модель баз данных, модулей для расчёта оценок эффективности и оптимизации. Работы [1–3] выполнены без соавторов.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5-ти глав, заключения, библиографии и 4-х приложений. Общий объем диссертации составляет 300 страниц, включая 73 рисунка и 63 таблицы. Библиографический список включает 171 наименование.

1 Анализ современного состояния переработки нефтесодержащих отходов в нефтегазовой промышленности Российской Федерации

В данной главе представлены результаты анализа современного состояния переработки нефтесодержащих отходов в нефтегазовой промышленности Российской Федерации, позволяющие оценить актуальность и степень разработанности темы диссертационного исследования. Раскрываются системные проблемы переработки нефтесодержащих отходов, результаты анализа подходов к решению задач по переработке нефтесодержащих отходов в нефтегазовой промышленности и содержательная постановка задачи диссертационного исследования. Рассмотренные в главе результаты анализа использованы для написания обзоров литературы и обоснования актуальности во всех авторских публикациях.

1.1 Системные проблемы переработки нефтесодержащих отходов

По объему добычи нефти и природного газа Российская Федерация является одним из мировых лидеров: ежегодный объем добычи нефти составляет около 550 млн тонн, природного газа – 670 млрд куб м [38]. Нефтегазовая промышленность оказывает значительное влияние на экономику страны, обеспечивая за период 2019-2023 гг. в среднем 17% ВВП [39], но при этом она оказывает серьезное негативное влияние на экологическую ситуацию [40]. В процессе хранения, транспортировки и использования нефти и нефтепродуктов, в том числе при зачистке средств транспортировки и оборудования для хранения и использования нефти и нефтепродуктов, а также при очистке нефтесодержащих сточных вод, образуются нефтесодержащие отходы (НСО), состоящие из смеси различных по составу и физико-химическим свойствам углеводородов, механических и минеральных примесей и прочих сопутствующих нефтегазовой отрасли компонентов [41].

По данным Росстата с 2003 по 2022 годы в Российской Федерации образовалось около 93,6 млрд тонн отходов производства и потребления, из

которых 2,6 млрд тонн (2,8%) относятся к опасным (с I по IV класс) [42]. По данным Федерального классификационного каталога отходов (ФККО) [43] в 2024 году насчитывается 367 видов НСО во всех сферах производства и потребления, в том числе 173 вида НСО в нефтегазовой промышленности, классификация которых по источникам образования представлена на рисунках 1.1 и 1.2.

Большая часть НСО относится к III (93 вида НСО) и IV (77 видов НСО) классам опасности (Рисунок 1.3) и образуется при добыче сырой нефти и природного газа, включая газовый конденсат нефтяного (попутного) газа, пластовую воду, нефтесодержащую эмульсию при очистке и осушке природного газа и/или газового конденсата, отработанные буровые растворы и шламы, сточные воды и отходы ремонта оборудования. Класс опасности отходов определяет степень приносимого ими потенциального вреда окружающей среде, жизни и здоровью человека [44].

Компонентный состав и агрегатное состояние НСО в случае отсутствия длительного хранения варьируются в известных, но достаточно широких пределах, что с одной стороны позволяет использовать существующие на предприятиях нефтегазовой промышленности технологии переработки НСО [45; 46], однако, не гарантирует, что принятые управленческие решения являются оптимальными. Как видно из рисунка 1.4, агрегатные состояния анализируемых НСО подразделяются на 19 видов: от различных дисперсных систем и жидких эмульсий до пастообразного и твёрдого состояния. Представленное многообразие агрегатных состояний НСО накладывает ограничения на применяемые технологии утилизации и обезвреживания.

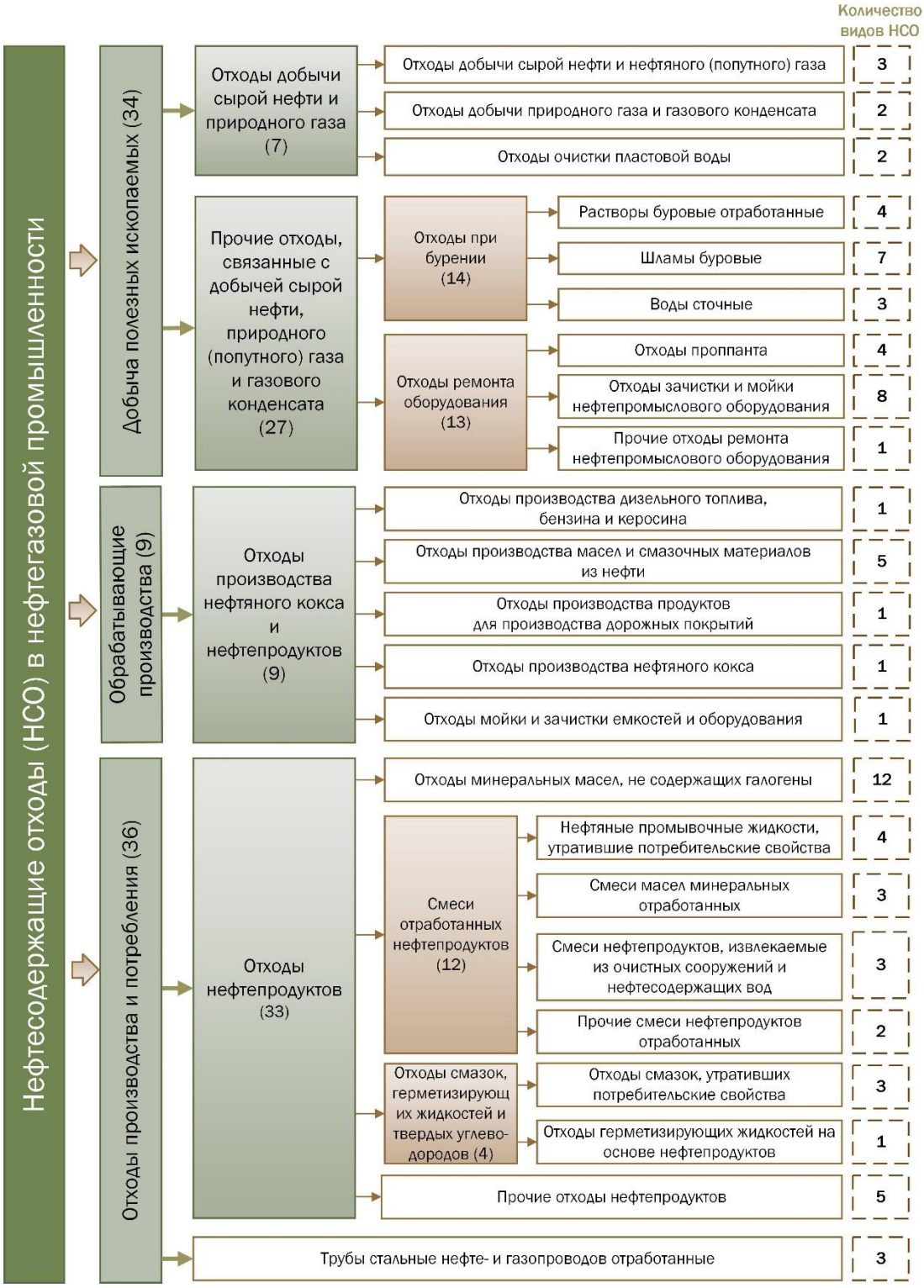


Рисунок 1.1 – Классификация НСО по источникам образования

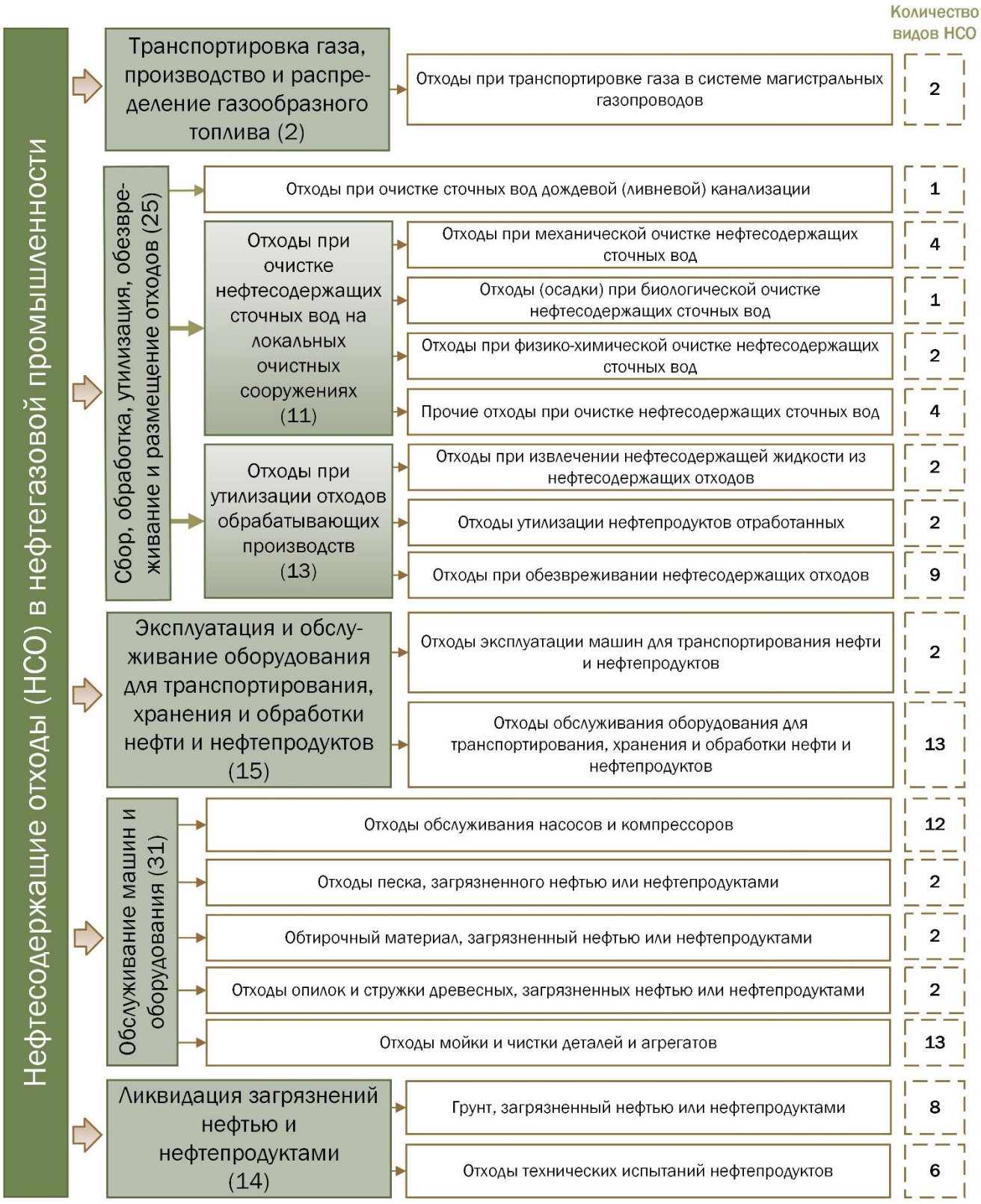


Рисунок 1.2 – Классификация НСО по источникам образования (продолжение)

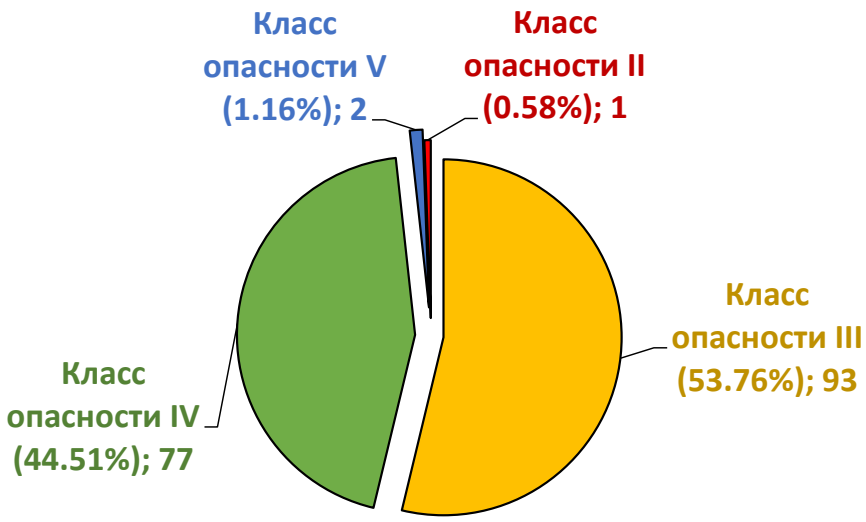


Рисунок 1.3 – Распределение НСО по классам опасности

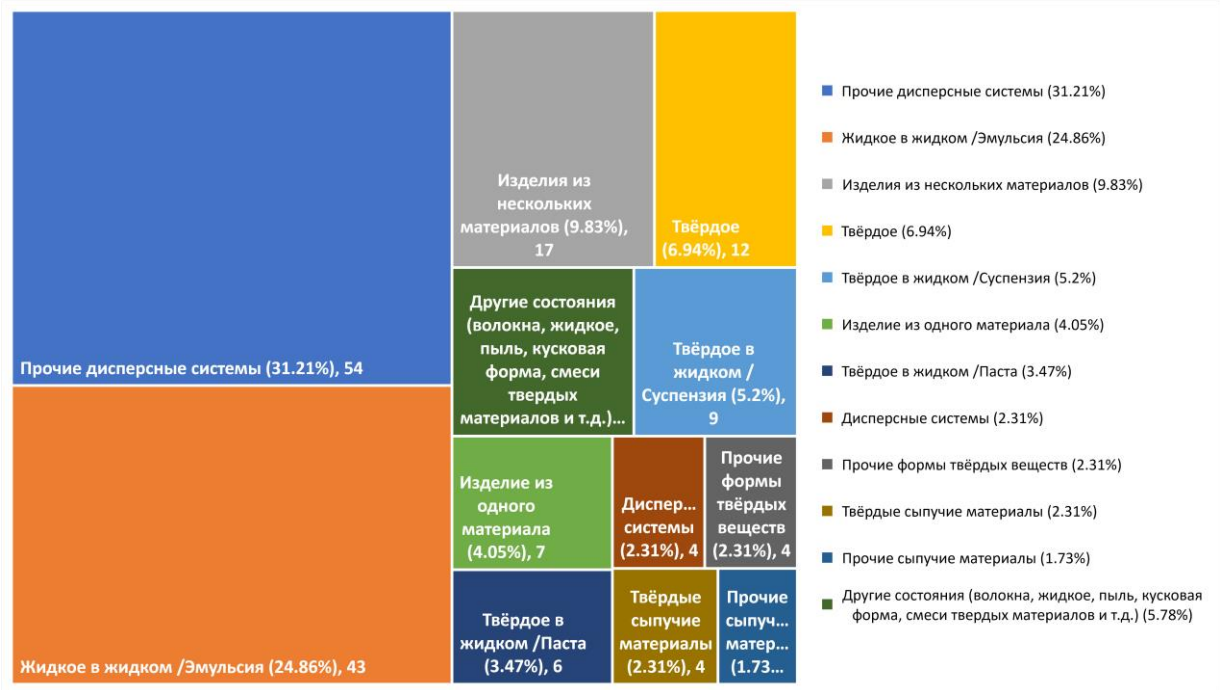


Рисунок 1.4 – Распределение НСО по агрегатному состоянию

Основными факторами образования НСО и их негативного влияния на окружающую среду являются производственная деятельность нефтегазовых предприятий, техногенные катастрофы, аварийные ситуации и износ хранилищ отходов. Источниками воздействия на природные среды являются скважины, кустовые насосные стации, групповые замерные установки, трубопроводы системы

сбора и транспорта продукции скважин, факельные устройства, товарные парки резервуаров нефти, установки подготовки нефти, нефтеналивные пункты и другие объекты [47]. По данным Минприроды РФ масса загрязненного НСО грунта ежегодно увеличивается в среднем на 510 млн тонн [48], и при этом попутное и вторичное углеводородное сырье общей массой до 25 млн тонн сжигается, разливается и закапывается в землю [49].

Согласно действующему в Российской Федерации законодательству [44; 50], НСО подлежат обезвреживанию, утилизации или захоронению в специально оборудованных хранилищах, исключающих проникновение экологически вредных веществ в природные среды (реки, водоемы и почву). Обезвреживание отходов предусматривает уменьшение массы отходов, изменение их состава, физических и химических свойств (включая сжигание, и (или) обеззараживание на специализированных установках) в целях снижения негативного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую среду. Утилизация отходов заключается в использовании НСО для производства товаров (продукции), выполнения работ, оказания услуг, включая повторное применение отходов по прямому назначению (рециклинг), их возврат в производственный цикл после соответствующей подготовки (регенерацию) и извлечении полезных компонентов для их повторного применения (рекуперацию). Под переработкой НСО понимается процесс обращения с отходом (обезвреживание и (или) утилизация) с целью получения полезных компонентов из отхода и их использования в технологиях рециклинга, рекуперации или регенерации. Захоронение отходов производится в тех случаях, когда на предприятии отсутствуют технологии для переработки отходов или их применение к конкретному виду отхода в текущий момент невозможно.

Компонентный состав НСО характеризуется широким диапазоном изменения углеводородов (5-90%), воды (1-80%), твердых механических примесей в виде песка, глины, ржавчины и т.д. (0,8-65%). Физико-химические характеристики НСО также меняются в широких пределах: плотность от 830 до 1700 кг/м^3, температура застывания от –3 до +50°С, температура вспышки от 35 до 120°С. Компонентный

состав и физико-химические характеристики НСО зависят не только от источника образования отходов, но и от организации содержания и контроля их накопления в хранилищах. В хранилищах могут происходить естественные процессы накопления атмосферных осадков, фазового разделения, развития микроорганизмов, окисления и другие процессы [51–53]. Верхний слой НСО является наиболее предпочтительным для рециклинга, поскольку он содержит относительно лёгкие жидкие углеводороды (малообводненную нефть) с относительно невысоким массовым содержанием механических примесей: от 0,5 % (для ловушечных нефтей) до 1,5 % (для амбарных нефтей) [54]. Для переработки таких НСО в основном используются физические методы (очистка от примесей и обезвоживание). Средний слой НСО в основной массе представляет смесь воды с мелкодисперсной эмульсией сложного типа («прямая» и «обратная») с массовым содержанием воды 70–95 % и механических примесей 1,5–15,0%, причём распределение воды и механических примесей по объему хранилища является неравномерным. Нижний (придонный) слой НСО состоит из 75% влажной твердой фазы, включающей нефтепродукты (до 5–10 %) и воду (до 25 %) [54]. Содержание нефтепродуктов в слоях отхода относительно постоянно, количество механических примесей растет с глубиной расположения слоя, при этом в нижних слоях сосредотачиваются тяжёлые фракции углеводородов и сопутствующие нефти элементоорганические соединения, смолы, асфальтены и частицы твёрдой минеральной фазы. Смолы и асфальтены в составе нефти определяют во многом её физические свойства и химическую активность [55; 56]. Поэтому широкие изменения физико-химических характеристик, компонентного состава и агрегатного состояния отхода в хранилищах и накопителях могут значительно усложнить выбор технологии для переработки НСО.

По данным Росстата с 2018 по 2023 год в секторах добычи нефти и газа и предоставления услуг в этой сфере среднегодовая масса образованных НСО составила 14,4 млн тонн (рисунок 1.5), из которых утилизации подверглись только 4,17 млн тонн (31,68%) (рисунок 1.6), а остальная часть, которая была размещена в специализированных хранилищах, подлежит захоронению на специальных

полигонах [42]. Общее количество таких полигонов уже превысило 20 тысяч штук, и общая их площадь ежегодно увеличивается примерно на 400 тысяч га [48]. Основной технологией утилизации является сжигание [41], что усиливает вредный антропогенный эффект на окружающую среду.

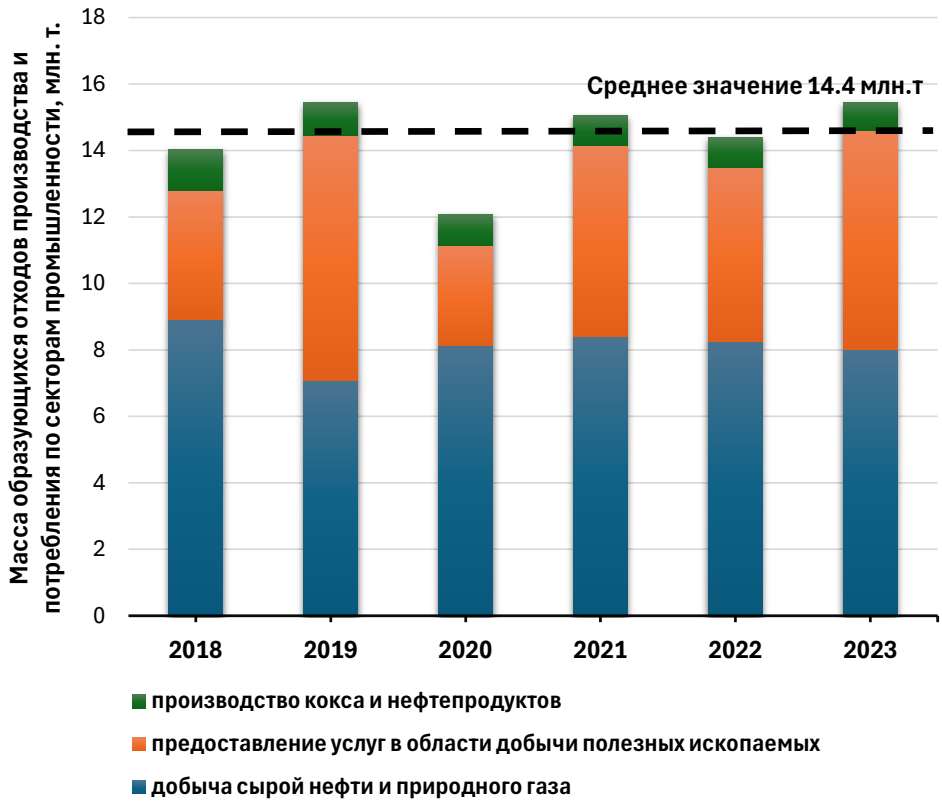


Рисунок 1.5 - Образование отходов производства и потребления в отдельных секторах нефтегазовой промышленности за период 2018–2023 гг.

Анализ мирового опыта обращения с промышленными НСО показывает, что за счёт применения современных технологий и обоснованных управленческих решений долю переработки можно довести до 90% [45; 57]. Недостаток отечественных инновационных технологий переработки, отсутствие целевого системного подхода к проблемам рационального использования и обращения с НСО являются основными причинами низкой эффективности использования отходов в нефтегазовой промышленности Российской Федерации.

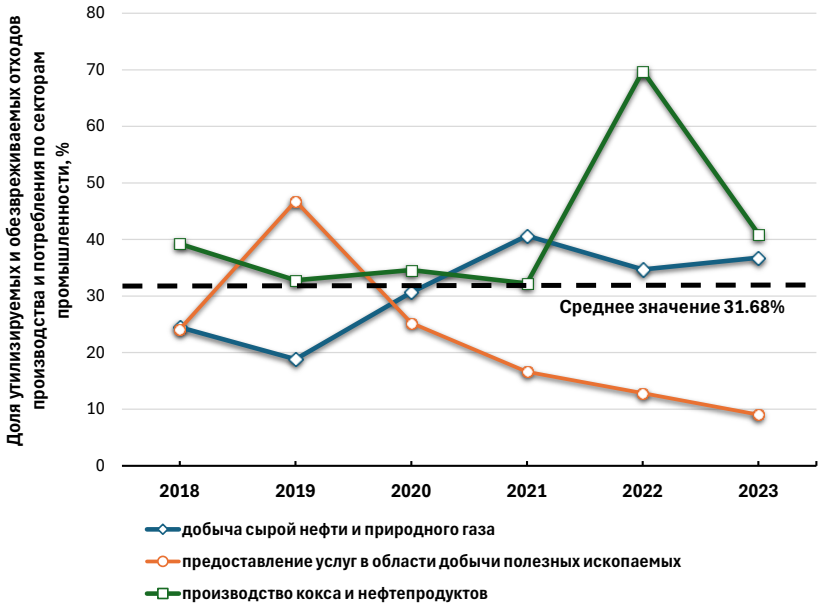


Рисунок 1.6 - Доля утилизируемых и обезвреживаемых отходов производства и потребления в отдельных секторах нефтегазовой промышленности за период 2018–2023 гг.

В условиях усиливающейся международной конкуренции развитие нефтегазовой промышленности должно удовлетворять современным тенденциям, требующим инновационных наукоемких подходов к вовлечению НСО в хозяйственный оборот в качестве вторичных материальных ресурсов при обеспечении максимальной энергоэффективности производственного цикла и его экологической безопасности.

В настоящее время на рынке представлен широкий спектр технологий (технологических установок) для утилизации и обезвреживания НСО. Каждая технология реализует один или несколько методов переработки НСО.

Анализ сравнительных характеристик, достоинств и недостатков, эффективности способов утилизации НСО, проведенный в работе [58], позволил выделить основные технологии утилизации и обезвреживания нефтешламов различного происхождения, учитывающие особенности их состава и свойств, в результате применения которых образуются экологически безопасные продукты утилизации.

Термический метод обезвреживания НСО рассмотрен в [59], где проведен комплексный анализ перерабатываемых отходов и вторичных материальных ресурсов в виде золы, предложены меры по экономии ресурсов и рекомендации по улучшению технологии. В [60] проводится анализ технологического процесса утилизации нефтешламов (одного из основных видов НСО) посредством их сжигания в установке УУН-0,8, которая представляет собой печь барабанного типа, предназначенную для переработки замазученых грунтов, НСО, образующихся при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов, нефтешламов, отработанных масел и др. Модификация термического метода утилизации нефтешламов предложена в работе [61]. Рассмотрена схема образования, утилизации и вовлечения в производство нефтешламов. Изложены наиболее широко распространенные комбинации методов обезвреживания и переработки нефтяных шламов и негативные последствия использования обводненных топлив для теплоэнергетического оборудования. Для эффективного обезвоживания водосодержащих нефтяных отходов предложен способ обезвоживания на основе утилизации теплоты низкопотенциальных теплоносителей котельных. Конечный обезвоженный продукт возможно использовать в качестве присадок к котельному топливу без существенного снижения теплотехнических характеристик процесса горения. В [62] показано, что до настоящего времени наиболее распространенным методом утилизации НСО является сжигание. Устройства, работающие на основе электрогидродинамического метода диспергирования, наиболее эффективны при создании топливных эмульсий. Предложена технологическая схема создания топливных эмульсий в условиях мазутных котельных, позволяющая решить проблему эффективного обезвреживания воды, загрязненной нефтепродуктами.

В работе [63] представлена технология утилизации обезвоженного нефтешлама с использованием процесса термолиза. Нагрев перерабатываемого сырья предложено проводить при температуре ниже 550ºС по заданной программе с различными скоростями нагрева по участкам и осуществлять улавливание продуктов термолиза (газа, жидких продуктов термолиза, водного конденсата, твердого остатка).

В работе [64] переработку нефтесодержащих отходов предлагается осуществлять на малогабаритной установке УППН-1.6-2.5-У1 производительностью 2,4 т/сут. В результате низкотемпературного пиролиза на трех установках вырабатываются ежегодно 355 т бензиновой фракции, 544 т дизельной фракции и 415 т котельного топлива. Производительность установки составляет 800 кг на одну загрузку, при этом выход бензиновой фракции составляет 13,7%, а дизельной фракции - 21%. Благодаря мощности установки, равной 13 кВт, существует возможность применения солнечных и ветряных подстанций в качестве источников энергии. Указано, что физико-химические методы утилизации нефтешламов, в отличие от термических методов, позволяют повысить ресурсовосстановление, снизить вредные выбросы в атмосферу, сократить экономические затраты на топливо и оборудование. Метод низкотемпературного пиролиза углеводородных отходов позволяет получить основные компоненты топлив для печей и двигателей внутреннего сгорания [65]. Фракции, содержащие большое количество асфальто-смолистых веществ, применяют в качестве компонентов дорожных битумов. Поскольку количество перерабатываемых нефтешламов намного меньше, чем объемы переработки вторичных продуктов нефти, целесообразно включать утилизирующие установки в схему нефтеперерабатывающих заводов.

В работах [66; 67] в целях совершенствования технологий утилизации нефтешламов экспериментально доказана возможность получения вторичного газойля в процессе термического обезвоживания жидких нефтешламов в токе инертного газа. Определены основные показатели качества полученных продуктов и оценена возможность вовлечения газойля нефтешлама в сырье процесса гидроочистки дизельных фракций.

В целях создания экологически безопасных малоотходных технологий утилизации нефтешламов разработана технология их переработки путём вакуумной перегонки и окисления с получением окисленного вторичного продукта, близкого по характеристикам к стандартному дорожному битуму [68]. В работе [69] описан эксперимент, демонстрирующий возможность использования кубовых

остатков выделения дизельных фракций нефтешламов в составе мелкозернистых асфальтобетонов на основе инертных материалов из изверженных и осадочных горных пород. Установлено, что асфальтобетоны на основе щебёночных материалов из осадочных горных пород обладают хорошими физико-механическими свойствами, что объясняется лучшим сцеплением асфальтового вяжущего компонента с ними.

В работе [70] предложен способ переработки нефтешламов с использованием метода реагентного капсулирования, который заключается в перемешивании отхода с реагентом – негашеной известью – и модификаторами в смесителе или смесителе-грануляторе. После вызревания в течение суток и более образующиеся гранулы обладают высокой прочностью, и скорость выделения содержащихся в капсуле загрязняющих веществ (углеводородов, тяжелых металлов) в окружающую среду снижается в сотни раз по сравнению с исходным шламом. В результате шлам превращается в сыпучий материал, каждая частица которого покрыта мелкокристаллической коркой (оболочкой) из карбоната кальция. Приведены практические результаты по получению и использованию в качестве подсыпки под резервуары типа РВС капсулированнного материала, полученного при обезвреживании нефтепарафиновых осадков в ОАО «Северные магистральные нефтепроводы» в г. Ухта. Указано, что прочность карбонатных оболочек растет со временем, механического разрушения и выделения нефтепродуктов не происходит, токсичность отсутствует. Это свидетельствует о высокой эффективности метода реагентного капсулирования и о перспективности его использования для обезвреживания нефтесодержащих отходов [71]. В работе [72] также рассматривается способ обезвреживания нефтесодержащих отходов, основанный на методе реагентного капсулирования. Приведены рекомендации других авторов по подбору соотношения компонентов, участвующих в химической реакции при обезвреживании нефтесодержащих отходов. Представлены результаты эксперимента, моделирующего разлив моторного масла при аварии автотранспорта в процессе эксплуатации. Даны рекомендации по подбору оптимального соотношения компонентов, необходимых для осуществления процесса

обезвреживания в полном объеме. В работе [73] исследованы образцы нефтяного шлама НПЗ, определен их фазовый состав, содержание тяжелых металлов и серы, рассчитан III класс опасности отхода. Разработан способ утилизации отходов, в составе обезвреживающей композиции содержится оксид кальция, модификатор и углеродный сорбент, полученный пиролизом изношенных автомобильных шин. Определен IV класс опасности продукта утилизации, и обосновано применение его в качестве активированного минерального порошка при производстве асфальтобетона. В работе [74] предложено комплексное решение проблемы утилизации нефтесодержащих отходов путем разработки технологии обезвреживания отходов III класса опасности методом реагентного капсулирования и утилизации в качестве вторичных материальных ресурсов – органоминеральных добавок, т.е. экологически безопасных новых продуктов, пригодных для использования в качестве вторичных материальных ресурсов в строительстве.

Для обеспечения экологической безопасности в качестве кремнеземсодержащего компонента обезвреживающей композиции использован отработанный сорбент процесса очистки нефтесодержащих сточных вод ОДМ-2Ф, 80–85% которого состоит из оксида кремния. Роль кремнеземсодержащего компонента при обезвреживании заключается в образовании с оксидом и гидроксидом кальция нерастворимых в воде силикатов кальция, снижающих эмиссию загрязняющих веществ из продукта обезвреживания. В [75] установлена экологическая опасность нефтешламов расчетным методом. Приведены данные о реакционной способности отработанного сорбента ОДМ-2Ф с оксидом кальция. Разработаны рецептуры для утилизации отходов реагентным методом на основе оксида кальция и установлена экологическая безопасность продукта утилизации методом количественной тонкослойной хроматографии.

Новые технологические решения для переработки нефтешламов в нефтегазовом секторе России с использованием химического метода обезвреживания НСО рассматриваются в работе [76]. Представлены результаты экспериментального исследования ООО «Газпром ВНИИГАЗ» по подбору препарата обезвреживания и созданию технологической установки по переработки

нефтешламов сложных составов. В результате применения реагентов образуется сухой гидрофобный порошок, представляющий собой частицы нефтешлама, заключенные в известковые капсулы. Продукт утилизации нефтешлама может использоваться для производства асфальтобетонных смесей. Экспериментально подобран рациональный состав асфальтобетонной смеси. Предложена технология утилизации на действующей установке Оренбургского ГПЗ.

Методика утилизации нефтешламов химическим способом на основе отработанных масс – отходов стадии винтеризации растительного масла рассмотрена в работе [77]. Предложено использование отработанных масс в составе обезвреживающей композиции для придания продукту утилизации как гидрофобных свойств за счет восковых веществ, так и малой растворимости в водной среде с более низким pH в результате образования силиката кальция в реакции оксида кремния диатомита с оксидом кальция. Совместное обезвреживание нефтешлама и отработанных масс, выполняющих роль и модификатора, и реагента с сорбционными свойствами, обеспечивает получение экологически безопасных продуктов с минимальной миграцией вредных веществ в окружающую среду, пригодных для последующего использования в качестве вторичных материальных ресурсов.

В работах [78; 79] проанализировано состояние проблемы утилизации кислых гудронов и нефтешламов в России и предложены инновационные варианты их переработки с получением гидрофобной добавки в асфальтобетон, котельного и водоэмульсионного топлива, связующего компонента для приготовления бытового твёрдого топлива из угля, модифицированных битумов, а также жидких, газообразных и твёрдых продуктов их термокрекинга в смесях с горючими сланцами.

В работе [76] указано, что полученный по технологии реагентного капсулирования с использованием оксидов щелочноземельных металлов, рассмотренной ранее в работах [70; 72] продукт представляет собой экологически безопасный порошок, который из-за своей мелкодисперсной структуры имеет ряд недостатков: пылит, трудно дозируется, обладает плохой сыпучестью и, как

следствие, технологически неудобен. Для устранения указанных недостатков мелкодисперсные частицы предложено преобразовать в гранулы оптимального размера; авторами предложены новый способ получения гранулированной гидрофобной добавки (ГГД) и установка для его осуществления. Приведены результаты экспериментального исследования процесса переработки НСО с получением ГГД в асфальтобетон.

В работе [80] с целью интенсификации процесса переработки отходов предложена обработка нефтешламов в центробежном поле с химическим и механическим воздействиями. Представлены результаты экспериментальных исследований по определению состава образцов нефтешламов. В работе [81] отмечается актуальность проблемы обработки осадков НСО и их утилизации. Рассмотрены вопросы обработки шламов и других отходов путем центрифугирования как с предварительной обработкой, так и без нее. Показано, что обработка происходит более эффективно при нагревании отходов, а также при добавлении реагентов. В результате использования центрифуг на стадии обработки указанных отходов удается достигнуть достаточно высокую степень разделения на жидкую и твердую фазы, которые можно использовать с различными целями.

Вопрос разрушения углеводородных эмульсий под действием электромагнитных полей рассмотрен в работе [82]. В обзоре обсуждается современное состояние экспериментальных и теоретических работ по влиянию электромагнитных полей на разрушение водоуглеводородных эмульсий. Рассмотрены результаты воздействия СВЧ- и ВЧ-излучений на эмульсии, обсуждается механизм процесса разрушения. Приводятся результаты опытно-промышленных работ по разрушению нефтешламов с помощью ВЧ-устройств. Сравнительный анализ механизмов разрушения водоуглеводородных эмульсий в результате воздействия СВЧ- и ВЧ-излучений, низкочастотного электромагнитного и постоянного магнитного полей показал влияние низкочастотного электромагнитного и постоянного магнитного полей на стабильность водонефтяных эмульсий. Отмечен синергетический эффект от совместного действия низкочастотного электромагнитного поля и деэмульгатора на разрушение

обратных нефтяных эмульсий. Приводится гипотеза о резонансной дестабилизации водородных связей в мицеллярных структурах под действием низкочастотных электромагнитных излучений.

В работе [83] рассмотрены особенности обезвоживания нефтешламов. Теоретически обосновывается, что одним из основных механизмов обезвоживания водонефтяной эмульсии является эффект поляризации капелек воды под действием внешних электрического и магнитного полей, приводящий к их взаимному притяжению. Получено выражение для времени обработки нефтешламов, позволяющее оценить параметры установки для деэмульсации. Показано, что эффект поляризации водяных капель под действием электромагнитного облучения служит одним из основных механизмов, способствующих их слиянию и, соответственно – деэмульсации.

В работе [84] рассмотрены технологии утилизации нефтешламов, основанные на разделении шлама на составляющие компоненты с применением установки, разработанной Alfa Laval Oil Field, Ltd. Для последовательного удаления крупных и мелких частиц в установке осуществляется фильтрация нефтешлама и его сепарация в двухфазной декантерной центрифуге. В результате использования представленной технологии возможно перерабатывать все виды нефтешламов в ценные товарные продукты.

В работе [85] выполнен анализ современных химических и биологических методов переработки нефтешламов. Отмечено, что химический метод позволяет полностью обезвреживать отходы, а полученные продукты в ряде случаев использовать в качестве строительных материалов. Биологический метод является наиболее экологически чистым, но область его применения ограничивается конкретными условиями: температурой, кислотностью, толщиной нефтезагрязнения, аэробными условиями. Для реализации биологического метода переработки нефтешламов (биодеструкции), который наиболее актуален при очистке почв от нефтезагрязнений, предложено использовать ряд препаратов-биодеструкторов («ПЕТРО ТРИТ», «DECONT», «Деворойл», «Универсал», «Путидойл» и биологически-активные композиции «БАК»). Для интенсификации

процесса биодеструкции нефтешламов рекомендовано проведение предварительного обезвоживания нефтешламов методом центрифугирования в трикантерах.

Для рекультивации НСО в работе [86] предложен состав моющей композиции на основе биоразлагаемых поверхностно-активных веществ и щелочной буферной системы. Специально подобранное соотношение компонентов является оптимальным в результате синергетического эффекта их взаимодействия. Отмытые нефтешламы и грунты не требуют дополнительной очистки и могут быть переработаны в строительные материалы или использованы для подсыпки кустовых площадок и дорог. Загрязненный водный раствор после отмыва нефтешлама подвергается микробиологической очистке коммерческим биопрепаратом. Биодеструкция насыщенных углеводородов в отработанном растворе составляет более 90%. После биодеструкции, вода применяется в рециклинге для отмыва новой порции нефтешлама и других хозяйственных нужд.

В обзорных работах [87–91] представлены различные технологии переработки НСО, рассматриваются классификации источников образования, методов переработки, продуктов переработки, анализируются преимущества и недостатки отдельных технологий утилизации и обезвреживания отходов. Эти работы объединяет «узкий» подход к выбору технологий на основе наиболее подходящих ключевых признаков или характеристик перерабатываемых отходов, игнорирующий многофакторность задачи выбора с учётом экологических, логистических, энергетических и ресурсных ограничений при необходимости выполнения обязательных технологических требований.

Поскольку рассматриваемые методы утилизации и обезвреживания НСО имеют свои особенности, необходим комплексный подход к переработке нефтяных отходов, на что указывается в работах [92–95]. В [93] рассмотрены основные проблемы, существующие в сфере переработки нефтяных отходов, а также предложена схема их комплексной утилизации, которая реализуется Автономной некоммерческой организацией "Международный центр содействия развитию предприятий по переработке нефтешламов" (АНО "МЦ РППНШ"). В работе [94]

предложены направления совершенствования технологий с учетом принципов НДТ (наилучших доступных технологий). Проведен анализ законодательной базы по НДТ в России и странах ЕС, рассмотрены особенности государственного регулирования в области НДТ и основные подходы к формированию комплекса мер по переходу на принципы НДТ. Охарактеризован инновационный подход к разработке технологий переработки отходов, являющихся наилучшими с экологической точки зрения и доступными - с экономической. Выявлены показатели, негативно влияющие на эффективность процесса обезвреживания и пригодность получаемых продуктов к применению в качестве вторичных материальных ресурсов, в частности, в строительной отрасли. В [95] представлен подробный анализ существующих методов, способов и технологий утилизации нефтесодержащих отходов нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. На основе анализа большинства известных способов и технологий утилизации нефтешламов авторами разработана технология комплексного использования различных методов обработки нефтешламов резервуарного типа, при которой углеводороды, вода и механические примеси перерабатываются и возвращаются в технологический рециклинг в соответствии с принципами безотходной технологии.

Анализ научных и информационных источников показал, что весь спектр промышленных технологий переработки НСО обычно классифицируется по двум основным направлениям обращения с отходами: утилизации и обезвреживанию [49; 73; 96–98]. Такие способы классификации не учитывают функции технологий по очистке жидких НСО физическими методами (фильтрации, флотации, гравитационного разделения и др.) в основном от механических и минеральных примесей, которые предназначены, по сути, для восстановления сырья на основе нефтяных углеводородов и его дальнейшего вторичного использования [99; 100]. Кроме того, комбинирование различных технологий переработки НСО может привести к синергетическому эффекту от их применения [100]. Поэтому можно предложить новую классификацию, в которой методы переработки НСО подразделяются на четыре категории: восстановительные, утилизационные,

обезвреживающие и комбинированные (рисунок 1.7). К восстановительным методам переработки НСО относятся физические методы, которые обычно применяются для предварительной очистки в сочетании с другими способами переработки отходов, с целью уменьшения их объема [101]. Физико-химические методы утилизации с использованием высокотемпературной обработки предполагают извлечение нефтяных углеводородов из НСО с высоким содержанием нефти [102; 103]. Химические и физико-химические методы обезвреживания обычно используются для обработки НСО с низким содержанием нефти [104], а обезвреживание загрязненного грунта обычно производят его восстановлением биологическими методами [105]. Комбинированная переработка сочетает различные методы переработки для повышения эффективности утилизации и обезвреживания. Анализ представленных на рисунке 1.7 технологий и их группировка в соответствии с классификацией, принятой в справочной литературе по наилучшим доступным технологиям [106; 107], позволили выявить основные системные проблемы переработки НСО, которые представлены в таблице 1.1.

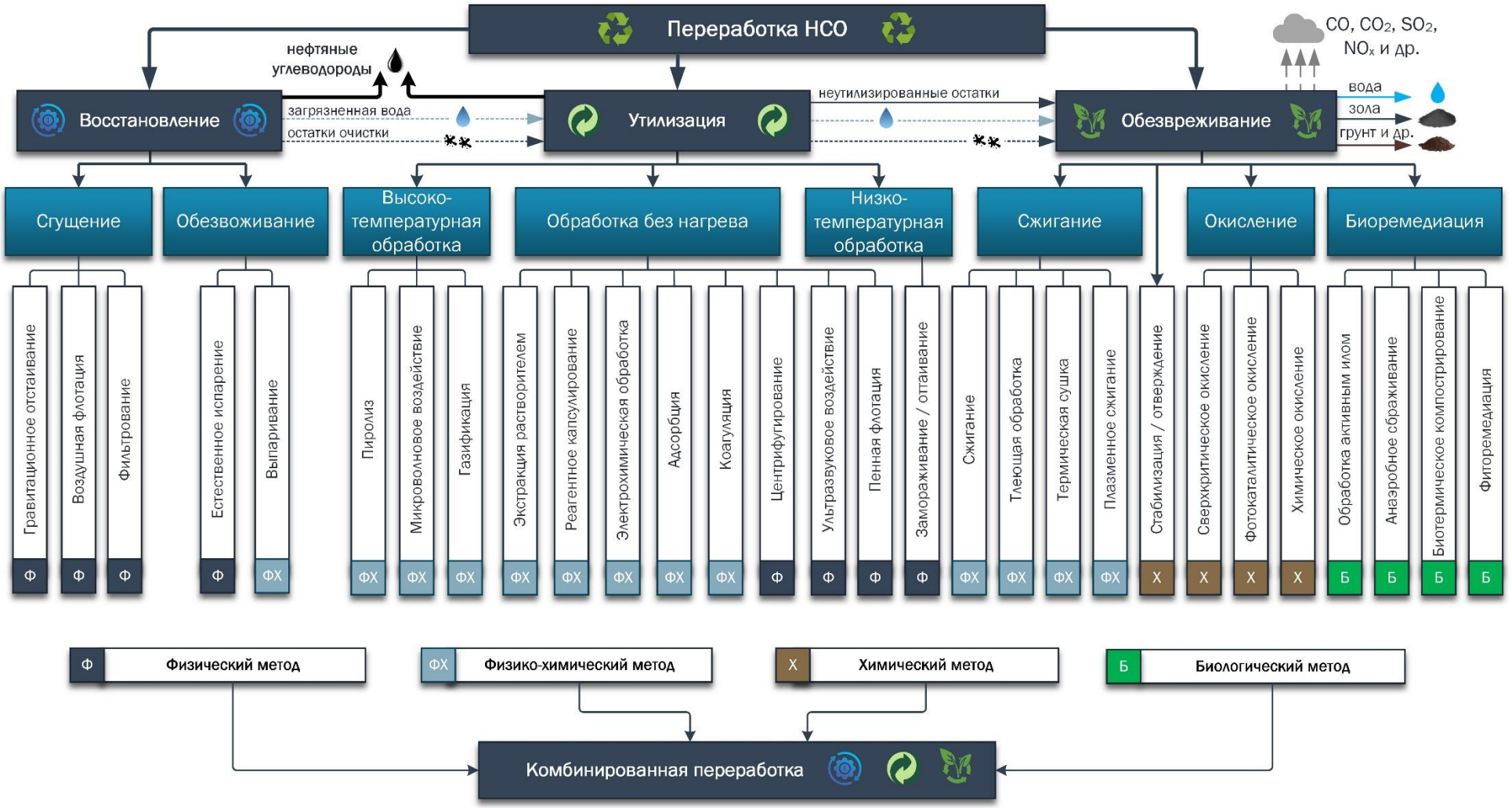


Рисунок 1.7 – Классификация методов и технологий переработки НСО

Таблица 1.1 – Системные проблемы переработки НСО

Группа методов	Методы переработки	Основные проблемы
Физические	Воздействие силовых полей (гравитационное(отстаивание), центробежное, электрическое, магнитное); фильтрация; нагрев, выпаривание, водная промывка.	Длительность процесса отстаивания; образование вторичных отходов; трудоемкость очистки оборудования; низкая степень очистки; выбросы в атмосферу; сбросы сточных вод; возможность применения только к жидким отходам.
Химические	Окисление; экстрагирование с помощью растворителей; отверждение с применением добавок.	Высокая стоимость реагентов; образование вторичных отходов; сбросы сточных вод; применение в основном к жидким отходам с высоким содержанием углеводородов.
Физико-химические	Адсорбция; коагуляция; селективное растворение (ионообменная очистка); экстракция; капсулирование; термовакуумная сушка.	Сложность утилизации адсорбента; сложность оборудования; образование вторичных отходов; сбросы сточных вод; сложность подбора растворителей.
	Сжигание, пиролиз, газификация, методы на основе плазменных источников энергии.	Выбросы в атмосферу продуктов сгорания; образование вторичных отходов; необходимость утилизации теплоты сгорания; физическое воздействие на окружающую среду (шум, запахи и т.д.).
Биологические	Биоремедиация (обработка активным илом, анаэробное сбраживание, биотермическое компостирование, фиторемедиация)	Большая длительность переработки; необходимость подготовки площадки для переработки; выбросы в атмосферу; невозможность организации непрерывной переработки; возможность применения только к твердым отходам (загрязнённый грунт) с низким содержанием углеводородов.
Комбинированные	Комбинация перечисленных методов.	Сочетание перечисленных проблем.

Для устранения указанных в таблице 1.1 проблем и обеспечения рентабельности применяемых технологий переработки необходимо учитывать множество разнородных, часто конфликтующих друг с другом факторов (экологических, логистических, технических, энергетических и др.). Далее в диссертации представлен анализ подходов к решению задач по переработке НСО в

нефтегазовой промышленности, в котором представлены результаты различных исследований по оценке эффективности переработки отходов с учётом их ресурсного потенциала и ресурсной ценности, экономических и экологических факторов.

1.2 Анализ подходов к решению задач по переработке нефтесодержащих отходов в нефтегазовой промышленности

В основу современной техники обращения с отходами положена теория консервации (сохранения) ресурсов. Приоритетное место в порядке обращения с отходами занимают концепции сокращения и повторного использования отходов, основанные на принципах консервации ресурсов и энергии [44]. Эффективность обращения с отходами, в том числе с нефтесодержащими, в рамках таких концепций может оцениваться через ресурсный потенциал отходов, который зависит не только от состава и «качества» отходов, но и от используемых технологий переработки. Практические подходы к использованию ресурсного потенциала НСО заключаются в использовании их энергетического и материального (субстанционального) потенциала.

Для классификации технологий, использующих ресурсный потенциал НСО, можно применить подход, представленный в работе [108], в соответствии с которым рассматриваемые технологии подразделяются на следующие группы:

- технологии выработки тепловой или электрической энергии в процессе утилизации НСО, как правило, основанные на физико-химических процессах [59–66], реализуемых при высоких температурах (сжигание, пиролиз, газификация);

- технологии извлечения углеводородов, содержащихся в НСО, с целью их использования по прямому назначению, которые базируются на физических методах разделения компонентов НСО, таких как центрифугирование [80–82];

- технологии очистки нефтешламов и грунтов путем разложения или связывания находящихся в них углеводородов, в основе которых лежат биологические методы [85; 86; 92; 109] (биоремедиация) или физико-химические методы, предполагающие внесение специальных реагентов и дополнительную обработку отходов [68–72; 74–79; 110] (метод реагентного инкапсулирования).

Рассматриваемый выше подход к классификации технологий, использующий ресурсный потенциал НСО, можно назвать утилитарным, поскольку он предполагает выбор наиболее походящей технологии с точки зрения простоты и надежности ее реализации, учитывающий в первую очередь технологический аспект в переработке отходов.

Происходящий в настоящее время переход от парадигмы управления отходами «waste-based paradigm» к парадигме управления ресурсами «resource-based paradigm» приводит к формированию новой системы оценки эффективности переработки НСО [111], которая учитывает ресурсный потенциал и ресурсную ценность НСО. Ресурсный потенциал НСО представляет собой комплексный количественный показатель возможности эффективного вторичного использования отходов, оцениваемый по совокупности разнородных критериев (технологических, энергетических, логистических, технико-экономических, экологических и др.). Одним из частных количественных показателей оценки эффективности повторного использования отходов, является ресурсная ценность НСО. Под ресурсной ценностью отходов понимается количественная оценка их физико-химического состава и свойств, определяющая степень пригодности отходов для использования в качестве материальных ресурсов в технологиях вторичной переработки, связанных с их рециклингом, рекуперацией и регенерацией [112].

Для оценки потенциала повторного использования («reuse potential») отходов можно использовать шкалу (Рисунок 1.8), представленную в [113], также отображающую его ресурсный потенциал. Согласно такому подходу, потенциал повторного использования отхода определяется в диапазоне от 0 («Как отход») до 1 («Как ресурс»). В той же работе представлена методика расчета потенциала повторного использования отходов с учетом стоимостных оценок, полученных в результате переработки полезных компонентов с учётом затрат на их извлечение. Согласно такой методике, к ресурсам относится та часть компонентов, затраты на извлечение которых (с учетом конкретной технологии) ниже предельной цены их реализации (Рисунок 1.9). Оставшиеся компоненты относятся к отходам.

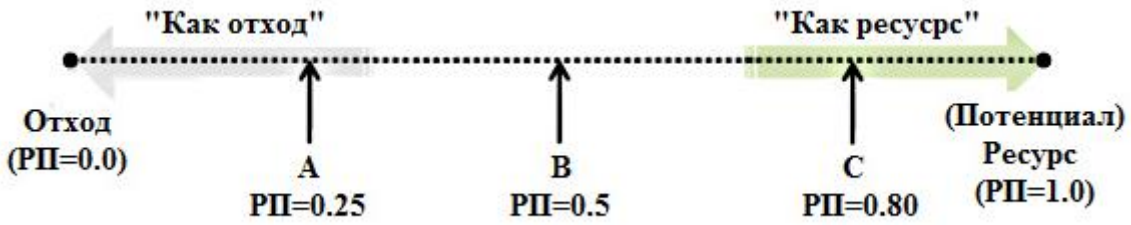


Рисунок 1.8 – Шкала оценивания потенциала повторного использования отходов [113]

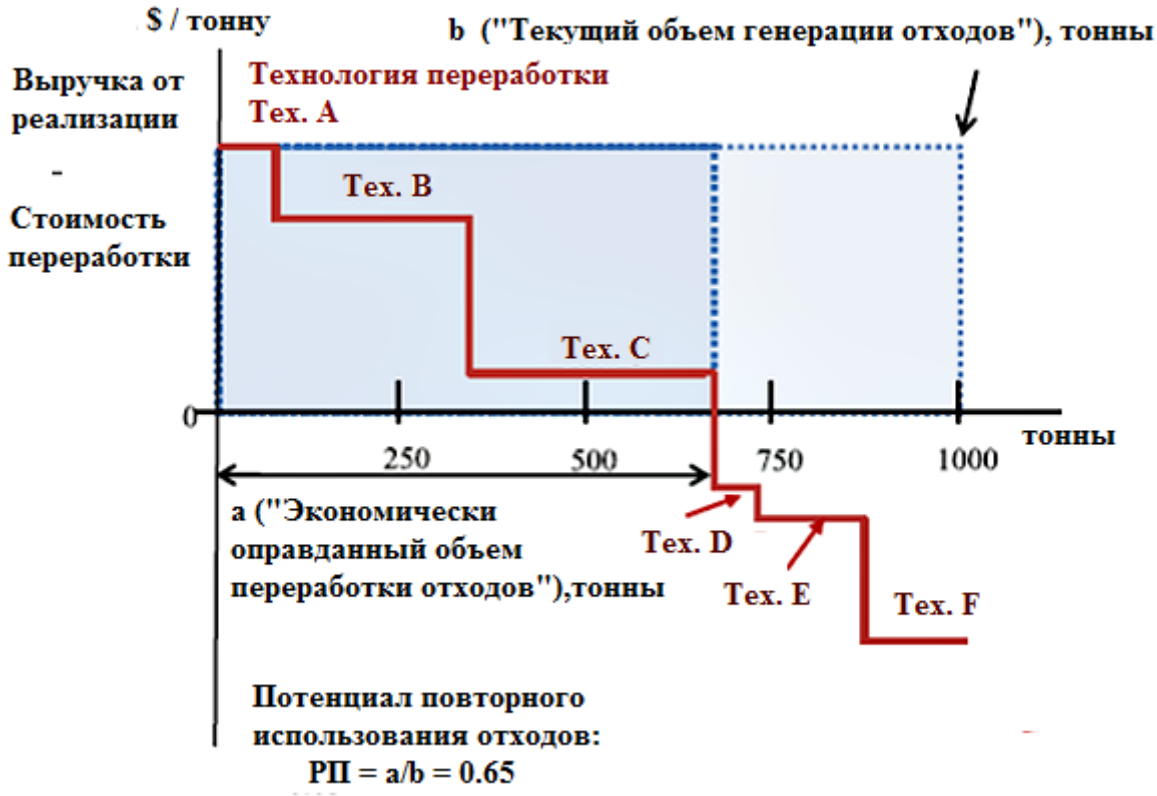


Рисунок 1.9 – Методология оценки потенциала повторного использования отходов [113]

Очевидным следствием представленного подхода становится то, что наиболее важным в оценке потенциала повторного использования выступает «ценовой» или «рыночный» фактор. С учетом волатильности цен на ресурсы и в зависимости от рыночной ситуации происходит изменение оценки ресурсного потенциала отходов. Проведенный анализ выявил необходимость учета влияния регионального (географического) фактора на ресурсный потенциал отходов, т. е. оценка

ресурсного потенциала отходов может существенно варьироваться в зависимости от доступности и стоимости технологий переработки в конкретном регионе и стоимости продуктов переработки на локальном рынке. В связи с указанным выше обстоятельством методики определения ресурсной ценности и ресурсного потенциала НСО, разработанные для конкретных регионов, приобретают особое значение.

Методика расчета экономической составляющей ресурсного потенциала нефтешламонакопителей предложена в работе [114]. Предлагаемая методика основана на расчете общей стоимости нефтешламов, состоящей из базовой стоимости нефтепродукта, извлекаемого из 1 т переработанного нефтешлама, состав которого устанавливается по результатам физико-химического анализа, и поправок к стоимости нефтепродукта, зависящих от плотности и содержания серы. Ранжирование объектов размещения НСО проводится по величине стоимости нефтешлама в шламонакопителе.

В работе [115] представлены методические подходы к оценке отдельных составляющих ресурсного потенциала НСО при применении технологии термообезвреживания и последующего производства товарных продуктов из выделенных остатков. Основу предлагаемой концепции составляет алгоритм вовлечения промышленных отходов в производство товарных продуктов, описывающий «жизненный цикл» НСО, подлежащих переработке. Каждая стадия такого цикла предполагает оценку эффективности и выбор оптимального варианта реализации. В то же время данный подход не содержит стоимостных оценок и не учитывает рыночные факторы, что не соответствует описанной выше методологии оценки ресурсного потенциала НСО.

В работе [116] авторами рассмотрена проблема обезвреживания отходов, содержащих углеводороды и образующихся на предприятиях газотранспортной отрасли. Описывается комплекс методов, используемых для экологически безопасного обезвреживания рассматриваемых отходов, из которых особое внимание уделено биотехнологическим методам (биоремедиации). Приведенная в работе принципиальная схема обращения с разными фракциями отходов газового

конденсата должна, по мнению авторов, приводить к максимальному использованию ресурсного потенциала компонентов отходов, при этом она ориентирована на применение экологически безопасных методов обезвреживания. Рекомендована реализация биотехнологического метода обезвреживания за счет передачи образующихся отходов специализированным организациям, эксплуатирующим открытые технологические площадки биоремедиации, где возможна их утилизация при смешении с основной массой обезвреживаемых отходов. В качестве приоритетного направления предложена принципиальная схема утилизации рассматриваемых отходов, предусматривающая применение установок биологического обезвреживания (биореакторов) для утилизации малотоннажных углеводородсодержащих отходов газотранспортных предприятий. Несмотря на наличие конкретных рекомендаций по повышению эффективности биологического метода переработки НСО с целью повышения ресурсного потенциала отходов, в работе не содержится стоимостной оценки эффективности применения данной технологии, и, следовательно, оценки ресурсного потенциала НСО при применении технологии биоремедиации, как того требует подход, схематически представленный на диаграмме (Рисунок 1.9) [113].

Работа [117] посвящена проблеме выбора оптимальных параметров термической деструкции нефтесодержащих отходов с целью обеспечения экологической безопасности процессов их утилизации различными термическими методами. Рассмотрены факторы, от которых зависит выбор метода термического обезвреживания нефтесодержащих отходов, позволяющего решать проблему утилизации отходов наиболее безопасно с экологической точки зрения. В качестве метода, позволяющего проанализировать и оценивать процесс термической деструкции, предложен синхронный термический анализ. В статье представлены результаты термического анализа исследуемых образцов НСО в воздушной среде и в среде аргона, на основании которых сделаны выводы о возможных направлениях термической утилизации, в том числе с возможностью сохранения и использования ресурсного потенциала отходов. Оценка влияния использования технологии термодеструкции на ресурсный потенциал НСО в [117] также не содержит

стоимостной шкалы, как и в работе [116]. В результате исключения из рассмотрения стоимостного фактора сравнительный анализ влияния двух альтернативных технологий переработки на величину ресурсного потенциала НСО, проведенный по методике, предложенной в [117], практически затруднён.

Методы расчёта цены отходов и определяющих ее факторов рассмотрены в работе [118] с учетом подходов методологии ресурсного потенциала. В качестве базовых методов определения цены отходов в работе рассматриваются:

- метод, основанный на сопоставлении затрат на переработку отходов и урона, наносимого окружающей среде;

- метод, учитывающий прибыль от реализации продуктов переработки отходов (являющийся базовым для определения ресурсного потенциала отходов);

- рыночный метод, основанный на балансе спроса и предложения, что позволяет учитывать предпочтения потребителей.

Согласно методу, основанному на учете прибыли от реализации продуктов переработки отходов, цена отходов в денежном выражении определяется согласно формуле:

$$p_w = \left(\sum C_{wi} \cdot C_{ext\,i} \cdot P_i - UC_{proc}\right) \times C_{eff},$$

здесь C_{wi} - содержание *i*-го полезного компонента в отходе, $C_{ext\,i}$ - коэффициент извлечения *i*-го полезного компонента для вторичной переработки, P_i - цена *i*-го полезного компонента в продукте переработки, UC_{proc} - стоимость переработки одной тонны отходов, C_{eff} - коэффициент, учитывающий распределение затрат между поставщиками и переработчиками отходов.

Полная цена отходов P_w учитывающая стоимость транспортировки отходов C_{tr}, экономию затрат на дальнейшее хранение непереработанных отходов F, экономию затрат от экологического ущерба при дальнейшем хранении непереработанных отходов, может быть определена как:

$$P_w = R - C_{tr} - C_{rec} + F + S,$$

где $R = \sum C_{wi} \cdot C_{exti} \cdot P_i$ - потенциальная выручка от реализации продуктов переработки отходов, C_{rec} - затраты на переработку отходов.

В работе [119] представлен подход к выбору технологии переработки НСО на основе оценки риска потенциальной опасности отхода для окружающей среды, человека, животных. Рассматриваются источники загрязнения, происхождение и состав НСО, эффект токсичности воздействия отходов на окружающую среду и механизм их разложения в различных средах. Особенное внимание уделено химическим процессам при деградации нефтяных углеводородов, содержащихся в отходах. Представлен обзор технологий утилизации и обезвреживания НСО, которые минимизируют риск от воздействия нефтяных углеводородов и используются для изоляции, локализации, разделения, восстановления, мелиорации и реабилитации почвы, отложений, поверхностных и подземных вод, загрязненных нефтяными углеводородами и органическими соединениями.

В основу современного обращения с любыми отходами, включая нефтесодержащие, закладывается концепция экономики замкнутого цикла [120–122], согласно которой ресурсы используются максимально полно и эффективно, что приводит к отсутствию накоплений отходов. Этот эффект может быть достигнут за счёт использования остатков переработанных НСО в производстве битумных смесей [123; 124], строительных материалов [125–127], топлива для котельных установок [128], керамических изделий [129] и других [73].

На основе анализа информационных источников и научных исследований в области определения и использования ресурсного потенциала НСО можно утверждать, что в отечественной практике преобладает утилитарный подход к определению ресурсного потенциала НСО, который, как правило, не учитывает «рыночные» факторы определения стоимости применения технологий переработки НСО. Отсутствие комплексного (системного) подхода к проблеме использования ресурсного потенциала НСО ограничивает возможность перехода на более высокий уровень порядке обращения с отходами [44]. Определение ресурсного потенциала НСО представляет собой многофакторную задачу, решение которой возможно при одновременном учете рыночных, технологических, энергетических, транспортных

и экологических факторов, играющих существенную роль при переработке отходов. В целях обеспечения экономии энергопотребления и повышения производительности процессов и технологий переработки НСО по сравнению с традиционными технологиями необходимо совершенствование методов оценки ресурсного потенциала с учётом ресурсной ценности отходов, ресурсо- и энергосбережения, экологической безопасности и комплексной эффективности системы переработки отходов в нефтегазовой промышленности. С учетом суммарных затрат на транспортировку, накопление, хранение, утилизацию и захоронение НСО, а также в связи с негативным влиянием на экологическую ситуацию в настоящем и будущем, эффект от многофакторной оптимизации комплексной системы переработки отходов может быть выше, чем эффект от оптимизации отдельных промышленных процессов переработки первичного сырья.

1.3 Содержательная постановка задачи диссертационного исследования и степень разработанности темы

По данным существующих на настоящий момент обзорных исследований [130–133] на практике достаточно подробно исследуется и используется многокритериальный подход к решению проблем обращения с отходами. Однако, эти исследования преимущественно ориентированы на твёрдые бытовые отходы, которые по объективным причинам уступают нефтесодержащим отходам по потенциалу преобразования их в энергию (англ. - Waste-to-Energy). В рассмотренных работах используемые многокритериальные методы принятия решений отличаются небольшой вариативностью, поскольку они опираются в основном на субъективные экспертные оценки. Наиболее полный обзор многокритериальных методов принятия решений в области преобразования отходов в энергию включает анализ 153 опубликованных статей в рецензируемых журналах в период с 1985 по 2020 годы [134]. В анализируемых работах рассмотрены различные виды отходов (от органических до производственных) и широкий спектр методологий принятия решений (от экспертного метода анализа иерархий [135] и аналогичных методов (ELECTRE [136], PROMETHEE [137],

TOPSIS [138] и т.д.), имеющих существенный недостаток, заключающийся в субъективности определения сравнительных оценок и весовых коэффициентов, назначаемых экспертами, до многокритериальных гибридных алгоритмов принятия решений [137]). Однако, область переработки НСО в рассматриваемом обзоре представлена недостаточно полно, как в части использования методов принятия решений свободных от субъективных экспертных оценок, так и в части применяемых технологий переработки промышленных отходов. Кроме того, в [134] не рассматривается подробно комплексный подход к анализу систем переработки отходов. В [139] решаются задачи целочисленного математического программирования для определения оптимального набора методов обработки и преобразования отходов в энергию, товарную продукцию или безвредные материалы, а также учитываются экологические показатели посредством анализа жизненного цикла отхода. Недостатком применяемого авторами подхода является ориентация исключительно на биологические методы переработки и анализ только одного вида НСО – бурового шлама, образующегося при добыче нефти.

Для многокритериальной оптимизации и принятия решений по управлению переработкой НСО в нефтегазовой промышленности в диссертационном исследовании предлагается провести многофакторный сравнительный анализ системы переработки отходов, основанный на методе Data Envelopment Analysis (DEA) [140–142]. Представленный в [143] обзор публикаций в базе Scopus с 2000 по 2021 годы показал, что для управления переработкой твёрдых отходов метод DEA, применяемый с 2000 года, приобрёл наибольшую популярность в 2015-2016 гг. С помощью библиометрического и контент-анализа были определены наиболее популярные направления исследований в этой области: анализ эффективности системы с целью выработки превентивных мер управления отходами, учёт социальных аспектов в анализе и интеграция в различные секторы общества для достижения целей устойчивого развития. Наиболее актуальные статьи в обзоре показывают, что метод DEA может быть обоснованно применен для оценки эффективности управления твердыми отходами. В работе [144] исследуются публикации в базе Web of Science по применению методологии DEA

в области устойчивого развития с 1996 по 2016 годы на основе подхода к анализу цитирований. Авторы установили, что ключевой путь применения DEA в области устойчивого развития фокусируется на оценке экологической эффективности, под которой понимается достижении максимального экономического результата при минимальном негативном воздействии на окружающую среду. Анализ литературы показал, что эффективное управление отходами в промышленности, как элемент стратегии устойчивого развития, может быть осуществлено с использованием метода DEA. Другие исследования [145–149] в области обращения с отходами показали, что метод DEA активно используется в различных отраслях и регионах мира. Пробелом в литературе является отсутствие примеров использования методологии DEA к принятию решений в области переработки НСО в нефтегазовой промышленности.

Научным заделом по предлагаемой тематике диссертационного исследования можно считать подход к оценке ресурсного потенциала, предложенного в [112]. В работе ресурсный потенциал нефтесодержащих отходов (остатков) характеризует относительную степень пригодности объектов размещения отходов в рассматриваемой группе в качестве вторичных материальных ресурсов с учётом ресурсной ценности отхода. Для реализации предложенного подхода разработана модель для расчета ресурсного потенциала на основе метода DEA, позволяющая провести сравнительный анализ компонентного состава объектов хранения отходов и определить приоритетность использования источников ресурсной ценности из ранжированной выборки. Предложенный в [112] подход нашёл отражение и развитие в дальнейших исследованиях [10–13; 20; 23–25; 28; 31–33].

Анализ актуальности и системных проблем переработки нефтесодержащих отходов (НСО), а также рассмотрение современных подходов к решению связанных с утилизацией НСО в нефтегазовом секторе задач, выявил ключевые направления исследования и степень разработанности темы диссертации. Эти результаты послужили основой для определения объекта исследования и формулирования содержательной постановки задачи диссертационного исследования.

В качестве объекта системного анализа и оптимизации в диссертации предлагается рассматривать сложно-структурированный комплекс переработки (КП) НСО, который состоит их двух подсистем: подсистемы размещения и подсистемы переработки (рисунок 1.10). Хранилища НСО и технологические установки рассматриваются в качестве основных элементов подсистем размещения и переработки, соответственно. Хранилища представляют собой резервуары различного конструкционного исполнения (амбары, пруды-отстойники, различные ёмкости (цистерны, бочки и т.п.), нефтеловушки), которые выполняют функции хранения вредных для окружающей среды НСО различного класса опасности (рисунок 1.3) и агрегатного состояния (рисунок 1.4). Установка для переработки отходов представляет собой комплекс технических средств, предназначенных для осуществления процессов преобразования различных видов отходов в пригодные для дальнейшего использования или утилизации продукты. Установка включает в себя оборудование для предварительной обработки НСО, реализации основного технологического процесса, а также системы для контроля и управления параметрами процессов переработки. Основной задачей управления функционированием КП НСО является обеспечение эффективного, экологически безопасного и экономически целесообразного применения установок переработки отходов с минимизацией их негативного воздействия на окружающую среду и максимально возможным извлечением полезных компонентов.

Условно можно представить функционирование рассматриваемого КП НСО как процесс переработки отходов в комплексе хранилищ НСО, в результате которого образуются полезные для дальнейшего использования продукты и непригодные остатки за счёт затрат определенных энергетических, материальных и финансовых ресурсов. На рисунке 1.10 условно представлены поступающие на вход КП НСО различные ресурсы (вода, химические реагенты, абсорбенты, песок, известь и т.п.), электрическая энергия, топливо (природный газ, дизельное топливо и т.п.), финансы для обеспечения затрат на переработку (заработная плата персонала, аренда оборудования и т.п.), НСО от источников образования (рисунки 1.1 и 1.2), и образующиеся на выходе полезные продукты переработки (ценные

углеводороды различного состава, зола, очищенная вода, грунт), пригодные для рециклинга, рекуперации или регенерации, а также вредные остатки переработки (выбросы в атмосферу парниковых газов, сернистого ангидрида, других продуктов сгорания или вторичные отходы, которые требуют дополнительных методов утилизации, обезвреживания или захоронения).

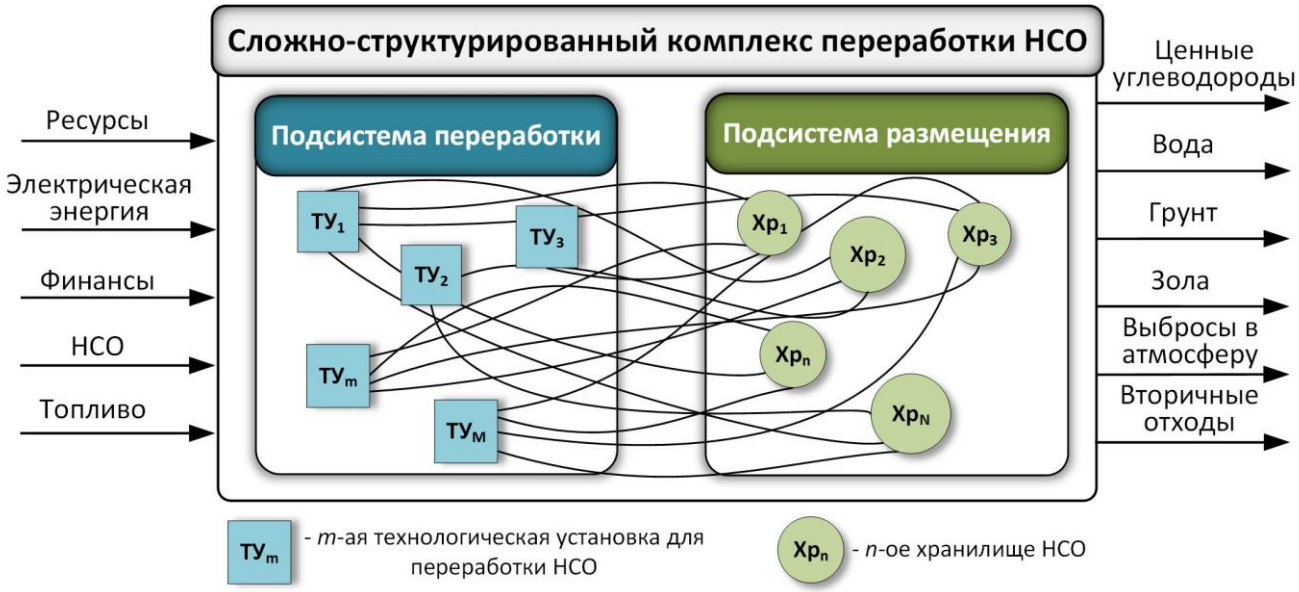


Рисунок 1.10 – Структура объекта исследования

Необходимо отметить, что в рамках данной диссертации термины «технология переработки» и «технологическая установка» часто являются взаимозаменяемыми. Это объясняется тем, что одна и та же технология может быть использована на различных установках, а одна установка способна реализовывать несколько технологий. Применение того или иного термина обусловлено необходимостью подчеркнуть либо технологический, либо технический аспект реализации процесса переработки НСО.

Под эффективностью процесса переработки в КП НСО везде далее понимается максимально полное и качественное извлечение полезных продуктов из отходов с наименьшими затратами ресурсов при минимально возможном негативном воздействии на окружающую среду.

Для количественного анализа эффективности переработки отходов в КП НСО в диссертации вводится понятие оценки эффективности (ценности) объектов сравнения, под которыми понимаются хранилища НСО и комбинации «хранилище НСО – технология переработки».

В качестве оценки эффективности (ценности) объектов сравнения в КП НСО в диссертации рассматривается относительный количественный показатель, под котором в самом общем случае понимается отношение взвешенной суммы всех параметров (факторов), определяющих положительные характеристики или результаты функционирования объекта, к взвешенной сумме всех параметров (факторов), представляющих использованные для получения положительных характеристик или результатов средства и ресурсы. Такой выбор обоснован использованием DEA метода в качестве теоретической основы построения моделей для определения оценок эффективности.

Основная задача диссертации сводится к разработке новой методологии системного многофакторного анализа и оптимизации КП НСО, решение которой возможно при одновременном учете разнородных экономических, технологических, энергетических, логистических и экологических факторов, характеризующих организацию и функционирование системы переработки отходов в нефтегазовой промышленности. При этом основной целью работы является создание теоретических и системно-методических подходов для решения актуальных проблем повышения эффективности по комплексным критериям качества функционирования КП НСО в нефтегазовой промышленности.

Предполагаемое исследование КП НСО возможно только на основе системного подхода. Поскольку в основе системного подхода лежит исследование объектов как целостного множества элементов в совокупности отношений и связей между ними, разработка методологии и методики системного анализа объекта исследования будет способствовать адекватной постановке научных задач диссертационного исследования и выработке эффективных стратегий их решения.

Разработка методологии решения актуальной проблемы переработки НСО позволит обеспечить улучшение показателей качества работы и снижение

экологического воздействия промышленных комплексов на окружающую среду в нефтегазовой отрасли. Основу методологии должна составлять интеграция методов системного анализа, многофакторного анализа и оптимизации, которые обеспечат достижение поставленной цели исследования.

Разработка методики системного анализа и оптимизации комплекса переработки НСО позволит решить поставленные задачи многофакторного анализа, оптимизации и принятия решений с учетом ключевых свойств и структурных закономерностей его функционирования. В результате решения предполагается получить качественное и количественное описание процесса переработки НСО в нефтегазовой промышленности в виде оценок эффективности и оптимальной последовательности переработки отходов в хранилищах по разнородным и комплексным критериям с учётом принятия оперативных и стратегических решений.

Разработка моделей для определения оценок эффективности сложно-структурированного комплекса переработки НСО на основе метода DEA позволит анализировать сложность и взаимосвязь между технико-экономическими, технологическими, ресурсными, логистическими, энергетическими и экологическими параметрами.

Разработка методов и алгоритмов решения задач многофакторного анализа системы комплексной переработки НСО будет способствовать качественной и количественной оценке её функциональных и масштабных характеристик на основе ряда ключевых критериев: ресурсной ценности и потенциала, экологической безопасности, эффективности использования ресурсов и энергии, а также общей эффективности системы.

Для оптимизации КП НСО на следующем этапе исследования предполагается разработать алгоритмы и процедуры решения задач оптимизации, в которых комбинацию "хранилище-технология" предлагается рассматривать как центральный объект сравнения, при этом постановки задач оптимизации направлены на достижение максимально возможной эффективности технологических процессов переработки отходов, а оценки эффективности могут

рассматриваться в качестве критериев оптимизации: максимального ресурсного потенциала, максимальной экологической безопасности, максимальной ресурсо- и энергоэффективности, максимальной комплексной эффективности.

Разработка специализированного программного обеспечения позволит провести апробацию и реализацию разработанных: баз данных хранилищ НСО, технологий переработки, результатов многофакторного анализа; методики системного анализа; методов и алгоритмов многофакторного анализа; алгоритмов и процедур оптимизации сложно-структурированного КП НСО в нефтегазовой промышленности.

Для принятия обоснованных управленческих решений на заключительном этапе предлагается разработать концепцию информационной поддержки в форме экспертной системы, основу которой представляет разработанный алгоритм поддержки принятия оперативных и стратегических решений. Предполагается использование алгоритма для всестороннего анализа оперативной ситуации, прогнозирования последствий различных управленческих действий и выбора оптимальных стратегии управления на основе комплексной оценки текущего состояния производственных процессов и доступных ресурсов.

Апробацию результатов диссертационного исследования и оценку технико-экономической эффективности их применения предлагается проводить на основе информации о сложно-структурированном КП НСО, расположенном в пределах одного из регионов Российской Федерации.

1.4 Выводы по первой главе

1. Анализ актуальности темы, источников образования, методов и технологий переработки НСО в нефтегазовой промышленности позволил сформировать перечень основных системных проблем, для устранения которых и обеспечения рентабельности применяемых технологий переработки необходимо учитывать множество разнородных, часто конфликтующих друг с другом факторов (экологических, логистических, технических, энергетических и др.).

2. Обзор научных и информационных источников выявил отсутствие системного подхода к проблеме использования ресурсного потенциала НСО,

который ограничивает возможность перехода на более высокий уровень порядка обращения с отходами.

3. Анализ существующих подходов к решению задач по переработке отходов в промышленности позволил определить подходы, которые должны совершенствовать методы оценки ресурсного потенциала с учётом ресурсной ценности отходов и учитывать критерии повышения ресурсо- и энергосбережения, экологической безопасности и комплексной эффективности системы переработки отходов в нефтегазовой промышленности, что приведёт к экономии энергопотребления и повышения производительности процессов и технологий переработки НСО по сравнению с традиционными решениями.

4. Анализ актуальности темы диссертации и степени ее разработанности позволили сформулировать содержательную постановку задачи исследования, которая включает описание системы и определение её структуры, основных свойств и правил функционирования.

5. В рамках области исследования сформулированы понятия эффективности и её оценки. Приведено обоснование взаимозаменяемых терминов «технология переработки» и «технологическая установка», необходимость использования которых заключается в выделении либо технологического, либо технического аспекта реализации процесса переработки НСО.

6. Определены основные направления исследования по разработке методологии решения актуальной проблемы переработки НСО, методики системного анализа и оптимизации, методов и алгоритмов решения задач многофакторного анализа, алгоритмов и процедур оптимизации по комплексным критериям эффективности, специализированного программного обеспечения, алгоритма выбора и поддержки принятия оперативных и стратегических решений, архитектуры экспертной системы поддержки принятия управленческих решений, для сложно-структурированного КП НСО в нефтегазовой промышленности.

2 Системный анализ сложно-структурированного комплекса переработки нефтесодержащих отходов

В соответствии с определенной в разделе 1.3 постановкой задачи диссертационного исследования, разработана методика системного анализа и оптимизации КП НСО, в котором хранилища НСО и технологии их переработки являются элементами единой системы, определяющими ключевые свойства и структурные закономерности ее функционирования. Методика включает теоретически обоснованные последовательные этапы разработки моделей для определения оценок эффективности, многофакторного анализа, оптимизации и принятия решений, на каждом из которых математический аппарат DEA метода впервые используется для формализации и постановки задач управления переработкой отходов в нефтегазовой промышленности. Приводятся результаты анализа структуры, общесистемных свойств, элементов, связей и закономерностей функционирования КП НСО. Представлены разработанные базы данных (БД) хранилищ НСО и технологий переработки, обеспечивающие систематизированный сбор, обработку и хранение информации в системе. Описан и апробирован разработанный алгоритм анализа качества информации о НСО и технологиях их переработки, предназначенный для формирования количественной оценки качества данных с целью уточнения информации и внесении изменений в БД. Предлагаемые и рассмотренные в главе подходы представлены в работах [1–3; 27; 34–36].

2.1 Анализ структуры и общесистемных свойств

Как показано в разделе 1.4, в качестве объекта системного анализа в диссертационной работе рассматривается сложно-структурированный комплекс переработки НСО в нефтегазовой промышленности (Рисунок 1.10). Наличие у объекта исследования основных системных свойств (целостность, интегративность, эмерджентность, организованность, функциональность и синергетический эффект от взаимодействия элементов внутри системы) позволяет рассматривать его в качестве единой системы.

Основополагающее свойство целостности (единства) системы устанавливается посредством определения устойчивых взаимосвязей и взаимодействий элементов системы (хранилищ НСО и технологических установок). В результате взаимодействия элементов подсистем КП НСО становится возможным осуществление процесса переработки отходов и получение из них полезных для вторичного использования продуктов (ценных углеводородов, очищенной воды, грунта и т.п.), сопровождающееся выделением вредных компонентов (вторичных отходов, выбросов в атмосферу экологически вредных веществ и т.п.). Таким образом, КП НСО объединяет хранилища и процессы переработки в единую систему, в которой каждый элемент или процесс играет свою роль и влияет на общую производительность и эффективность системы для достижения общей цели по переработке отходов. В этом проявляется свойство интегративности, которое характеризует способность системы объединять различные компоненты и процессы в единое целое, обеспечивая их совместное взаимодействие. Помимо целостности системы свойство интегративности также проявляется в согласованности взаимодействия элементов подсистем размещения и переработки, которые в КП НСО работают в координации друг с другом, что позволяет системе достигать своей цели и функционировать более эффективно. Степень согласованности и взаимосвязанности элементов может быть существенно повышена путем определения оптимальной последовательности переработки НСО в хранилищах в ходе решения задач многофакторного анализа и оптимизации.

Свойство эмерджентности рассматриваемой системы проявляется в том, что в процессе ее функционирования возникают новые качества и свойства, которые не присущи ни одному из элементов этой системы в отдельности. В частности, в процессе переработки отходов извлекаются полезные для вторичного использования продукты и непригодные остатки с новыми компонентными составами и свойствами, которые могут быть получены только при совместном взаимодействии элементов системы и могут быть предсказаны или объяснены исключительно при совместном рассмотрении и изучении элементов системы.

Синергетический эффект от взаимодействия элементов внутри подсистемы переработки отходов проявляется в том, что за счет совместного использования технологических установок можно получить более эффективный результат (т. е. извлечь больше полезных продуктов из НСО), который можно оценить количественно.

Организованность системы — это свойство, характеризующее упорядоченность и структурированность элементов системы, что позволяет ей эффективно функционировать и достигать поставленных целей. Структура КП НСО представлена на рисунке 1.10, на котором взаимодействие элементов между подсистемами организовано по принципу «каждый с каждым». Процесс функционирования КП НСО заключается в организации взаимодействия между элементами подсистем, что фактически означает подбор соответствующих технологических установок для переработки конкретных НСО в хранилищах с учётом ограничений, связанных с агрегатным состоянием отходов (например, отдельные технологические установки способны перерабатывать только жидкие НСО), количеством содержания вредных примесей и нефтепродуктов, классом опасности отхода и другими технологическими, логистическими, энергетическими и экологическими факторами.

По временному признаку КП НСО относится к экстенсивным системам, в которых с течением времени происходит рост числа элементов, что означает включение в систему новых хранилищ НСО и технологических установок. Однако, при этом КП НСО можно считать условно стационарной системой из-за большой инерционности объектов размещения отходов (хранилищ НСО), длительности хранения отходов в которых может варьироваться от нескольких дней до нескольких десятков лет (при консервации объекта хранения). При этом компонентный состав НСО также мало подвержен серьезным изменениям с течением времени при условии использования соответствующего хранилища только для накопления однотипных отходов. Длительность переработки определяется возможными технологическими и (или) логистическими ограничениями. Технологические ограничения определяются скоростью

переработки НСО в зависимости от используемого метода переработки (раздел 1.1). Логистические ограничения зависят от расстояний между объектами размещения отходов и местами размещения стационарных или мобильных технологических установок.

Анализ приведенных в таблице 1.1. системных проблем переработки НСО выявил множество разнородных связей между элементами КП НСО, которые необходимо учитывать для обеспечения эффективной переработки отходов в рассматриваемой системе.

2.2 Анализ элементов, связей и закономерностей функционирования КП НСО

2.2.1 Анализ характеристик элементов подсистем размещения и переработки

Как показано в разделе 1.3, КП НСО включает две подсистемы: размещения и переработки (Рисунок 1.10), хранилища НСО и технологические установки являются элементами указанных подсистем, соответственно.

Под хранилищами НСО понимаются специальным образом оборудованные объекты, предназначенные для хранения и накопления отходов путём их складирования в местах (на площадках), обустроенных в соответствии с требованиями законодательства в области охраны окружающей среды и законодательства в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, в целях их дальнейшего использования, обезвреживания, размещения, транспортирования [44]. Обращение с каждым видом отходов производства, в том числе НСО, осуществляется в зависимости от их происхождения, агрегатного состояния, физико-химических свойств субстрата, количественного соотношения компонентов и степени опасности для здоровья населения и среды обитания человека [150]. К хранилищам НСО в зависимости от их физико-химических свойств относятся: открытые площадки с гидроизоляционным основанием, резервуары, емкости, амбары, накопители, площадки для обезвоживания илового осадка от очистных сооружений, полигоны, шламохранилища.

К основным сведениям, характеризующим хранилища НСО, относятся следующие данные: информация о собственнике объекта хранения; регистрационные данные; состояние объекта хранения; функциональное назначение объекта; сроки эксплуатации; характеристики инфраструктуры; характеристики месторасположения; геометрические размеры хранилища; масса отходов, содержащихся в данном хранилище; компонентный состав отхода. В силу сложной физико-химической природы отходов нефтеперерабатывающей промышленности НСО могут быть неоднородны по составу даже в пределах одного объекта хранения. В хранилищах, где содержатся жидкие НСО, отходы обычно разделяются на несколько слоев, имеющих качественно различающиеся физико-химические характеристики составов отходов (раздел 1.1). В этом случае дополнительно в качестве характеристик объектов хранения учитываются количество слоев, глубина каждого слоя, а также физико-химические характеристики отходов для каждого слоя отдельно.

Технологические установки обеспечивают утилизацию и (или) обезвреживание отходов, размещающихся в хранилищах, для получения полезных для вторичного использования продуктов переработки. Основные характеристики технологий переработки НСО включают следующие данные: общие сведения об используемой технологии; способ и метод переработки отходов; характеристика перерабатываемых отходов; перечень перерабатываемых отходов; требования к реализации технологии; характеристика вторичных продуктов и остатков переработки. Общие сведения о технологии содержат описание основных принципов ее действия с указанием преимуществ и недостатков по сравнению с аналогичными технологиями; сведения о правоохранных документах, степени мобильности (стационарная, мобильная), производительности по паспорту, потреблении установкой энергетических и прочих ресурсов, месторасположении и площади развёртывания (для мобильных установок).

Способы и методы переработки НСО определяются в соответствии с представленной в разделе 1.1 классификацией (Рисунок 1.7). Поскольку подавляющее большинство технологий обращения с отходами являются в разной

степени комплексными и почти всегда содержат элементы утилизации и обезвреживания, решение об определении основного способа переработки, должно приниматься на основе экспертного мнения.

Наименование содержащихся в хранилищах и перерабатываемых НСО регламентируются в соответствии с официальными документами или ФККО [151]. При этом учитывается реальный состав отхода и выбирается возможно более полно отвечающий ему код классификатора. Отличительная особенность некоторых технологических установок состоит в том, что они используются не для переработки конкретных отходов, а для отходов, которые обладают определенными характеристиками. В этом случае следует учитывать агрегатное состояние НСО (твердое, жидкое, пастообразное и т.п.) и класс опасности отхода (II-V). Кроме этого, выделяются требования к физическим характеристикам перерабатываемых отходов, в основном, к плотности отхода, величина которой часто указывается в паспорте соответствующей установки, а также требования к компонентному составу перерабатываемых отходов. Например, информация о процентном содержании воды в перерабатываемом отходе необходима для оценки себестоимости процесса переработки. При этом очевидно, что для нефтесодержащих отходов наиболее ценной составляющей являются углеводороды.

Выбор указанных выше основных характеристик элементов подсистем размещения и переработки определяется возможностью их сопоставления по объективным признакам для выявления условий и закономерностей реализации процессов переработки отходов в КП НСО, а также для определения в дальнейшем количественного эффекта результатов переработки отходов при технико-экономическом анализе функционирования КП НСО как единой системы.

2.2.2 Анализ связей между элементами

Перечисленные и представленные в разделе 2.2.1 характеристики хранилищ НСО и технологических установок позволили определить взаимосвязи между основными элементами подсистем (Рисунок 2.1), которые положены в основу

выбора комбинаций «хранилище НСО - технология переработки» и могут быть интерпретированы следующим образом:

- выбор установки для переработки зависит от степени её мобильности и взаимного расположения хранилища НСО и установки переработки;
- выбор установки для переработки определяется сопоставлением характеристик по потребляемым установкой энергетическим ресурсам, топливу, воде и характеристик инфраструктуры объекта хранения НСО (подведенная электрическая мощность, доступность подвоза моторного топлива, наличие водных ресурсов и насосного оборудования, наличие очистных установок для сброса стоков и т.п.);
- выбор мобильной установки переработки зависит от возможности её транспортировки и расположения непосредственно рядом с хранилищем НСО при сопоставлении доступной площади объекта хранения и площади развёртывания установки;
- выбор установки для переработки зависит от способа и метода переработки, от характеристики перерабатываемых отходов при сопоставлении с характеристикой НСО в хранилище;
- выбор установки для переработки зависит от результата сопоставления производительности установки и массы накопленного отхода в хранилище.

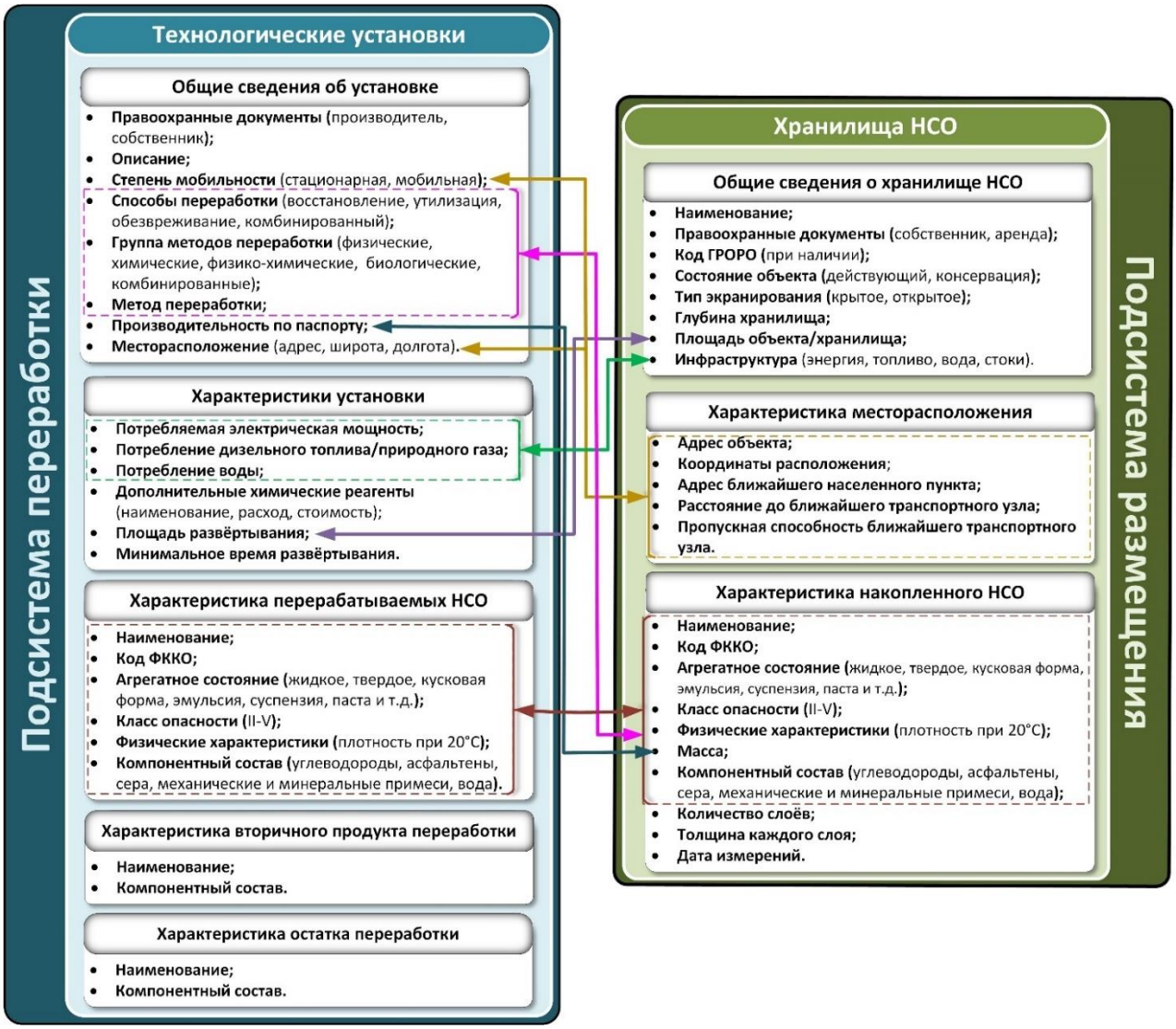


Рисунок 2.1 – Взаимосвязь основных характеристик элементов подсистем КП НСО

2.3 Структуризация и систематизация информации об элементах КП НСО

В соответствии с выявленными в разделе 2.2 характеристиками основных элементов КП НСО и результатами анализа связей между ними разработаны БД хранилищ НСО и технологий переработки, которые позволяют обеспечить систематизированной сбор, обработку и хранение информации.

БД по технологиям переработки НСО нефтегазового комплекса создана на основе системы управления базами данных (СУБД) Microsoft Access [35]. Разработана структура БД [152], на основе которой составлена информационная схема данных (Рисунок 2.2). По схеме данных можно проследить логическую связь

между таблицами БД, которые можно разделить на три группы: таблицы-справочники, ассоциативные таблицы и таблицы, предназначенные для хранения основной информации о технологиях переработки отходов.

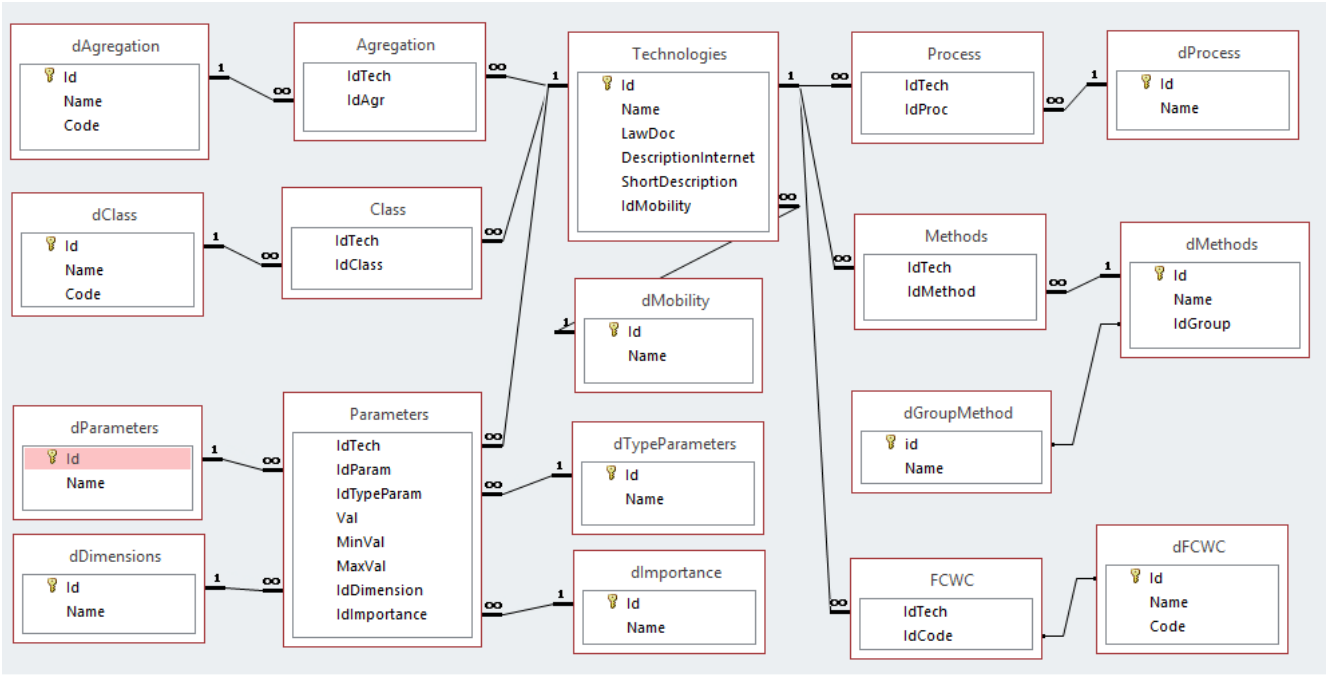


Рисунок 2.2 – Информационная схема БД технологий переработки

В БД технологий переработки таблицы-справочники, описывающие степень важности параметра (dImportance), параметры (dParameters), тип параметра (dTypeParameters), единицы измерения (dDimensions), способы переработки (dProcess), группы методов переработки (dGroupMethod) и степень мобильности (dMobility) имеют аналогичную структуру, которая представлена в виде таблицы 2.1.

Таблица 2.1 – Структура таблицы «Справочник», содержащая два поля данных

Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
Id	Счетчик	Первичный ключ	Да	
Name	Текстовый	Нет	Да	

Таблицы-справочники, описывающие класс опасности (dClass), агрегатное состояние (dAgregation) и ФККО (dFCWC) имеют аналогичную структуру, которая представлена в виде таблицы 2.2.

Таблица 2.2 – Структура таблицы «Справочник», содержащие три поля данных

Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
Id	Счетчик	Первичный ключ	Да	
Code	Текстовый	Нет	Да	
Name	Текстовый	Нет	Да	

Таблица-справочник, описывающая методы переработки и имеющая связь со справочником групп методов переработки представляется в виде таблицы 2.3

Таблица 2.3 – Структура таблицы «Справочник. Методы переработки»

Наименование таблицы			dMethods	
Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
Id	Счетчик	Первичный ключ	Да	Идентификатор метода переработки
IdGroup	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор группы методов переработки
Name	Текстовый	Нет	Да	Наименование метода переработки

БД технологий переработки дополняется следующими ассоциативными таблицами: способы переработки (Таблица 2.4); методы переработки (Таблица 2.5); класс опасности (Таблица 2.6); агрегатное состояние (Таблица 2.7); отходы (Таблица 2.8).

Таблица 2.4 – Структура таблицы «Способы переработки»

Наименование таблицы			Process	
Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
IdTech	Числовое	Внешний ключ	Да	Идентификатор технологии
IdProc	Числовое	Внешний ключ	Да	Идентификатор способа переработки

Таблица 2.5 – Структура таблицы «Методы переработки»

Наименование таблицы			Methods	
Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
IdTech	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор технологии
IdMethod	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор метода переработки

Таблица 2.6 – Структура таблицы «Класс опасности»

Наименование таблицы			Class	
Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
IdTech	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор технологии
IdClass	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор класса опасности

Таблица 2.7 – Структура таблицы «Агрегатное состояние»

Наименование таблицы			Agregation	
Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
IdTech	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор технологии
IdAgr	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор агрегатного состояния

Таблица 2.8 – Структура таблицы «Отходы»

Наименование таблицы			FCWC	
Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
IdTech	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор технологии
IdCode	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор ФККО

В таблицах 2.9 и 2.10 приведены основные сведения о технологиях переработки отходов и их параметрах.

Таблица 2.9 – Структура таблицы «Параметры технологий»

Наименование таблицы			Parameters	
Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
IdTech	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор технологии
IdParam	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор параметры
IdTypeParam	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор типа параметра
Val	Числовой	Нет	Нет	Номинальное значение
MinVal	Числовой	Нет	Нет	Минимальное значение
MaxVal	Числовой	Нет	Нет	Максимальное значение
IdDimension	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор размерности
IdImportance	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор важности параметра

Таблица 2.10 – Структура таблицы «Технологии»

Наименование таблицы			Technologies	
Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
Id	Счетчик	Первичный ключ	Да	Идентификатор технологии
Name	Текстовый	Нет	Да	Наименование технологии
LawDoc	Поле МЕМО	Нет	Нет	Правоохранный документ
DescriptionInternet	Гиперсссылка	Нет	Нет	Описание в сети Internet
ShortDescription	Поле МЕМО	Нет	Нет	Краткое описание технологии
IdMobility	Числовой	Внешний колюч	Да	Идентификатор степени мобильности

Связи между таблицами 2.1–2.10 устанавливаются в соответствии с логической структурой БД и запоминаются в схеме данных, которая является не только средством графического отображения этой структуры, но и используется системой в процессе обработки данных. Создание схемы данных позволяет упростить конструирование многотабличных форм, запросов, отчетов, а также обеспечить поддержание целостности взаимосвязанных данных при вводе и корректировке данных в таблицах.

Разработанная структура БД технологий переработки НСО нефтегазового комплекса позволяет эффективно хранить данные за счёт организации

распределения данных по таблицам. БД лишена основных проблем, которые возникают при разработке структуры данных: аномалий вставки, аномалий удаления и аномалий обновления данных. При проектировании БД учтены особенности предметной области: она позволяет хранить сведения о любой технологической установке переработки отходов, при этом не возникает потребности в её структурных изменениях.

БД хранилищ НСО создана аналогично БД технологий переработки на основе СУБД Microsoft Access [34]. Структура БД хранилищ НСО разработана аналогичным образом и подробно описана в [152]; таблицы базы данных также разделены на три группы: таблицы-справочники, ассоциативные таблицы и таблицы, предназначенные для хранения основной информации об НСО и хранилищах. Информационная схема данных в БД объектов хранения отходов представлена на рисунке 2.3.

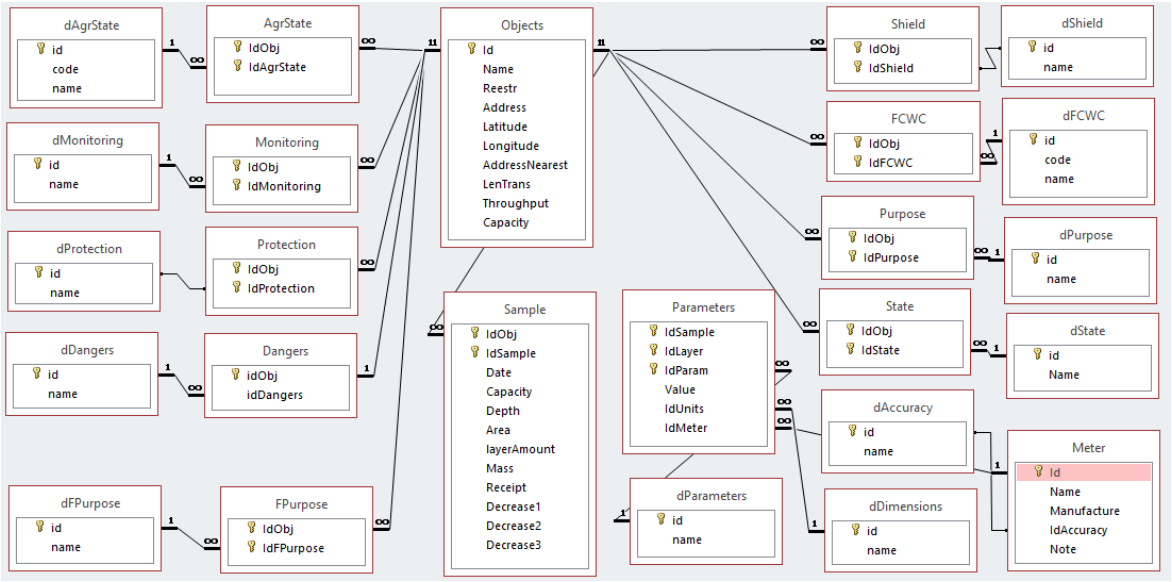


Рисунок 2.3 – Информационная схема БД хранилищ НСО

В БД хранилищ НСО таблицы-справочники, описывающие состояние хранилища (dState), назначение объекта (dPurpose), меры защиты (dProtection), тип экранирования (dShield), экологический мониторинг (dMonitoring), функциональное назначение (dFPurpose), параметры (dParameters), единицы измерения (dDimensions), группы методов переработки (dGroupMethod) и степень

мобильности (dMobility), класс точности (dAccuracy) и класс опасности (dDangers) имеют аналогичную структуру, которая представлена в виде таблицы 2.1.

Таблицы-справочники, описывающие агрегатное состояние (dAgrState) и ФККО (dFCWC) имеют аналогичную структуру, которая представлена в виде таблицы 2.2.

БД хранилищ НСО дополняется следующими ассоциативными таблицами: состояние объекта (Таблица 2.11); назначение объекта (Таблица 2.12); отходы (Таблица 2.13); меры защиты (Таблица 2.14); тип экранирования (Таблица 2.15); экологический мониторинг (Таблица 2.16); класс опасности (Таблица 2.17); агрегатное состояние (Таблица 2.18); функциональное назначение (Таблица 2.19).

Таблица 2.11 – Структура таблицы «Состояние объекта»

Наименование таблицы			State	
Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
IdObj	Числовое	Внешний ключ	Да	Идентификатор объекта
IdState	Числовое	Внешний ключ	Да	Идентификатор состояния объекта

Таблица 2.12 – Структура таблицы «Назначение объекта»

Наименование таблицы			Purpose	
Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
IdObj	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор объекта
IdPurpose	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор назначения объекта

Таблица 2.13 – Структура таблицы «Отходы»

Наименование таблицы			FCWC	
Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
IdObj	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор объекта
IdFCWC	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор ФККО

Таблица 2.14 – Структура таблицы «Меры защиты»

Наименование таблицы			Protection	
Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
IdObj	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор объекта
IdProtection	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор меры защиты

Таблица 2.15 – Структура таблицы «Тип экранирования»

Наименование таблицы			Shield	
Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
IdObj	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор объекта
IdShield	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор типа экранирования

Таблица 2.16 – Структура таблицы «Экологический мониторинг»

Наименование таблицы			Monitoring	
Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
IdObj	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор объекта
IdMonitoring	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор экологического мониторинга

Таблица 2.17 – Структура таблицы «Класс опасности»

Наименование таблицы			Dangers	
Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
IdObj	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор объекта
IdDangers	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор класса опасности

Таблица 2.18 – Структура таблицы «Агрегатное состояние»

Наименование таблицы			AgrState	
Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
IdObj	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор объекта
IdAgrState	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор агрегатного состояния

Таблица 2.19 – Структура таблицы «Функциональное назначение»

Наименование таблицы			FPurpose	
Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
IdObj	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор объекта
IdFPurpose	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор функционального назначения

В таблицах 2.20–2.23 приводятся основные сведения об отходах, содержащихся в хранилищах.

Таблица 2.20 – Структура таблицы «Объекты»

Наименование таблицы			Objects	
Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
Id	Счетчик	Первичный ключ	Да	Идентификатор объекта
Name	Текстовый	Нет	Да	Наименование объекта
Reestr	Текстовый	Нет	Нет	ГРРО
Address	Текстовый	Нет	Нет	Адрес
Latitude	Числовой	Нет	Нет	Широта
Longitude	Числовой	Нет	Нет	Долгота
AddressNearest	Текстовый	Нет	Нет	Адрес ближайшего населенного пункта
LenTrans	Числовой	Нет	Нет	Расстояние до транспортного узла
Throughput,	Числовой	Нет	Нет	Пропускная способность транспортного узла
Capacity	Числовой	Нет	Нет	Проектная вместимость

Таблица 2.21 – Структура таблицы «Замеры»

Наименование таблицы			Sample	
Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
IdObj	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор объекта
IdSample	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор замера
Date	Date/Time	Нет	Да	Дата замера
Capacity	Числовой	Нет	Нет	Вместимость
Depth	Числовой	Нет	Нет	Глубина накопителя
Area	Числовой	Нет	Нет	Площадь поверхности
layerAmount	Числовой	Нет	Нет	Количество слоев
Mass	Числовой	Нет	Нет	Масса отходов
Receipt	Числовой	Нет	Нет	Поступление отходов
Decrease1	Числовой	Нет	Нет	Уменьшение из-за утилизации
Decrease2	Числовой	Нет	Нет	Уменьшение из-за обезвреживания
Decrease3	Числовой	Нет	Нет	Уменьшение из-за передачи

Таблица 2.22 – Структура таблицы «Параметры»

Наименование таблицы			Parameters	
Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
IdSample	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор замера
IdLayer	Числовой	Внешний ключ	Да	Номер слоя
IdParam	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор параметра
Value	Числовой	Нет	Да	Значение
IdUnits	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор единицы измерения
IdMeter	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор измерительного прибора
Value	Числовой	-	-	Значение параметра

Таблица 2.23 – Структура таблицы «Измерительный прибор»

Наименование таблицы			Meter	
Имя поля	**Тип данных**	**Ключ**	**Обязательное поле**	**Примечание**
Id	Счетчик	Первичный ключ	Да	Идентификатор измерительного прибора
Name	Текстовый	Нет	Да	Наименование
Manufacture	Текстовый	Нет	Нет	Производитель
IdAccuracy	Числовой	Внешний ключ	Да	Идентификатор класса точности
Note	Memo	Нет	Нет	Примечание

Связи между соответствующими таблицами 2.1, 2.2, 2.11–2.23 устанавливаются в соответствии логической структурой БД и фиксируются в схеме данных.

Разработанная структура БД хранилищ НСО нефтегазовой промышленности позволяет эффективно хранить данные за счет организации распределения информации по таблицам. Аналогично БД технологий переработки (Рисунок 2.2), БД хранилищ НСО лишена основных проблем, которые возникают при разработке структуры данных: аномалий вставки, аномалий удаления и аномалий обновления данных. При проектировании БД учтены особенности предметной области: она позволяет хранить сведения о любом объекте хранения отходов, при этом не возникает потребности в её структурных изменениях.

При введении информации в БД необходимо, чтобы в соответствующие таблицы вносились корректные данные с учётом предъявляемым к ним требованиям. В [153] представлено описание алгоритма первичного анализа данных об отходах нефтегазового комплекса, в процессе разработки которого решены следующие задачи:

1. Определена форма(ы) представления исходных данных для анализа.
2. Формализованы требования к проверке корректности и соответствия собранной информации.
3. Разработана алгоритмическая процедура проверки соответствия и корректности представления собранной информации предъявляемым требованиям.
4. Определена форма представления результатов первичного анализа данных об отходах нефтегазового комплекса.

В дальнейшем в диссертации проблема корректности информации и проверка её соответствия предъявляемым требованием при внесении в БД решается аналогично [153].

2.4 Анализ качества информации о НСО и технологиях их переработки

Для организации эффективной переработки отходов в рамках КП НСО принципиально необходимо иметь информацию о количественном и качественном составе отходов конкретного хранилища. На основе этой информации, получаемой путем лабораторного анализа НСО в хранилищах, проводится технико-экономическое обоснование принимаемых решений по переработке отходов в промышленных масштабах. Вышесказанное приводит к необходимости разработки алгоритма получения формализованных количественных оценок качества информации, вносимой в соответствующие БД хранилищ НСО и технологий переработки (раздел 2.3), позволяющих гарантировать обоснованность решений, принятых на основе имеющейся информации, а также произвести анализ возможных способов повышения качества информации.

В диссертации разработан алгоритм анализа качества информации о НСО и технологиях их переработки (Рисунки 2.4 и 2.5), который включает 3 последовательных этапа.

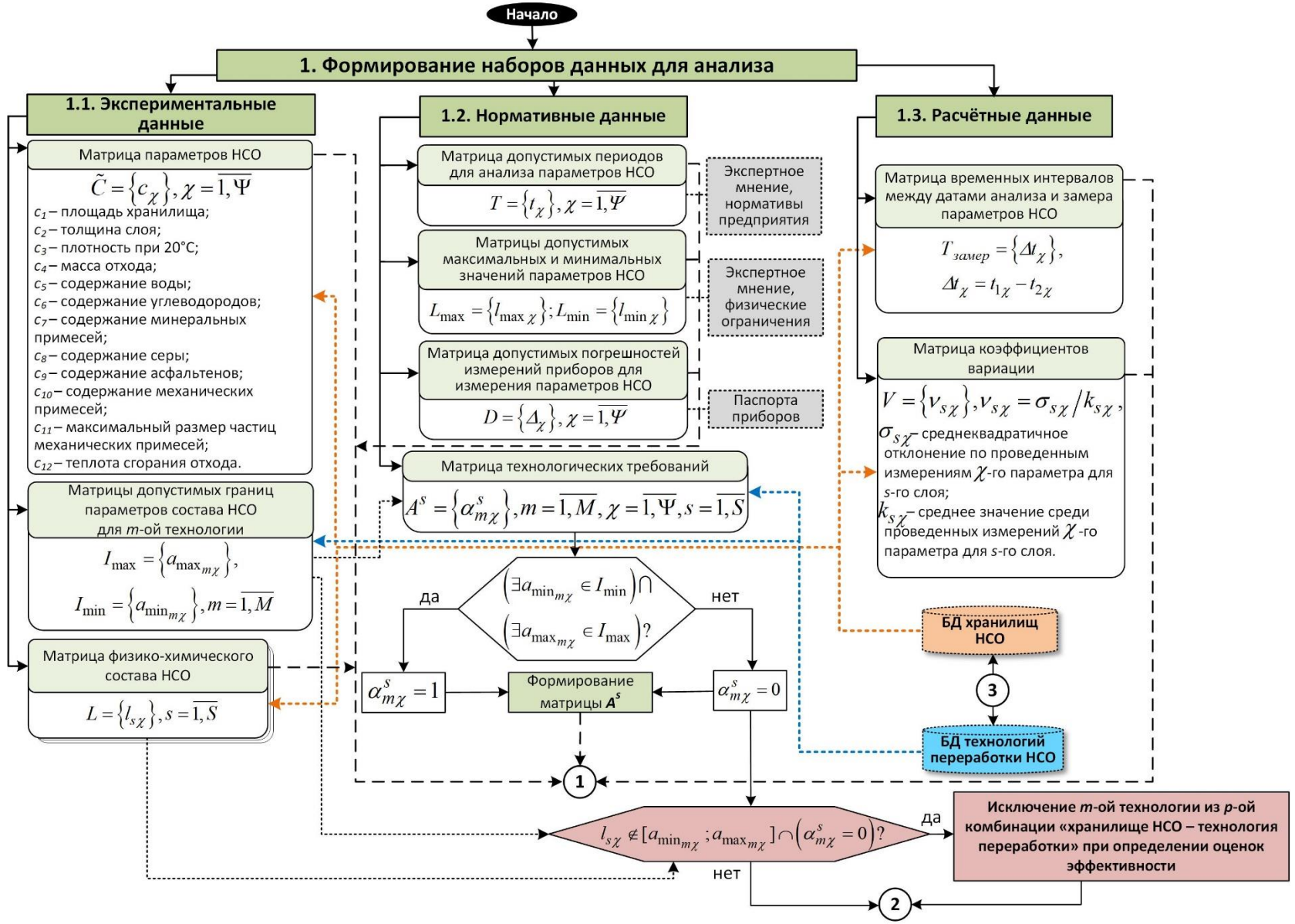


Рисунок 2.4 – Алгоритм анализа качества информации о НСО и технологиях их переработки

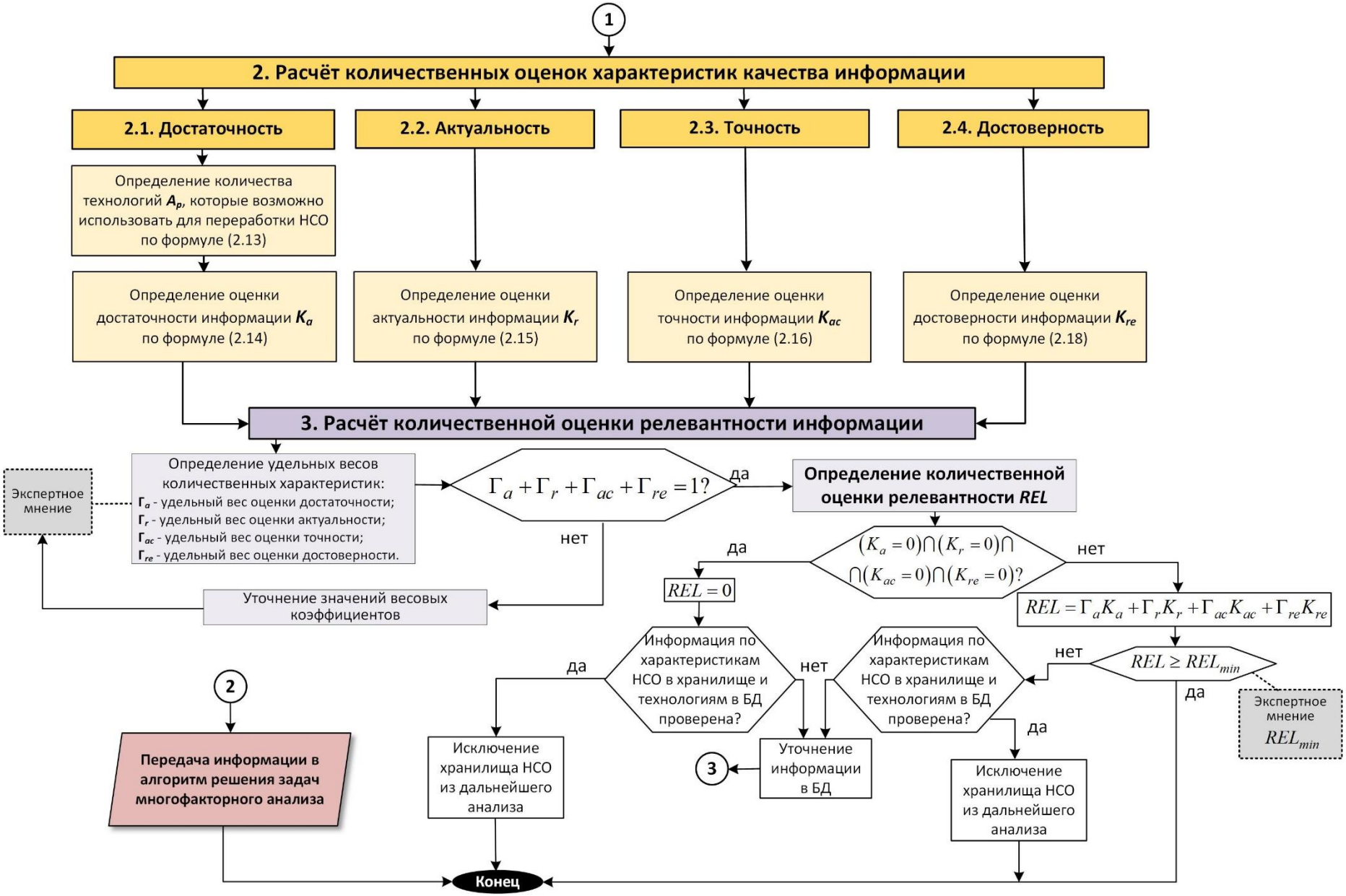


Рисунок 2.5 – Алгоритм анализа качества информации о НСО и технологиях их переработки (продолжение)

1. Формирование наборов исходных данных для анализа.
2. Расчёт количественных характеристик качества информации.
3. Расчёт количественной оценки релевантности информации.

Первый этап формирования наборов исходных данных для анализа включает 3 шага (Рисунок 2.4), на первом из которых определяются экспериментальные значения параметров и физико-химический состав НСО из БД хранилищ НСО, а также допустимые границы изменения параметров состава отходов из БД технологий переработки.

Для формирования данных по составу НСО, определяется набор физических и химических параметров, полностью характеризующих состав НСО, который может быть представлен в виде матрицы-строки:

$$\tilde{C} = (c_1 \quad ... \quad c_\chi \quad ... \quad c_\Psi), \tag{2.1}$$

где χ – номер параметра, $\chi = \overline{1,\Psi}$; $\Psi = 12$ – общее количество анализируемых параметров НСО; c_1 – площадь хранилища, [м^2]; c_2 – глубина хранилища или толщина слоя, [м]; c_3 – масса отходов, [т]; c_4 – плотность отходов при 20 °С, [кг/см^3]; c_5 – содержание воды в перерабатываемых отходах, [% масс.]; c_6 – содержание светлых нефтепродуктов, [% масс.]; c_7 – содержание минеральных примесей, [% масс.]; c_8 – содержание серы, [% масс.]; c_9 – содержание асфальтенов, [% масс.]; c_{10} – содержание механических примесей, [% масс.]; c_{11} – максимальный размер частиц механических примесей, [мм]; c_{12} – теплота сгорания отходов, [кДж/кг].

Матрицы $I_{\min}$ и $I_{\max}$, содержащие границы интервалов допустимых численных значений параметров состава c_χ, $\chi = \overline{1,\Psi}$ для каждой m-ой технологии, записываются в следующем виде:

$$I_{\min} = \begin{pmatrix} a_{\min_{11}} & \cdots & a_{\min_{1\Psi}} \\ \vdots & a_{\min_{m\chi}} & \vdots \\ a_{\min_{M1}} & \cdots & a_{\min_{M\Psi}} \end{pmatrix}, \quad I_{\max} = \begin{pmatrix} a_{\max_{11}} & \cdots & a_{\max_{1\Psi}} \\ \vdots & a_{\max_{m\chi}} & \vdots \\ a_{\max_{m1}} & \cdots & a_{\max_{M\Psi}} \end{pmatrix}, \tag{2.2}$$

где $a_{\min_{m\chi}}$ и $a_{\max_{m\chi}}, m = \overline{1,M}$, $\chi = \overline{1,\Psi}$ - соответственно, минимальные и максимальные допустимые значения параметра c_χ, $\chi = \overline{1,\Psi}$ состава отходов,

определяющие интервал $[a_{\min_{m\chi}}; a_{\max_{m\chi}}]$, $m=\overline{1,M}$, $\chi=\overline{1,\Psi}$, возможных изменений численных значений параметра c_χ, $\chi=\overline{1,\Psi}$, характеризующих применимость *m*-ой технологии для переработки данного вида отходов.

В случае, если отходы в хранилищах разделяются на слои, физико-химический состав таких отходов вместо матрицы-строки $\tilde{C}$ может быть представлен в виде матрицы:

$$L=\begin{pmatrix} l_{11} & \dots & l_{1\Psi} \\ \dots & l_{s\chi} & \dots \\ l_{S1} & \dots & l_{S\Psi} \end{pmatrix}, \qquad (2.3)$$

где $s=\overline{1,S}$ - номер слоя, при условном разделении нефтяных отходов на слои; *S*-общее количество слоев (например, жидкие НСО обычно разделяются на *S* = 3 слоя (раздел 1.1)); столбец с номером $\chi=\overline{1,\Psi}$ соответствует параметру отходов c_χ, $\chi=\overline{1,\Psi}$; $l_{s\chi}$ - значение χ-го параметра на *s*-ом слое.

Как и в матрице-строке $\tilde{C}$ (2.1), количество оцениваемых параметров совпадает с количеством столбцов матрицы *L* (2.3), соответственно, должны совпадать виды параметров матриц $I_{\min}$ и $I_{\max}$ (2.2), *L* (2.3), имеющих одинаковый индекс χ. Элементы в строках матрицы *L* соответствуют расположению элементов матрицы $\tilde{C}$ для соответствующего слоя *s*.

На втором шаге первого этапа алгоритма определяются нормативные данные, включающие допустимые периоды для анализа параметров, погрешности измерения приборов, матрицы технологических требований, матрицы максимальных и минимальных значений параметров НСО (Рисунок 2.4).

Для каждого χ-го параметра матрицы *L* (2.3) существует предельно допустимый период t_χ между двумя его измерениями, в течение которого данные об этом параметре считаются актуальными, что позволяет составить следующую матрицу:

$$T=\begin{pmatrix} t_1 & \dots & t_\chi & \dots & t_\Psi \end{pmatrix}, \chi=\overline{1,\Psi}, \qquad (2.4)$$

где $\Psi = 12$, аналогично (2.1).

Данные для матрицы T (2.4) определяются исходя из научно-обоснованных знаний о возможной скорости изменения параметров, оценок экспертов, практической целесообразности и внутренних нормативов предприятия по контролю за изменением параметров хранилища (если таковые имеются).

Для каждого χ-го параметра матрицы L (2.3) существует предельно допустимый диапазон минимальных и максимальных значений, определяемых экспертами и(или) объективными физическими ограничениями, который вносится в БД хранилищ НСО, что позволяет составить матрицы $L_{\min}$ и $L_{\max}$:

$$L_{\min} = (l_{\min 1} \quad \dots \quad l_{\min \chi} \quad \dots \quad l_{\min \Psi}), \quad L_{\max} = (l_{\max 1} \quad \dots \quad l_{\max \chi} \quad \dots \quad l_{\max \Psi}), \quad (2.5)$$

где $l_{\min \chi}$, $\chi = \overline{1, \Psi}$ - минимальное возможное значение χ-го параметра НСО, $l_{\max \chi}$, $\chi = \overline{1, \Psi}$ - максимальное возможное значение χ-го параметра НСО.

Матрица-строка «погрешностей измерения» D, содержащая данные о погрешностях приборов, которыми проводились замеры, имеет вид:

$$D = \left(\Delta_1 \quad \dots \quad \Delta_\chi \quad \dots \quad \Delta_\Psi\right), \chi = \overline{1, \Psi}, \quad (2.6)$$

где количество оцениваемых параметров Ψ совпадает с количеством столбцов матрицы L (2.3); Δ_χ, $\chi = \overline{1, \Psi}$ - значения допустимых погрешностей приборов, которыми проводятся измерения параметров c_χ, $\chi = \overline{1, \Psi}$.

Матрица технологических требований по данным БД технологий переработки может быть представлена в следующем виде:

$$A = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \dots & \alpha_{1\Psi} \\ \vdots & \alpha_{m\chi} & \vdots \\ \alpha_{m1} & \dots & \alpha_{M\Psi} \end{pmatrix}, \quad (2.7)$$

Строка с номером m, $m = \overline{1, M}$ соответствует m-ой из M рассматриваемых технологий переработки; столбец с номером χ, $\chi = \overline{1, \Psi}$ соответствует χ-му параметру отходов c_χ, $\chi = \overline{1, \Psi}$, каждый элемент $\alpha_{m\chi}$ принимает значение 1, если информация о численном значении параметра c_χ должна быть учтена для принятия

решения о применимости *m*-ой технологии, и $\alpha_{m\chi}$ принимает значение 0 в противном случае.

$$\alpha_{m\chi} = \begin{cases} 1, & \textit{если} \quad \exists a_{\min_{m\chi}} \quad \textit{и} \quad \exists a_{\max_{m\chi}}; \\ 0, & \textit{если} \quad \nexists a_{\min_{m\chi}} \quad \textit{или} \quad \nexists a_{\max_{m\chi}}. \end{cases} \tag{2.8}$$

Для случая, когда НСО разделяется на слои матрица А (2.7) определяется для каждого *s*-го слоя отдельно:

$$A^s = \begin{pmatrix} \alpha_{11}^s & \cdots & \alpha_{1\Psi}^s \\ \vdots & \alpha_{m\chi}^s & \vdots \\ \alpha_{m1}^s & \cdots & \alpha_{M\Psi}^s \end{pmatrix}, \; s = \overline{1,S}, \tag{2.9}$$

где $\alpha_{m\chi}^s$ определяется аналогично формуле (2.8) для каждого *s*-го слоя отдельно, $s = \overline{1,S}$, с учётом соответствующих границ интервалов $[a_{\min_{m\chi}}; a_{\max_{m\chi}}]$, $m = \overline{1,M}$, $\chi = \overline{1,\Psi}$.

Для определения оценок эффективности комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» в КП НСО, процедура расчёта которых описана в главе 3, прежде всего необходимо установить набор физически реализуемых комбинаций. Каждая из таких комбинаций должна соответствовать условию применимости *m*-ой технологии для переработки НСО каждом хранилище, т.е. необходимо выполнение следующего условия, формулируемого с учётом элементов матрицы A^s (2.9):

$$l_{s\chi} \in [a_{\min_{m\chi}}; a_{\max_{m\chi}}] \cap \left(\alpha_{m\chi}^s = 1\right), \; m = \overline{1,M}, \; \chi = \overline{1,\Psi}, s = \overline{1,S}. \tag{2.10}$$

Если условие (2.10) не выполняется, то считается, что использовать *m*-ую технологию в рассматриваемой комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» невозможно. Поэтому для таких комбинаций оценки ресурсного потенциала (раздел 3.3.2), экологической безопасности (раздел 3.3.3), ресурсо- и энергоэффективности (раздел 3.3.4) и комплексной эффективности (раздел 3.3.5) принимаются равными 0. В результате чего, комбинации, не соответствующие

условию (2.10), не рассматриваются при решении задач многофакторного анализа и оптимизации КП НСО (разделы 3.4 и 4.2).

На третьем шаге первого этапа алгоритма определяются дополнительные расчётные данные в виде матриц временных интервалов между измерениями и датой проведения анализа, коэффициентов вариации и максимальных и минимальных значений параметров НСО в хранилищах (Рисунок 2.4).

Матрица $T_{замер}$ характеризует интервалы времени между датой замеров параметров $t2_{\chi}$ и датой использования этих данных $t1_{\chi}$, в сутках:

$$T_{замер} = \left(\Delta t_1 \quad ... \quad \Delta t_{\chi} \quad ... \quad \Delta t_{\Psi} \right), \tag{2.11}$$

где $\Delta t_{\chi} = t1_{\chi} - t2_{\chi}$, $\chi = \overline{1, \Psi}$.

Каждый χ-ый параметр может измеряться с использованием различных технических средств, а данные измерений по каждому параметру могут иметь статистическую выборку и коэффициент вариации измерений, если имеется серия измерений. Матрица коэффициентов вариации для измеряемых параметров по слоям объекта, подобная *L* (2.3), имеет вид:

$$V = \begin{pmatrix} v_{11} & ... & v_{1\Psi} \\ ... & v_{s\chi} & ... \\ v_{S1} & ... & v_{S\Psi} \end{pmatrix}, \tag{2.12}$$

где $v_{s\chi}, s = \overline{1, S}$, $\chi = \overline{1, \Psi}$ - коэффициенты вариации, полученные при определении каждого параметра по каждому слою. Принимается следующее условие, что среднее значение коэффициента вариации одного слоя $\overline{v}_{s\chi} \le 1/S$. Если проводится только одно измерение χ-го параметра, то матрица коэффициентов вариации (2.12) для этого параметра не определяется.

На втором этапе алгоритма осуществляется расчёт количественных характеристик качества информации в виде оценок достаточности, актуальности, точности и достоверности информации (Рисунок 2.5).

Оценка достаточности информации, под которой понимается мера необходимого объема информации в БД для адекватной оценки функционирования

элементов и принятия решений в КП НСО, определяется с использованием матриц физико-химического состава отходов анализируемого ресурсного источника L (2.3) и технологических требований A^S (2.9). Объем достаточной информации об отходах зависит от количества технологий A_P, возможность применения которых к отходам с учётом их разделения на S слоёв может быть проанализирована на основании данных о компонентном составе $l_{s\chi}$, $\chi = \overline{1,\Psi}$ каждого s-го слоя, т.е. если $l_{s\chi} \notin \varnothing \mid \alpha_{m\chi}^{s} = 1,\ s = \overline{1,S}$. В идеальном случае при наличии данных обо всех слоях L (2.3), позволяющих провести анализ всех технологий A^S (2.9), максимально возможное значение $A_{P_{\max}} = M \cdot S$, где M – общее количество анализируемых технологий. В практически встречающихся случаях, когда не все технологии A^S (2.9) могут быть проанализированы на основании данных по слоям L (2.3), оценка A_P вычисляется по следующему выражению:

$$A_P = \begin{cases} \sum_{s=1}^{S} \sum_{m=1}^{M} \alpha_{m\chi}^{s}, \textit{ если } \{ l_{s\chi} \notin \varnothing \mid \alpha_{m\chi}^{s} = 1 \forall \chi = \overline{1,\Psi} \}; \\ 0, \textit{иначе.} \end{cases}. \qquad (2.13)$$

Если $A_P = 0$ по (2.13), то все M анализируемых технологических установок не подходят для переработки в КП НСО и требуется уточнить в БД информацию об отходах и технологиях.

Количественная оценка достаточности информации для каждого хранилища НСО определяется по формуле:

$$K_a = \frac{A_P}{M \cdot S}. \qquad (2.14)$$

Для определения оценки актуальности информации, под которой понимается степень соответствия допустимого интервала времени между датами измерения и контроля по каждому параметру, используются матрицы T (2.4) и $T_{замер}$ (2.10). Количественная оценка актуальности для каждого хранилища НСО может быть определена по следующему выражению:

$$K_r = \begin{cases} 0, \textit{ если } \max\left(T_{замер}\right) \geq \min\left(T\right); \\ 1 - \dfrac{\max\left(T_{замер}\right)}{\min\left(T\right)}, \textit{иначе.} \end{cases} \quad (2.15)$$

Поддержание актуальности информации производится при необходимости путем проведения повторных исследований физико-химических параметров отходов.

Оценку точности информации, под которой понимается оценка соответствия точности измерения допустимым погрешностям с учётом применяемых для измерения приборов D (2.6), необходимо проводить при условии проведения измерений для определения параметров состава отходов с соблюдением всех требований ГОСТ Р 8.563—2009 [154]. Среднее значение выраженного в долях коэффициента вариации для измерений, проводимых в рамках одного хранилища, $\bar{v}_{s\chi}$, $s = \overline{1,S}$ не должно превышать 1/S, в противном случае требуется повторно оценить толщину условных S слоёв анализируемого хранилища отходов, а также провести повторные измерения в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.563—2009.

Вычисление оценки точности информации для каждого хранилища НСО осуществляется по формуле:

$$K_{ac} = \begin{cases} 0, \textit{ если } \left(\max\left(\bar{v}_{s\chi}\right) > \dfrac{1}{S} \oplus \left(1 - S \cdot \max\left(\bar{v}_{s\chi}\right) - \max D\right) < 0 \right), s = \overline{1,S}; \\ 1 - S \cdot \max\left(\bar{v}_{s\chi}\right) - \max D, \textit{ иначе.} \end{cases} \quad (2.16)$$

Под достоверностью информации понимается её объективность, систематическое представление данных, возможность верификации и отсутствие искажения данных. Используемая информация по объектам хранения отходов и технологиям переработки считается объективной и верифицируемой, т. к. предполагается её получение из официальных надежных и проверяемых источников. Систематизация данных обеспечивается посредством их хранения в разработанных БД хранилищ и технологий переработки для структурированного представления информации. Принимая допущение, что искажение информации возможно при вводе и обработке данных в БД, под оценкой достоверности

информации понимается соответствие вводимых в БД хранилищ НСО значений параметров $l_{s\chi}$ матрицы L (2.3) допустимым границам анализируемых параметров $L_{\min}$ и $L_{\max}$ (2.5), что определяется выполнением для каждого χ-го параметра условия:

$$l_{\min_\chi} \le l_{s\chi} \le l_{\max_\chi},\ s=\overline{1,S}. \tag{2.17}$$

Тогда вычисление оценки достоверности информации для каждого хранилища НСО с учётом условия (2.17) осуществляется по формуле:

$$K_{re} = \begin{cases} 1,\ \textit{если}\ \forall l_{s\chi} \in [l_{\min_\chi}; l_{\max_\chi}], \chi=\overline{1,\Psi}, s=\overline{1,S}; \\ 0,\ \textit{иначе.} \end{cases} \tag{2.18}$$

На третьем этапе алгоритма осуществляется расчёт количественной оценки релевантности информации, для проведения которого необходимо задать значения удельных весов соответствующих оценок, опираясь на экспертное мнение в соответствии с задачами, поставленными в исследовании. Сумма всех удельных весов должна быть равной 1:

$$\Gamma_a + \Gamma_r + \Gamma_{ac} + \Gamma_{re} = 1,$$

где Γ_a, Γ_r, Γ_{ac}, Γ_{re} – удельные веса оценок достаточности (2.14), актуальности (2.15), точности (2.16) и достоверности (2.18), соответственно.

Количественное значение оценки релевантности REL равно 0, если какая-либо из оценок, описанных на втором этапе алгоритма, равна 0. В случае ненулевых оценок качества информации, средневзвешенное значение отдельных оценок информации для каждого хранилища НСО рассчитывается с учетом известных удельных весов:

$$REL = \begin{cases} 0, \quad \textit{если} \quad (K_a = 0) \cap (K_r = 0) \cap (K_{ac} = 0) \cap (K_{re} = 0); \\ \Gamma_a \cdot K_a + \Gamma_r \cdot K_r + \Gamma_{ac} \cdot K_{ac} + \Gamma_{re} \cdot K_{re},\ \textit{иначе.} \end{cases} \tag{2.19}$$

В результате применения описанного алгоритма определятся обобщенная количественная оценка релевантности REL, характеризующая качество информации в БД хранилищ НСО. В случае, если оценка релевантности REL имеет значение ниже допустимой $REL_{\min}$ или равна 0, то проводится уточнение информации в БД хранилищ НСО и технологий переработки, после которого

алгоритм анализа качества применяется повторно. Если после этого оценка релевантности REL также имеет значение ниже допустимой $REL_{\min}$ или равна 0, то соответствующие хранилища НСО исключаются из дальнейшего анализа КП НСО.

Для апробации и реализации алгоритма (Рисунки 2.4, 2.5) разработано специальное программное обеспечение (ПО) [36]. Пример реализации алгоритма анализа качества информации о НСО и технологиях их переработки представлен для тестовой выборки, включающей N=10 хранилищ НСО и M=5 технологических установок, сведения о которых приведены в таблицах 2.24 и 2.25.

В ходе апробации этапа 1 алгоритма на шаге 1 составлены соответствующие матрицы экспериментальных данных: в таблице 2.26 представлена матрица $\tilde{C}$ физических и химических параметров. В таблицах 2.27 и 2.28 матрицы верхних I_{max} и нижних I_{min} допустимых границ применения анализируемых технологических установок, соответственно. В таблицах 2.29 и 2.30 для примера показаны матрицы L физико-химического состава хранилищ НСО №1 и №2, соответственно.

Таблица 2.24 – Исходные данные о НСО в хранилищах

Номер храни-лища *n*	Наименование хранилища НСО	Площадь [м^2]	Глубина по док-там, [м]	Толщ. верхнего слоя (s=1), [м]	Толщ. среднего слоя (s=2), [м]	Толщ. Донного слоя (s=3), [м]	Масса отходов [т]	Дата замера
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
1	1 амбар за Луганским товарным парком	4800	1,52	0,1	1,04	0,38	7770	03.09.2022
2	2 амбар за Луганским товарным парком	1200	1,63	0,13	1,03	0,47	1740	03.09.2022
3	3 амбар за Луганским товарным парком	1800	1,8	0,09	1,28	0,43	2800	03.09.2022
4	Амбар №1 Яблоневского месторождения	3458	5,5	1,3	1,04	1,53	19850	10.09.2022
5	Амбар АГЗУ №2 Южно-Неприковского м/р	177	0,53	0,14	0	0,39	179	13.09.2022
6	Амбар АГЗУ №356 Подгорненского м/р	100	0,41	0,18	0	0,23	40	17.09.2022
7	Амбар АГЗУ №356а Подгорненского м/р	98	0,28	0,17	0	0,11	26	17.09.2022
8	Илонакопитель УКПН-1 №1	5200	1,57	0,86	0,37	0,34	7775	25.09.2022
9	Илонакопитель УКПН-1 №2	5200	1,61	0,85	0,41	0,34	8076	25.09.2022
10	Илонакопитель УКПН-1 №3	8500	1,6	0,85	0,39	0,36	13079	25.09.2022

Продолжение таблицы 2.24

n	Содержание компонентов в верхнем слое НСО								
	Слой s	Вода, [% масс.]	Ценные углеводороды [% масс.]	Минеральные примеси [% масс.]	Сера [% масс.]	Асфальтены [% масс.]	Плотность при 20°C [кг/см^3]	Механические примеси [% масс.]	Макс.разм.част. мех.прим [мм]
1	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*	*18*
1	1	24,56	49,34	11,95	0,93	14,14	1,002	4,01	3
2	1	25,41	41,43	12,53	0,94	20,64	1,016	9,32	6
3	1	18,78	55,33	2,47	0,95	23,42	0,971	12,10	5
4	1	1,14	75,58	8,52	1,58	14,76	0,939	2,89	2
5	1	17,53	59,62	0,29	1,51	21,56	0,925	10,63	4
6	1	24,55	54,96	3,92	0,82	16,02	0,943	5,23	3
7	1	31,22	53,26	4,89	0,79	10,24	0,949	3,26	2
8	1	7,22	78,88	0,23	1,17	14,13	0,947	6,36	3
9	1	22,32	65,26	0,74	1,2	11,68	0,942	6,24	3
10	1	21,13	64,02	0,89	0,73	13,95	0,947	7,12	2

Продолжение таблицы 2.24

n	Содержание компонентов в среднем слое НСО								
	Слой s	Вода, [% масс.]	Ценные углеводороды [% масс.]	Минеральные примеси [% масс.]	Сера [% масс.]	Асфальтены [% масс.]	Плотность при 20°С [кг/см^3]	Механические примеси [% масс.]	Макс.разм.част. мех.прим [мм]
1	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*	*18*
1	2	98,37	0,22	1,17	0,93	0,25	1,05	1,34	2
2	2	99,29	0,08	0,55	0,93	0,1	1,092	1,04	2
3	2	99,23	0,08	0,62	0,93	0,07	1,091	0,98	1
4	2	49,49	29,4	2,9	1,58	18,21	1,015	8,61	3
5	2	-	-	-	-	-	-	-	-
6	2	-	-	-	-	-	-	-	-
7	2	-	-	-	-	-	-	-	-
8	2	99,89	0,07	0,03	0,93	0	0,993	0,91	1
9	2	99,81	0,03	0,03	0,93	0,14	0,996	1,03	1
10	2	99,86	0,08	0,01	0,05	0,05	1,005	1,01	2

Продолжение таблицы 2.24

n	Содержание компонентов в донном слое НСО								
	Слой s	Вода, [% масс.]	Ценные углеводороды [% масс.]	Минеральные примеси [% масс.]	Сера [% масс.]	Асфальтены [% масс.]	Плотность при 20°С [кг/см^3]	Механические примеси [% масс.]	Макс.разм.част. мех.прим [мм]
1	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*	*18*
1	3	26,9	37,35	18,13	0,93	17,62	1,125	6,01	4
2	3	24,35	32,68	31,23	0,93	11,74	1,262	7,23	4
3	3	28,57	40,22	20,19	0,93	11,01	1,142	6,91	5
4	3	19,53	36,36	28,06	1,57	16,05	1,157	3,94	4
5	3	2,4	59,44	2,31	1,49	56,41	0,98	21,34	5
6	3	22,64	54,24	4,52	0,79	18,08	1,01	6,32	3
7	3	27,48	53,29	3,46	0,82	15,35	0,99	5,23	3
8	3	14,63	73,88	0,03	1,41	11,47	0,924	4,64	3
9	3	33,31	43,65	9,07	1,16	13,97	0,99	7,02	4
10	3	30,57	47,52	1,41	1,1	20,51	0,947	8,91	4

Таблица 2.25 – Исходные данные о технологических установках

m	Наименование технологической установки	Требования к физическим характеристикам перерабатываемых отходов					
		Плотность при 20ºС			Теплота сгорания		
		Ед.измерения	Мин. возмож. знач.	Макс. возмож. знач.	Ед.измерения	Мин. возмож. знач.	Макс. возмож. знач.
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
1	МегаМакс	кг/см^3	900	2800	-	-	-
2	Инсинератор IZHTEL-2000	кг/см^3	850	1700	-	-	-
3	УПБШ-10С/УПБШ-10СД	кг/см^3	1800	2400	-	-	-
4	Фортан-М / Фортан-ТМ	кг/см^3	870	2300	-	-	-
5	HOLO-SCRU	кг/см^3	900	1800	-	-	-

Продолжение таблицы 2.25

m	Требования к компонентному составу перерабатываемых отходов											
	Ценные углеводороды			Вода			Асфальтены			Сера		
	Ед.измерения	Мин. возмож. знач.	Макс. возмож. знач.	Ед.измерения	Мин. возмож. знач.	Макс. возмож. знач.	Ед.измерения	Мин. возмож. знач.	Макс. возмож. знач.	Ед.измерения	Мин. возмож. знач.	Макс. возмож. знач.
1	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*	*18*	*19*	*20*
1	% масс.	0	100	% масс.	5,8	15	% масс.	11	25	% масс.	1,13	1,15
2	% масс.	30	55	% масс.	20	70	% масс.	8	20	% масс.	0,98	1,35
3	% масс.	40	80	% масс.	6	50	% масс.	5	20	% масс.	0,91	1,74
4	% масс.	15	98	% масс.	19	40	% масс.	0,26	25	% масс.	0,76	2
5	% масс.	0	100	% масс.	0	100	% масс.	0,5	87	% масс.	0,15	1,21

Продолжение таблицы 2.25

m	Механические примеси			
	Максимальный размер частиц примесей (мм)	Значение [% масс.]	Максимально возможное значение [% масс.]	Минимально возможное значение [% масс.]
1	*21*	*22*	*23*	*24*
1	20	70	100	0
2	20	50	55	30
3	5	84	90	40
4	150	100	100	25
5	100	100	100	0

Таблица 2.26 – Матрица $\tilde{C}$ физических и химических параметров

Номер χ, наименование параметра, единицы измерения											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Площадь, [м^2]	Глубина, [м]	Масса отходов, [т]	Плотность при 20 °С, [кг/см^3]	Вода, [% масс.]	Ценные углеводороды, [% масс.]	Мин примеси, [% масс.]	Сера, [% масс.]	Асфальтены, [% масс.]	Мех. примеси, [% масс.]	Макс.размер частиц мех.примесей, [мм]	Теплота сгорания, [кДж/кг]

Таблица 2.27 – Матрица I_{max} верхних допустимых границ применения анализируемых технологий

m	Площадь, [м^2]	Глубина, [м]	Масса отходов, [т]	Плотность при 20 °С, [кг/см^3]	Вода, [% масс.]	Ценные углеводороды, [% масс.]	Мин примеси, [% масс.]	Сера, [% масс.]	Асфальтены, [% масс.]	Мех. примеси, [% масс.]	Макс.размер частиц мех.примесей, [мм]	Теплота сгорания, [кДж/кг]
1	-	-	-	2800	15	100	-	1,15	25	100	-	-
2	-	-	-	1700	70	55	-	1,35	20	55	-	-
3	-	-	-	2400	50	80	-	1,74	20	90	-	-
4	-	-	-	2300	40	98	-	2	25	100	-	-
5	-	-	-	1800	100	100	-	1,21	87	100	-	-

Таблица 2.28 – Матрица I_{min} нижних допустимых границ применения анализируемых технологий

m	Площадь, [м^2]	Глубина, [м]	Масса отходов, [т]	Плотность при 20 °С, [кг/см^3]	Вода, [% масс.]	Ценные углеводороды, [% масс.]	Мин примеси, [% масс.]	Сера, [% масс.]	Асфальтены, [% масс.]	Мех. примеси, [% масс.]	Макс.размер частиц мех.примесей, [мм]	Теплота сгорания, [кДж/кг]
1	-	-	-	900	5,8	0	-	1,13	11	0	-	-
2	-	-	-	850	20	30	-	0,98	8	30	-	-
3	-	-	-	1800	6	40	-	0,91	5	40	-	-
4	-	-	-	870	19	15	-	0,76	0,26	25	-	-
5	-	-	-	900	0	0	-	0,15	0,5	0	-	-

Таблица 2.29 – Матрица L физико-химического состава хранилища НСО №1

Номер слоя *s*	Площадь, [м^2]	Глубина, [м]	Масса отходов, [т]	Плотность при 20 °С, [кг/см^3]	Вода, [% масс.]	Ценные углеводороды, [% масс.]	Мин примеси, [% масс.]	Сера, [% масс.]	Асфальтены, [% масс.]	Мех. примеси, [% масс.]	Макс.размер частиц мех.примесей, [мм]	Теплота сгорания, [кДж/кг]
1	4800	0,1	480,96	1,002	24,56	49,34	11,95	0,93	14,14	4,01	3	-
2	4800	1,04	5241,6	1,05	98,37	0,219	1,17	0,93	0,25	1,34	2	-
3	4800	0,38	2052	1,125	26,9	37,35	18,13	0,93	17,62	6,01	4	-

Таблица 2.30 – Матрица L физико-химического состава хранилища НСО №2

Номер слоя *s*	Площадь, [м^2]	Глубина, [м]	Масса отходов, [т]	Плотность при 20 °С, [кг/см^3]	Вода, [% масс.]	Ценные углеводороды, [% масс.]	Мин примеси, [% масс.]	Сера, [% масс.]	Асфальтены, [% масс.]	Мех. примеси, [% масс.]	Макс.размер частиц мех.примесей, [мм]	Теплота сгорания, [кДж/кг]
1	0,26	767,624	0,976	26,3	41,49	20,71	1,36	11,5	6,21	4	3	-
2	0,87	2694,912	1,024	98,39	0,43	0,9	0,93	0,27	0,24	1	2	-
3	0,45	1745,122	1,2819999	26,78	31,329	31,66	1,36	10,22	6,81	4	4	-

На 2-ом шаге 1-го этапа алгоритма (Рисунок 2.4, 2.5) формируются матрицы: допустимых периодов *T* (Таблица 2.31), погрешностей измерений *D* (Таблица 2.32), технологических требований *A* (Таблица 2.33).

Таблица 2.31 – Матрица *T* допустимых периодов, [суток]

Площадь, [м^2]	Глубина, [м]	Масса отходов, [т]	Плотность при 20 °С, [кг/см^3]	Вода, [% масс.]	Ценные углеводороды, [% масс.]	Мин примеси, [% масс.]	Сера, [% масс.]	Асфальтены, [% масс.]	Мех. примеси, [% масс.]	Макс.размер частиц мех.примесей, [мм]	Теплота сгорания, [кДж/кг]
365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365

Таблица 2.32 – Матрица *D* погрешностей измерений

Площадь, [м^2]	Глубина, [м]	Масса отходов, [т]	Плотность при 20 °С, [кг/см^3]	Вода, [% масс.]	Ценные углеводороды, [% масс.]	Мин примеси, [% масс.]	Сера, [% масс.]	Асфальтены, [% масс.]	Мех. примеси, [% масс.]	Макс.размер частиц мех.примесей, [мм]	Теплота сгорания, [кДж/кг]
0,1	0,1	0,15	0,05	0,1	0,1	0,1	0,09	0,1	0,1	0,1	-

На 3-ем шаге 1-го этапа алгоритма (Рисунок 2.4, 2.5) рассчитываются элементы следующих матриц: $T_{замер}$ интервалов времени для хранилищ, *V* коэффициентов вариаций (для примера показаны данные для хранилищ №1 и №2 в таблицах 2.34 и 2.35, 2.36 и 2.37 соответственно), L_{min} минимальных значений параметров НСО (Таблица 2.38), L_{max} максимальных значений параметров НСО (Таблица 2.39).

Таблица 2.33 – Матрица *A* технологических требований

m	Площадь, [м^2]	Глубина, [м]	Масса отходов, [т]	Плотность при 20 ºС, [кг/см^3]	Вода, [% масс.]	Ценные углеводороды, [% масс.]	Мин примеси, [% масс.]	Сера, [% масс.]	Асфальтены, [% масс.]	Мех. примеси, [% масс.]	Макс.размер частиц мех.примесей, [мм]	Теплота сгорания, [кДж/кг]
1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0
2	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0
3	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0
4	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0
5	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0

Таблица 2.34 – Матрица $T_{замер}$ интервалов времени для хранилища НСО №1, [суток]

Площадь, [м^2]	Глубина, [м]	Масса отходов, [т]	Плотность при 20 ºС, [кг/см^3]	Вода, [% масс.]	Ценные углеводороды, [% масс.]	Мин примеси, [% масс.]	Сера, [% масс.]	Асфальтены, [% масс.]	Мех. примеси, [% масс.]	Макс.размер частиц мех.примесей, [мм]	Теплота сгорания, [кДж/кг]
59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	-

Таблица 2.35 – Матрица $T_{замер}$ интервалов времени для хранилища НСО №2, [суток]

Площадь, [м^2]	Глубина, [м]	Масса отходов, [т]	Плотность при 20 ºС, [кг/см^3]	Вода, [% масс.]	Ценные углеводороды, [% масс.]	Мин примеси, [% масс.]	Сера, [% масс.]	Асфальтены, [% масс.]	Мех. примеси, [% масс.]	Макс.размер частиц мех.примесей, [мм]	Теплота сгорания, [кДж/кг]
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	-

Таблица 2.36 – Матрица V коэффициентов вариаций для хранилища НСО №1

Площадь, [м^2]	Глубина, [м]	Масса отходов, [т]	Плотность при 20 °С, [кг/см^3]	Вода, [% масс.]	Ценные углеводороды, [% масс.]	Мин примеси, [% масс.]	Сера, [% масс.]	Асфальтены, [% масс.]	Мех. примеси, [% масс.]	Макс.размер частиц мех.примесей, [мм]	Теплота сгорания, [кДж/кг]
0	0,009526	0,00936	0,000585	0,008401	0,00884	0,00824	0	0,008613	0,006187	0,003333	-

Таблица 2.37 – Матрица V коэффициентов вариаций для хранилища НСО №2

Площадь, [м^2]	Глубина, [м]	Масса отходов, [т]	Плотность при 20 °С, [кг/см^3]	Вода, [% масс.]	Ценные углеводороды, [% масс.]	Мин примеси, [% масс.]	Сера, [% масс.]	Асфальтены, [% масс.]	Мех. примеси, [% масс.]	Макс.размер частиц мех.примесей, [мм]	Теплота сгорания, [кДж/кг]
0	0,005927	0,005552	0,001504	0,008216	0,008758	0,00878	0,00204	0,008387	0,008218	0,005774	-

Таблица 2.38 – Матрица L_{min} минимальных значений параметров НСО

Площадь, [м^2]	Глубина, [м]	Масса отходов, [т]	Плотность при 20 °С, [кг/см^3]	Вода, [% масс.]	Ценные углеводороды, [% масс.]	Мин примеси, [% масс.]	Сера, [% масс.]	Асфальтены, [% масс.]	Мех. примеси, [% масс.]	Макс.размер частиц мех.примесей, [мм]	Теплота сгорания, [кДж/кг]
0,01	0,01	0,01	0,1	0	10	0	0	0	0	0	-

Таблица 2.39 – Матрица L_{max} максимальных значений параметров НСО

Площадь, [м^2]	Глубина, [м]	Масса отходов, [т]	Плотность при 20 °С, [кг/см^3]	Вода, [% масс.]	Ценные углеводороды, [% масс.]	Мин примеси, [% масс.]	Сера, [% масс.]	Асфальтены, [% масс.]	Мех. примеси, [% масс.]	Макс.размер частиц мех.примесей, [мм]	Теплота сгорания, [кДж/кг]
10^6	100	10^6	5	99	99	99	5	99	99	100	-

На 2-ом и 3-ем этапах алгоритма (Рисунок 2.5) рассчитываются соответствующие оценки достаточности (2.14), актуальности (2.15), точности (2.16), достоверности (2.18) и релевантности (2.19) информации при следующих весовых коэффициентах: Γ_a=0.2, Γ_r=0.2, Γ_{ac}=0.25, Γ_{re}=0.35. В таблице 2.40 представлены результаты расчёта оценок качества информации для тестовой выборки. При сравнении оценки *REL* релевантности с минимально допустимым значением $REL_{\min}$=0.9 установлены хранилища НСО n=5,6,7, оценки качества которых не удовлетворяют текущим требованиям, поэтому информацию об отходах и технологиях в БД требуется либо уточнить (например, проведя новые измерения на объектах хранения отходов), либо исключить данные хранилища из дальнейшего анализа.

Таблица 2.40 – Результаты расчёта оценок качества информации для тестовой выборки

n	Наименование хранилища НСО	Оценка достаточности	Оценка актуальности	Оценка точности	Оценка достоверности	Оценка релевантности
		K_a	K_r	K_{ac}	K_{re}	*REL*
1	1 амбар за Луганским товарным парком	1	0,838	0,821	1	0,923
2	2 амбар за Луганским товарным парком	1	0,838	0,819	1	0,922
3	3 амбар за Луганским товарным парком	1	0,838	0,808	1	0,920
4	Амбар №1 Яблоневского месторождения	1	0,858	0,819	1	0,926
5	Амбар АГЗУ №2 Южно-Неприковского м/р	0,667	0,866	0,817	1	**0,861**
6	Амбар АГЗУ №356 Подгорненского м/р	0,667	0,877	0,823	1	**0,865**
7	Амбар АГЗУ №356а Подгорненского м/р	0,667	0,877	0,822	1	**0,864**
8	Илонакопитель УКПН-1 №1	1	0,899	0,812	1	0,933
9	Илонакопитель УКПН-1 №2	1	0,899	0,804	1	0,931
10	Илонакопитель УКПН-1 №3	1	0,899	0,822	1	0,935

2.5 Разработка методики системного анализа и оптимизации КП НСО

На основе проведенного в диссертации обоснования системных свойств объекта исследования и предложенных способов классификации НСО, методов и технологий их переработки (Главы 1 и 2), разработана новая методика системного анализа и оптимизации комплексной переработки НСО в нефтегазовой промышленности (Рисунок 2.6), которая заключается в реализации нижеперечисленных этапов.

1. Анализ структуры и общесистемных свойств КП НСО (раздел 2.1).

2. Анализ основных элементов подсистем размещения и переработки (раздел 2.2.1), выявление их основных характеристик и системных проблем функционирования (Таблица 1.1).

3. Анализ характеристик и связей между элементами подсистем (раздел 2.2.2), включающий классификации НСО по источникам образования (Рисунки 1.1, 1.2), методов и технологий переработки НСО (Рисунок 1.7).

4. Структуризация и систематизация информации о хранилищах НСО и технологиях переработки отходов, разработка баз данных, обеспечивающих наиболее рациональный способ обработки информации и её выборки по заданным критериям (раздел 2.3).

5. Анализ качества информации о хранилищах НСО, их составе и технологиях переработки, основанный на алгоритме, который описан и апробирован в разделе 2.4.

6. Многофакторный анализ КП НСО на основе метода DEA, включающий выбор и обоснование использования моделей метода DEA, разработку проблемно-ориентированных моделей для определения оценок эффективности, формулировку задач и разработку алгоритма многофакторного анализа, которые описаны и апробированы в главе 3, а также анализ результатов решения задач в форме ранжированных количественных оценок эффективности и показателей масштабирования.

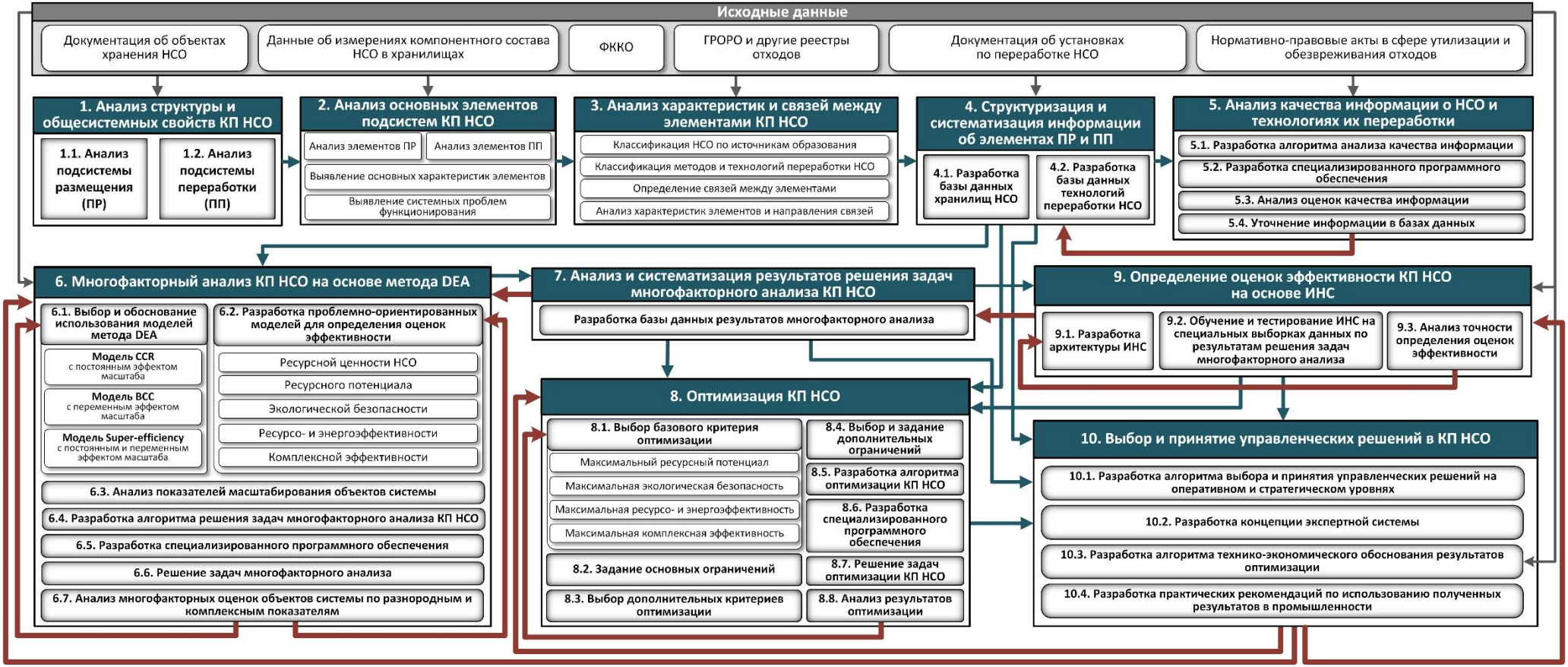


Рисунок 2.6 – Методика системного анализа и оптимизации КП НСО

7. Анализ и систематизация результатов многофакторного анализа, включающая разработку соответствующей базы данных, которая разработана на основе СУБД Microsoft Access, аналогично БД хранилищ НСО и технологий переработки (раздел 2.3).

8. Оптимизация КП НСО на основе разработанного, апробированного и описанного в главе 4 алгоритма, предполагающего выбор одного из базовых критериев (максимальный ресурсный потенциал, максимальная экологическая безопасность, максимальная ресурсо- и энергоэффективность или максимальная комплексная эффективность) и дополнительных критериев, основных и дополнительных ограничений, постановку и решение соответствующих задач оптимизации с учётом принятых стратегических решений по управлению комплексом переработки отходов, включая анализ полученных результатов.

9. Определение оценок эффективности КП НСО на основе искусственных нейронных сетей (ИНС) для упрощения вычислительных процедур в задачах многофакторного анализа на основе методики, которая описана и апробирована в главе 4.

10. Выбор и принятие управленческих решений в КП НСО осуществляется в соответствии с разработанным алгоритмом, который описан и апробирован в главе 5, что предполагает формирование локальных управляющих воздействий на систему или обоснование перспективных стратегий управления системой переработки отходов. Система информационной поддержки и принятия управленческих решений функционирует в рамках соответствующей экспертной системы, архитектура которой в общем виде представлена в главе 5.

Последовательная реализация отдельных этапов методики при необходимости повторяется. Показанные на рисунке 2.6 обратные связи между отдельными этапами методики описаны в соответствующих главах.

2.6 Выводы по второй главе

1. В результате применения системного подхода обосновано, что объект исследования должен рассматриваться как единая система, так как он обладает

основными системообразующими свойствами: целостностью, интегративностью, эмерджентностью, организованностью, функциональностью и синергетическим эффектом от взаимодействия элементов внутри системы.

2. Приведено подробное описание и анализ элементов подсистем размещения и переработки, по результатам которого определены основные характеристики хранилищ НСО и технологий переработки. Установлены существенные связи между элементами и определены закономерности функционирования КП НСО, обеспечивающие комплексную переработку отходов с помощью выбора наиболее эффективных комбинаций «хранилище НСО - технология переработки».

3. В соответствии с выявленными характеристиками основных элементов КП НСО разработаны базы данных хранилищ НСО и технологий переработки, которые позволяют обеспечить систематизированной сбор, обработку и хранение информации.

4. Разработан и апробирован алгоритм анализа качества информации о НСО и технологиях их комплексной переработки, позволяющий получить обобщенные количественные оценки, которые характеризуют достаточность, актуальность, точность и достоверность анализируемых данных. Дополнительно вычисляется средневзвешенное значение этих параметров, определяющее комплексную количественную оценку релевантности информации, на основе которой принимается решение об уточнении информации в БД и составе элементов КП НСО для дальнейшего анализа.

5. Разработана методика системного анализа и оптимизации комплексной переработки НСО в нефтегазовой промышленности, в которой хранилища НСО и технологии их переработки являются элементами единой системы, определяющими ключевые свойства и структурные закономерности функционирования КП НСО. Методика включает теоретически обоснованные последовательные этапы разработки моделей для определения оценок эффективности, многофакторного анализа, оптимизации и принятия решений, на каждом из которых математический аппарат DEA метода впервые используется

для формализации и постановки задач управления переработкой отходов в нефтегазовой промышленности на оперативном и стратегическом уровнях.

3 Многофакторный анализ сложно-структурированного комплекса переработки нефтесодержащих отходов

В данной главе представлены разработанные новые модели для определения оценок эффективности сложно-структурированных комплексов переработки НСО, предназначенные для постановки и решения задач многофакторного анализа и оптимизации. Эти модели, в отличие от известных, позволяют адекватно отражать и анализировать сложность и многообразие многостадийных процессов переработки отходов, учитывая взаимосвязи между технико-экономическими, технологическими, ресурсными, логистическими, энергетическими и экологическими параметрами. Представлены разработанные новые методы и алгоритмы решения задач многофакторного анализа системы комплексной переработки НСО, которые в отличии от известных позволяют качественно и количественно оценить её функциональные и масштабные характеристики на основе ряда ключевых критериев: ресурсной ценности отходов, ресурсного потенциала, экологической безопасности, эффективности использования ресурсов и энергии, а также общей эффективности системы. Сформулирована научно-обоснованная постановка задачи многофакторного анализа КП НСО и приведено описание применяемого метода Data Envelopment Analysis. Проведена апробация разработанных моделей, методов и алгоритмов на примере комплекса переработки отходов, расположенного в пределах одного региона и включающего 90 хранилищ НСО и 14 технологических установок. Предлагаемые и рассмотренные в главе подходы представлены в работах [1–3; 5; 9; 13; 15; 16; 20–25; 28; 29].

3.1 Научно-обоснованная постановка задачи многофакторного анализа

Системный анализ комплекса переработки НСО в нефтегазовой промышленности показал (глава 2), что хранилища отходов и технологии для их переработки необходимо рассматривать в совокупности как элементы единой системы. При этом комбинации «хранилище НСО – технология переработки» являются центральным объектом сравнения в задачах многофакторного анализа и оптимизации КП НСО.

Для принятия обоснованных управленческих решений в системе предлагается сформулировать задачу определения оценок эффективности и выбора наилучших комбинаций как задачу многофакторного анализа, поскольку необходимо учитывать множество разнородных факторов (технологических, логистических, технико-экономических, экологических и т.п.), влияющих на конечный результат переработки.

В качестве исходных данных для решения задач многофакторного анализа используется информация, содержащаяся в разработанных базах данных хранилищ НСО и технологий переработки (раздел 2.4). Задачи многофакторного анализа КП НСО включают использование проблемно-ориентированных моделей для определения количественных оценок эффективности объектов по целевым критериям качества функционирования, их ранжировку внутри рассматриваемой системы и анализ результатов решения с учётом масштабных свойств и разнородных факторов, характеризующих элементы системы.

Для решения задач многофакторного анализа необходимо разработать алгоритмы, позволяющие установить порядок вычислительных процедур и корректно применять выбранные методы решения соответствующих задач.

Методы решения задач многофакторного анализа должны быть основаны на следующих принципах:

- системный подход к оценке эффективности объектов КП НСО;
- учет разнородных факторов (физико-химических, технологических, логистических, технико-экономических, экологических и т.п.);
- учет влияния на оценку эффективности количественных и качественных, статичных и динамических характеристик анализируемого объекта;
- возможность учета возрастающего числа факторов при обеспечении выполнения предъявляемых требований к точности результатов решения.

Разрабатываемые алгоритмы должны обеспечить решение соответствующих задач с наименьшими затратами временных и производительных ресурсов. Используемые в алгоритмах методы поиска решений соответствующих задач многофакторного анализа должны быть известными и апробированными, и

позволять обеспечить получение оценок с учетом большого числа анализируемых факторов (от 5 и более) и большого числа анализируемых объектов сравнения (от 20 и более). В качестве анализируемых объектов сравнения могут выступать как хранилища НСО, так и комбинации «хранилище НСО – технология переработки».

В качестве анализируемых факторов могут выступать:

- физико-химические характеристики компонентного состава отходов;
- физические, геометрические конструкционные, географические, геологические, логистические и др. характеристики объектов хранения отходов;
- технологические, энергетические, экономические и другие показатели, характеризующие особенности конкретных технологий переработки, потенциально применимых к рассматриваемой группе объектов сравнения.

Разрабатываемые алгоритмы должны быть основан на методологии системного сравнительного анализа функционирования сложных технических систем.

Основным ограничением применимости многофакторных методов сравнения является требование обязательной сопоставимости (однородности) анализируемых факторов, тогда как в соответствии со сформулированными требованиями предполагается оценивать влияние на совокупный показатель эффективности разнородных, изначально несопоставимых и несоизмеримых, в том числе, различных по своей физической природе, смыслу, единицам измерения, степени влияния факторов.

Для удовлетворения указанным требованиям в диссертации используется методика сравнительного анализа, базирующаяся на использовании DEA метода, который широко применяется для определения сравнительной эффективности и ранжирования процессов и производств в сложных системах [141; 142; 155].

Выбор DEA метода как основы для решения задач многофакторного анализа КП НСО объясняется, прежде всего, широкими возможностями, которые он дает для решения подобных прикладных задач: возможности получения сравнительных

относительных многофакторных оценок и визуализации полученных оценок в наглядной и легкой для понимания форме [156]. При этом данный метод традиционно используется для оценивания эффективности весьма сложных объектов, относительные показатели эффективности которых определяются в терминах рациональности использования ресурсов, имеющихся у них для достижения каких-либо результатов. Метод DEA основан на использовании методов линейного программирования, а получаемая в результате применения оценка эффективности объекта характеризует его техническую эффективность, показывая степень реализации доступных технологических возможностей [157]. Результаты использования метода DEA весьма информативны с управленческой точки зрения. Это связано с тем, что наряду с получаемыми оценками эффективности анализируемых объектов исследователь для каждого неэффективного объекта извлекает информацию о составе множества эффективных объектов, имея возможность при этом оценить, сколь далеко последние расположены от первых [140].

3.2 Описание методологии Data Envelopment Analysis

Суть DEA-метода состоит в том, что с помощью математического моделирования по выборке исследуемых объектов в координатах ресурсных переменных (inputs) и переменных результативности (outputs) по объектам, лежащим на границе рассматриваемого множества, выстраивается кусочно-линейная оболочка — граница эффективности (efficiency frontier) и на ее основе оценивается эффективность конкретного объекта, входящего в рассматриваемое множество [140]. Границу эффективности формируют объекты анализа с наивысшими (равными единице или 100%) оценками эффективности. Сегменты границы эффективности создают кусочно-линейную оболочку (“envelope” в англоязычной терминологии) для всей выборки объектов анализа. Отсюда и вытекает название метода *Data Envelopment Analysis* — анализ эффективности сложных объектов методом построения оболочки данных. В русскоязычной литературе нет единого общепринятого перевода термина “*data envelopment analysis*”. Наиболее распространенные варианты — «анализ среды

функционирования» [158], «анализ оболочки данных» [159] и «оболочечный анализ данных» [160].

Рассмотрим общую постановку проблемно-ориентированных моделей для определения оценок эффективности и формулировки задач многофакторного анализа с помощью метода DEA. Каждая такая задача представляет собой задачу математического программирования (ЗМП), решение которой позволяет получить относительные оценки эффективности R_j, $j=\overline{1,J}$ сравниваемых объектов (рисунок 3.1), где J – число сравниваемых объектов.

Рисунок 3.1 – Общий вид j-го объекта сравнения

Оценка R_j характеризует эффективность (ценность) j-го объекта сравнения только по отношению к другим объектам в составе анализируемой группы, и в самом общем случае определяется как отношение взвешенной суммы всех выходных $Y_j=\left(y_{gj}\right)$, $g=\overline{1,G}$, $j=\overline{1,J}$ параметров (факторов), определяющих положительные характеристики или результаты функционирования объекта, к взвешенной сумме всех входных $X_j=\left(x_{ij}\right)$, $i=\overline{1,I}$, $j=\overline{1,J}$ его параметров (факторов), представляющих использованные для получения положительных характеристик или результатов средства и ресурсы:

$$R_j=\frac{\sum\limits_{g=1}^{G}u_{gj}y_{gj}}{\sum\limits_{i=1}^{I}v_{ij}x_{ij}},\ u_{gj}\geq 0,\ v_{ij}\geq 0, \tag{3.1}$$

где u_{gj}, v_{ij} - неотрицательные весовые коэффициенты для выходных y_{gj} и входных x_{ij} параметров, соответственно, которые являются неизвестными и различными для всех *J* сравниваемых объектов в группе; *I* и *G* – число входных и выходных параметров, соответственно.

Выбор входных $X_j = \left(x_{ij}\right)$ и выходных $Y_j = \left(y_{gj}\right)$ параметров осуществляется с учётом их влияния на оценку эффективности R_j, $j = \overline{1,J}$:

$$\frac{\partial R_j}{\partial x_{ij}} < 0,\ i = \overline{1,I}, \tag{3.2}$$

$$\frac{\partial R_j}{\partial y_{gj}} > 0,\ g = \overline{1,G}. \tag{3.3}$$

В общем случае в качестве входных и выходных параметров, входящих в X_j и Y_j, могут рассматриваться любые величины, параметры или критерии, удовлетворяющие условиям (3.2) и (3.3), измеряемые в разных физических единицах и имеющие различный физический смысл, например, технико-экономические, экологические, технологические и другие характеристики.

Для определения оценок $R_j \in (0,1],\ j = \overline{1,J}$ эффективности объектов в анализируемой группе и весовых коэффициентов u_{gj}, v_{ij} формулируются ЗМП в следующем виде:

$$R_j = \frac{\sum\limits_{g=1}^{G} u_{gj} y_{gj}}{\sum\limits_{i=1}^{I} v_{ij} x_{ij}} \to \max_{U,V}, \tag{3.4}$$

при условиях

$$\frac{\sum\limits_{g=1}^{G} u_{gj} y_{gj}}{\sum\limits_{i=1}^{I} v_{ij} x_{ij}} \le 1, \forall j = \overline{1,J}, u_{gj} \ge 0,\ v_{ij} \ge 0, \tag{3.5}$$

где $U=(u_{gj}), V=(v_{ij})$ - векторы весовых коэффициентов для каждого из J объектов анализируемой группы.

В настоящее время в методологии DEA применяются более 30 моделей, которые отличаются различными формами функциональной связи между выходами и входами, учётом масштабных свойств, направлением достижения оптимума и т. д. В диссертации будут использоваться только три модели, используемые в DEA методе: CCR [161], BCC [162] и Super-Efficiency [163]. Выбор этих моделей и метода DEA для решения задач многофакторного анализа КП НСО обосновывается следующими преимуществами:

- возможностью использования разнородных характеристик НСО и технологий переработки в качестве входных и выходных параметров, отвечающим условиям (3.2) и (3.3) для различных критериев эффективности, соответствующих поставленным в работе задачам;
- возможностью расчёта показателей масштабирования (эффекта масштаба и оценки эффективности масштабирования), анализ которых позволяет прогнозировать результаты переработки НСО при выборе эффективного управления на различных уровнях принятия решений (оперативном и стратегическом);
- отсутствием необходимости задания весовых коэффициентов и наглядной интерпретацией результатов решения поставленных ЗМП для ранжирования объектов сравнения.

ЗМП (3.4)-(3.5) представляет собой нелинейную невыпуклую задачу математического программирования, решение которой сопряжено с известными трудностями из-за возможного существования достаточно большого числа локальных решений далеких от глобального решения [164; 165]. Для того, чтобы избежать явного решения нелинейной невыпуклой задачи используется известное преобразование Charnes A. и Cooper W.W. для задач дробно-линейного программирования [161], в результате применения которого ЗМП (3.4)-(3.5) для базовой CCR модели метода DEA может быть преобразовано в линейную форму [142]:

$$C_\varphi = \sum_{g=1}^{G} w_{g\varphi} y_{g\varphi} \to \max_{W,H} \tag{3.6}$$

при условиях

$$\sum_{i=1}^{I} h_{i\varphi} x_{i\varphi} = 1,\ \sum_{g=1}^{G} w_{gj} y_{gj} - \sum_{i=1}^{I} h_{ij} x_{ij} \le 0,\ h_{ij} \ge 0, w_{gj} \ge 0, \tag{3.7}$$

где $C_\varphi = C_j$ - оценки эффективности *j*-го объекта сравнения; $\varphi = \overline{1,J}$ – индекс целевого объекта сравнения из множества *J* объектов, эффективность которого оценивается; $x_{i\varphi}$ и $y_{g\varphi}$ – значения входных и выходных параметров для целевого объекта в анализируемой системе, соответственно; $H_j = \left(h_{ij}\right)$ и $W = \left(w_{gj}\right)$ – весовые коэффициенты для входных и выходных параметров, соответственно.

CCR модель (3.6)-(3.7) используется при предположении о пропорциональном изменении выходных параметров y_{gj} при соответствующем изменении входных параметров x_{ij}, что характеризует постоянный эффект масштаба.

BCC модель метода DEA используется при предположении о переменном эффекте масштаба, то есть о непропорциональном изменением выходных y_{gj} и входных x_{ij} параметров, и соответствующая ЗМП в общем виде имеет вид:

$$B_\varphi = \sum_{g=1}^{G} q_{g\varphi} y_{g\varphi} - \delta_\varphi \to \max_{Q,K} \tag{3.8}$$

при условиях:

$$\sum_{i=1}^{I} k_{i\varphi} x_{i\varphi} = 1, \sum_{g=1}^{G} q_{gj} y_{gj} - \sum_{i=1}^{I} k_{ij} x_{ij} - \delta_j \le 0, k_{ij} \ge 0, q_{gj} \ge 0 \tag{3.9}$$

где $B_\varphi = B_j$ - оценки эффективности *j*-го объекта сравнения; $K_j = \left(k_{ij}\right)$ и $Q = \left(q_{gj}\right)$ – весовые коэффициенты для входных и выходных параметров, соответственно; $\delta_\varphi = \delta_j$ – свободная переменная, величина или знак которой для *j*-го объекта сравнения характеризует тип эффекта масштаба:

- при $\delta_j = 0$ наблюдается *постоянный* эффект масштаба, означающий пропорциональное изменение входных x_{ij} и выходных y_{gj} параметров в (3.8)-(3.9);
- при $\delta_j < 0$ наблюдается *убывающий* эффект масштаба, означающий, что изменение входных параметров x_{ij} приводит к относительно меньшему изменению выходных параметров y_{gj} в (3.8)-(3.9);
- при $\delta_j > 0$ наблюдается *возрастающий* эффект масштаба, означающий, что изменение входных параметров x_{ij} приводит к относительно большему изменению выходных параметров y_{gj} в (3.8)-(3.9).

ЗМП (3.6)-(3.7) и (3.8)-(3.9) решаются J раз, т.е. для каждого j-го объекта сравнения отдельно, при этом рассчитываются соответствующие значения оценок $C_j \in (0,1]$ и $B_j \in (0,1]$, весовые коэффициенты h_{ij}, w_{gj} и k_{ij}, q_{gj}, и переменная δ_j.

В результате решения ЗМП (3.6)-(3.7) или (3.8)-(3.9) максимальные оценки эффективности $C_j = 1$ или $B_j = 1$ могут получить сразу несколько объектов сравнения. Для точного ранжирования объектов в анализируемой группе используется следующая формулировка ЗМП на основе модели Super-Efficiency метода DEA при постоянном эффекте масштаба:

$$SC_\varphi = \sum_{g=1}^{G} \overline{w}_{g\varphi} y_{g\varphi} \to \max_{\overline{W},\overline{H}} \tag{3.10}$$

при условиях

$$\sum_{i=1}^{I} \overline{h}_{i\varphi} x_{i\varphi} = 1, \sum_{g=1}^{G} \overline{w}_{gj} y_{gj} - \sum_{i=1}^{I} \overline{h}_{ij} x_{ij} \le 0, \overline{h}_{ij} \ge 0, \overline{w}_{gj} \ge 0, j \ne f, f \in \overline{1,J}, \tag{3.11}$$

где $SC_\varphi = SC_j$ - оценки эффективности j-го объекта сравнения по модели Super-Efficiency; $\overline{H}_j = \left(\overline{h}_{ij}\right)$ и $\overline{W} = \left(\overline{w}_{gj}\right)$ – весовые коэффициенты для входных и выходных параметров, соответственно; f – номер объекта со значением оценки эффективности

$C_f = 1,\ f \in \overline{1,J}$ в анализируемой группе из J объектов, полученной на основе решения ЗМП (3.6)-(3.7), который исключается из (3.10)-(3.11).

При переменном эффекте масштаба формулируется следующая ЗМП на основе модели Super-Efficiency:

$$SB_\varphi = \sum_{g=1}^{G} \bar{q}_{g\varphi} y_{g\varphi} - \delta_\varphi \to \max_{\bar{Q},\bar{K}} \tag{3.12}$$

при условиях

$$\sum_{i=1}^{I} \bar{k}_{i\varphi} x_{i\varphi} = 1, \sum_{g=1}^{G} \bar{q}_{gj} y_{gj} - \sum_{i=1}^{I} \bar{k}_{ij} x_{ij} - \delta_j \le 0, \bar{k}_{ij} \ge 0, \bar{q}_{gj} \ge 0, j \ne z, z \in \overline{1,J}, \tag{3.13}$$

где $SB_\varphi = SB_j$ - оценки эффективности j-го объекта сравнения по модели Super-Efficiency; $\bar{K}_j = \left(\bar{k}_{ij}\right)$ и $\bar{Q} = \left(\bar{q}_{gj}\right)$ – весовые коэффициенты для входных и выходных параметров, соответственно; z – номер объекта с оценкой эффективности $B_z = 1,$ $z \in \overline{1,J}$ в анализируемой группе из J объектов, полученной на основе решения ЗМП (3.8)-(3.9), который исключается из (3.12)-(3.13).

ЗМП (3.10)-(3.11) и (3.12)-(3.13) решаются J раз, т.е. для каждого j-го объекта сравнения отдельно, при этом рассчитываются соответствующие значения оценок эффективности SC_j, SB_j, весовых коэффициентов $\bar{h}_{ij}, \bar{w}_{gj}, \bar{k}_{ij}, \bar{q}_{gj}$ и переменной δ_j. Объекты, получившие максимальные оценки $SC_j \in (0;\infty)$ и $SB_j \in (0;\infty)$, являются наилучшими в анализируемой группе из J объектов сравнения с учётом постоянного и переменного эффектов масштаба, соответственно.

Представленные модели CCR (3.6)-(3.7), BCC (3.8)-(3.9) и Super-Efficiency (3.10)-(3.11), (3.12)-(3.13) метода DEA являются вход-ориентированными, что предполагает повышение эффективности при постоянных выходных $Y_j = \left(y_{gj}\right)$, $g = \overline{1,G},\quad j = \overline{1,J}$ параметрах (для рассматриваемых в диссертации задач соответствует постоянному получаемому объему полезных продуктов переработки для вторичного использования), и достигается за счёт уменьшения входных

$X_j = \left(x_{ij} \right), i = \overline{1,I}$, $j = \overline{1,J}$ параметров (для рассматриваемых в диссертации задач соответствует содержанию вредных компонентов в отходе и(или) затрачиваемых ресурсов на процесс переработки).

Процедура решения всех сформулированных задач линейного программирования осуществляется с помощью разработанного программного обеспечения и описана в разделе 4.3.1.

3.3 Разработка проблемно-ориентированных моделей для определения оценок эффективности

Для определения многофакторных оценок эффективности объектов сравнения, представляющих собой хранилища НСО и комбинации «хранилище НСО – технология переработки», в диссертации предлагается решать ЗМП, сформулированные на основе моделей CCR (3.6)-(3.7), BCC (3.8)-(3.9) и Super-Efficiency (3.10)-(3.11), (3.12)-(3.13), используемых в методе DEA. Исходными данными для расчета являются входные x_{ij} и выходные y_{gj} параметры j-го объекта сравнения (Рисунок 3.1), которые выбираются как наиболее значимые параметры, удовлетворяющие условиям (3.2) и (3.3), где под R_j, $j = \overline{1,J}$ понимается оценка эффективности j-го объекта в анализируемой системе, численное значение которой и является результатом решения соответствующих ЗМП. В качестве такой оценки, в зависимости от решаемой ЗМП, может рассматриваться оценка ресурсной ценности НСО в n-ом хранилище (раздел 3.3.1), оценка ресурсного потенциала (раздел 3.3.2), оценка экологической безопасности (раздел 3.3.3), оценка ресурсо- и энергоэффективности (раздел 3.3.4) и оценка комплексной эффективности (раздел 3.3.5) p-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки», $p = \overline{1,P}$ (Рисунок 3.2), где P – общее количество возможных комбинаций «хранилище НСО – технология переработки».

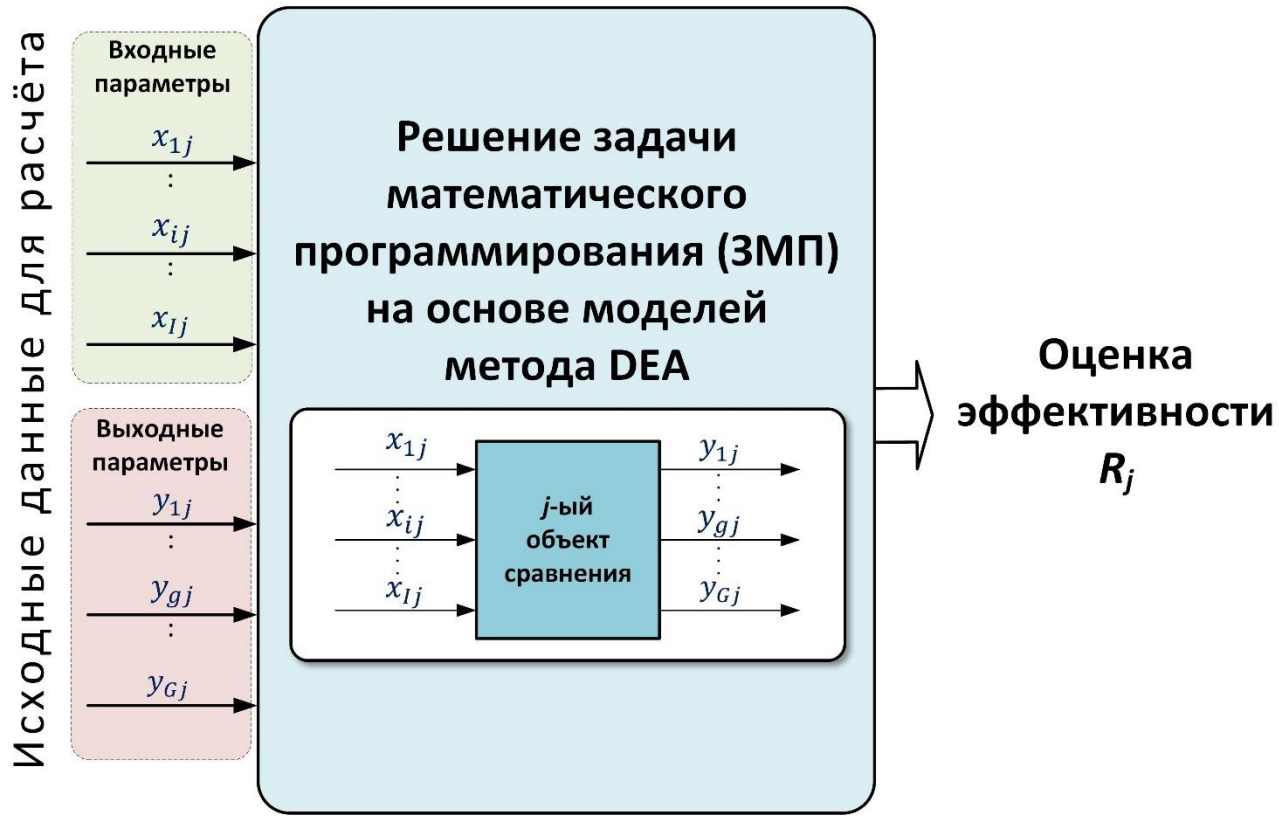


Рисунок 3.2 – Определение оценки эффективности *j*-го объекта сравнения КП НСО

Далее в главе описываются разработанные в диссертации проблемно-ориентированные модели для определения многофакторных оценок эффективности хранилищ НСО и комбинаций «хранилище НСО – технология переработки. При этом проблемная ориентация моделей заключается в выборе таких входных x_{ij} и выходных y_{gj} параметров объектов сравнения, которые характеризуют ресурсную ценность, ресурсный потенциал, экологическую безопасность, ресурсо- и энергоэффективность, комплексную эффективность процесса переработки НСО, в зависимости от решаемой задачи анализа системы.

3.3.1 Многофакторный анализ ресурсной ценности нефтесодержащих отходов в хранилищах

Ресурсная ценность НСО в хранилищах характеризует степень пригодности отходов для использования в качестве материальных ресурсов в технологиях

вторичной переработки, связанных с их рециклингом, рекуперацией и регенерацией. Проблемно-ориентированная модель для определения оценки ресурсной ценности НСО в *n*-ом хранилище основана на формулировке и решении задачи (3.6)-(3.7) с использованием CCR модели (**ЗМП 1.1**, Рисунок 3.3, **а**), и задачи (3.10)-(3.11) с использованием модели Super-Efficiency (**ЗМП 1.2**, Рисунок 3.3, **б**).

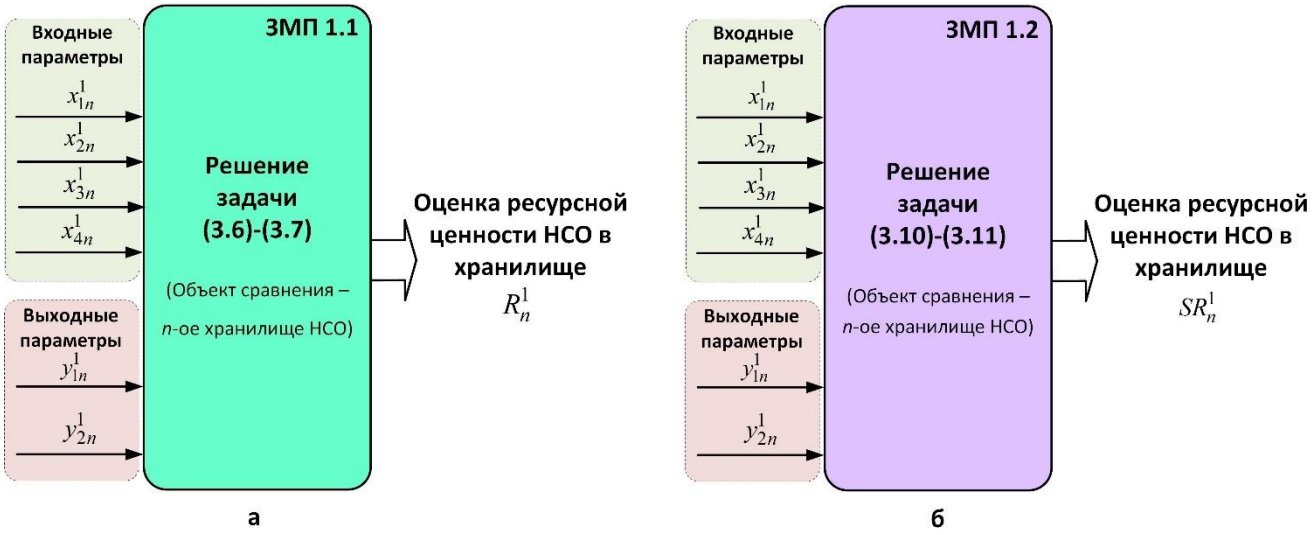


Рисунок 3.3 – Модели для определения оценки ресурсной ценности НСО в *n*-ом хранилище с постоянным эффектом масштаба:

а – на основе модели CCR; **б** – на основе модели Super-Efficiency

В качестве входных параметров, удовлетворяющих условию (3.2), предлагается выбрать средневзвешенное содержание компонентов, которые снижают ресурсную ценность НСО в *n*-ом хранилище:

x_{1n}^1 - **асфальтенов и смол** [% масс.];

x_{2n}^1 - **минеральных и механических примесей** [% масс.];

x_{3n}^1 - **серы** [% масс.];

x_{4n}^1 - **воды** [% масс.];

В качестве выходных параметров, удовлетворяющих условию (3.3), предлагается выбрать параметры, увеличивающие ресурсную ценность НСО в *n*-ом хранилище:

y_{1n}^1 - **средневзвешенное содержание ценных углеводородов** [% масс.];

y_{2n}^1 - **отношение массы ценных углеводородов к массе вредных примесей**, которое определяется по выражению:

$$y_{n2} = \frac{M_n^{св}}{M_n^{вр}},\ n = \overline{1,N} \tag{3.14}$$

где $M_n^{св} = \sum_{s=1}^{S} M_{ns}^{св}$ - общая масса ценных углеводородов в НСО *n*-го хранилища [т]; $M_{ns}^{св} = \tilde{S}_n \tilde{h}_{ns} \rho_{ns} \tilde{b}_{ns\varpi},\ s = \overline{1,S},\ \varpi = 5$ - масса ценных углеводородов в *s*-ом слое НСО *n*-го хранилища [т]; $M_n^{вр} = \sum_{s=1}^{3} M_{ns}^{вр}$ - общая масса вредных примесей в НСО *n*-го хранилища, [т]; $M_{ns}^{вр} = \tilde{S}_n \tilde{h}_{ns} \rho_{ns} \tilde{b}_{ns\varpi},\ s = \overline{1,S},\ \varpi = \overline{1,4}$ - масса вредных примесей в *s*-ом слое НСО *n*-го хранилища, [т]; $\tilde{S}_n$ - площадь *n*-го хранилища НСО, [м^2]; $\tilde{h}_{ns}$ - толщина *s*-го слоя *n*-го хранилища НСО, [м]; ρ_{ns} - плотность *s*-го слоя *n*-го хранилища НСО, [т/м^3]; $\tilde{b}_{ns\varpi}$, $\varpi = \overline{1,5}$ - концентрация ϖ -го компонента НСО в *s*-ом слое *n*-го хранилища НСО, [% масс.]; *N* – общее количество хранилищ НСО в системе.

В результате решения ЗМП 1.1 и 1.2, где $n = \overline{1,N}$, *I*=4, *G*=2, определяются соответственно оценки R_n^1, SR_n^1, ресурсной ценности НСО в *N* хранилищах, входящих в состав сложно-структурированного комплекса переработки НСО. По величине оценки $SR_n^1,\ n = \overline{1,N}$ ресурсной ценности определяется *n*-ое хранилище в пределах рассматриваемой системы, содержащее наиболее ценный по сочетанию ресурсов НСО для дальнейшей переработки. Максимальная оценка $\max\left(SR_n^1\right)$ соответствует максимальной ресурсной ценности НСО в рассматриваемой группе хранилищ.

3.3.2 Многофакторный анализ ресурсного потенциала

Ресурсный потенциал комбинации «хранилище НСО – технология переработки» представляет собой комплексный количественный показатель, характеризующий эффективность извлечения полезных для вторичного использования компонентов НСО с помощью соответствующей технологии переработки с учётом ресурсной ценности отхода.

Проблемно-ориентированная модель для определения оценки ресурсного потенциала *p*-ой комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» основана на формулировке и решении следующих задач: (3.6)-(3.7) с использованием CCR модели (**ЗМП 2.1**, Рисунок 3.4, **а**), (3.8)-(3.9) с использованием модели BCC (**ЗМП 2.3**, Рисунок 3.4, **в**), (3.10)-(3.11) и (3.12)-(3.13) с использованием модели Super-Efficiency (**ЗМП 2.2** на Рисунке 3.4, **б** и **ЗМП 2.4** на Рисунке 3.4, **г**, соответственно). Сопоставление индексов комбинаций (p) с индексами хранилищ НСО (n) и технологий переработки (m) определяется по выражению:

$$p = m + (n-1)\cdot M\ ,\ p = \overline{1,P}\ . \qquad (3.15)$$

В (3.15) общее количество возможных комбинаций P определяется при анализе качества информации в БД хранилищ и технологий переработки (раздел 2.4) в соответствии с условием (2.10).

В качестве входных параметров, удовлетворяющих условию (3.2), предлагается выбрать следующие параметры, увеличение которых снижает ресурсный потенциал *p*-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки»:

x_{1p}^2 - **длительность переработки НСО**, которая для *p*-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки» определяется по следующему выражению:

$$x_{1p}^2 = T_{\min_m} + \frac{Q_n}{q_m} \quad [\text{ч}], \qquad (3.16)$$

где

$T_{\min_m}$ – минимальное время развертывания (подготовки к использованию) m-ой технологии [ч];

Q_n – масса НСО в n-ом хранилище, подлежащем переработке, $n = \overline{1,N}$ [т];

q_m – производительность m-ой технологии (установки) по переработке [т/ч].

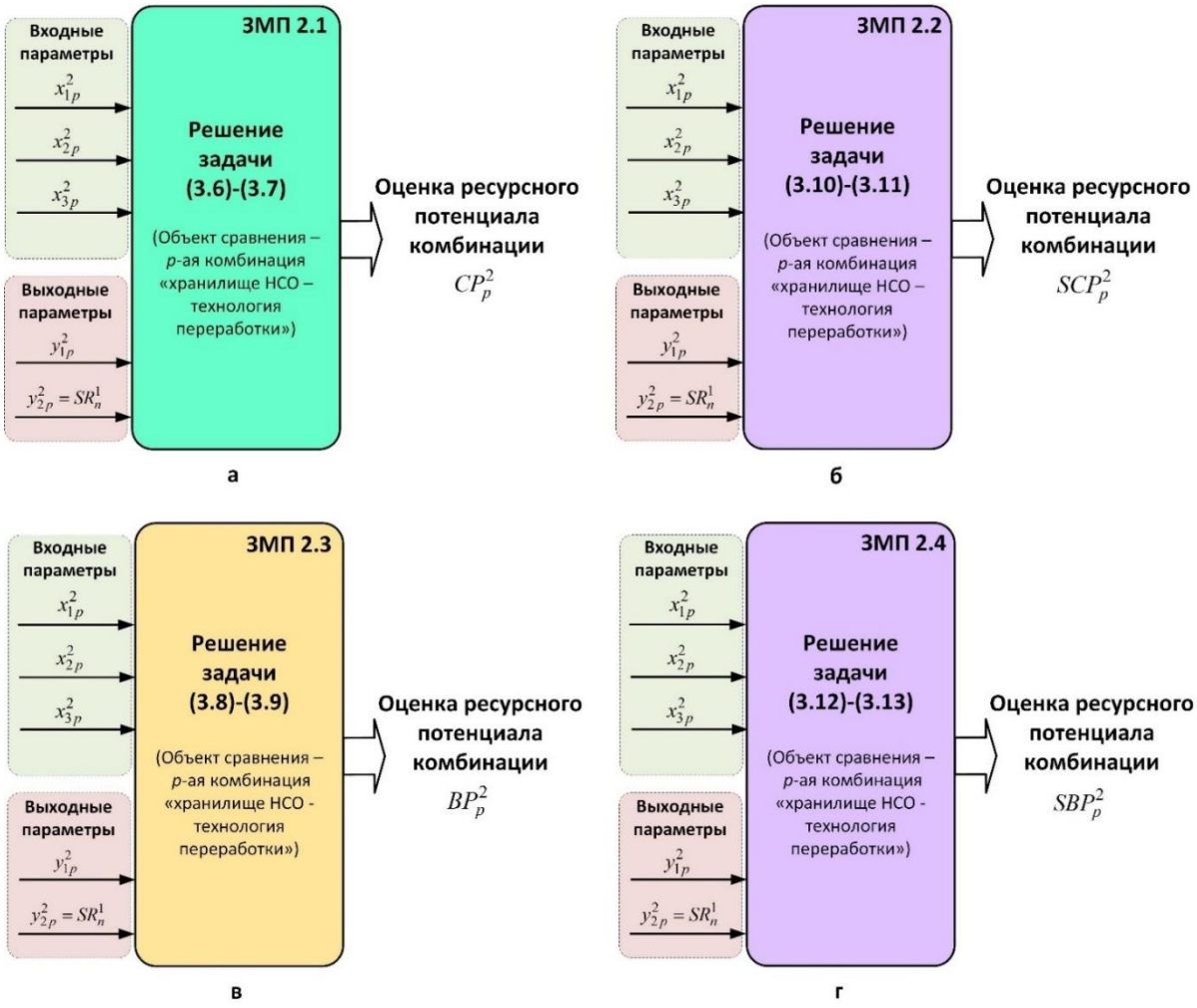


Рисунок 3.4 – Модели для определения оценок ресурсного потенциала комбинаций «хранилище НСО – технология переработки»:

а, б - с постоянным эффектом масштаба; **в**, **г** - с переменным эффектом масштаба.

x_{2p}^2 - **масса реагентов**, которая для p-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки» определяется по следующему выражению:

$$x_{2p}^2 = Q_n \sum_{\phi=1}^{F} CM_{p\phi} \cdot RTR_{m\phi} \cdot qR_{m\phi} \text{ [т]}, \quad (3.17)$$

где

$CM_{p\phi}$ – коэффициент полноты использования ϕ-го реагента *m*-ой установкой для *n*-го хранилища, входящих в *p*-ую комбинацию, в соответствии с формулой для преобразования индексов (3.15), который определяется по сведениям из паспорта установки для переработки НСО или по технологическим требованиям к переработке НСО (при отсутствии информации принимается равным 1, что соответствует максимально полному использованию соответствующего(их) реагента(ов) установкой), $\phi = \overline{1,F}$ [в долях];

$RTR_{m\phi}$ – коэффициент нормирования ϕ-го реагента *m*-ой установки (нормирование осуществляется по оценке стоимости 1 тонны реагента(ов), приведенной к стоимости 1 тонны дизельного топлива) [в долях], $\phi = \overline{1,F}$;

$qR_{m\phi}$ – удельный расход ϕ-го реагента *m*-ой установкой (определяется по паспорту), $\phi = \overline{1,F}$ [т/т НСО]; F – количество используемых реагентов.

x_{3p}^2 - **расход топлива (энергии)**, который для *p*-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки» определяется по следующему выражению:

$$x_{3p}^2 = Q_n \sum_{h=1}^{H} CT_{mh} \cdot RTT_{mh} \cdot qT_{mh} \text{ [т]}, \qquad (3.18)$$

где

CT_{mh} – коэффициент полноты использования *h*-го вида топлива (энергии) *m*-ой установкой, входящей в *p*-ую комбинацию, который определяется по сведениям из паспорта установки для переработки НСО или по технологическим требованиям к переработке НСО, с учётом сопоставления индексов (3.15). При отсутствии информации принимается равным 1, что соответствует максимальному использованию соответствующего вида топлива (энергии) установкой [в долях], $h = \overline{1,H}$;

RTT_{mh} – коэффициент нормирования *h*-го вида топлива (энергии) для m-ой установки, который определяется по оценке стоимости 1 тонны топлива (единицы энергии), приведенной к стоимости 1 тонны дизельного топлива [в долях], $h = \overline{1,H}$;

qT_{mh} – удельный расход топлива (энергии) *h*-го вида *m*-ой установкой, который определяется по паспорту установки, $h = \overline{1,H}$ [т/т НСО]; H – число используемых видов топлива (энергии).

В качестве выходных параметров, удовлетворяющих условию (3.3), предлагается выбрать параметры, увеличение которых приводит к росту ресурсного потенциала *p*-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки»:

y_{1p}^2 - **масса полезных продуктов рециклинга**, которая для *p*-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки» определяется по следующему выражению:

$$y_{1p}^2 = Q_n \sum_{\lambda=1}^{L} VT_{p\lambda} \cdot PR_{p\lambda} \text{ [т]}, \tag{3.19}$$

где

$VT_{p\lambda}$ – коэффициент вторичного использования *m*-ой установкой λ -го компонента переработки НСО из *n*-го хранилища, входящего в *p*-ую комбинацию, который определяется либо на основании экспертной оценки, либо на основании технологических требований к переработке конкретного вида отхода, с учётом сопоставления индексов (3.15) (при отсутствии информации принимается равным 1, что соответствует максимальному использованию соответствующего компонента НСО для получения полезного продукта рециклинга) [в долях], $\lambda = \overline{1,L}$;

$PR_{p\lambda}$ – коэффициент нормирования полезного продукта рециклинга, полученного из λ -го компонента НСО *n*-го хранилища *m*-ой установкой, который определяется по оценке стоимости 1 тонны полезного продукта, приведенной к стоимости 1 тонны дизельного топлива [в долях] $\lambda = \overline{1,L}$; L - число компонентов НСО; λ - порядковый номер компонента в НСО.

$y_{2p}^2 = SR_n^1$ - **оценка ресурсной ценности НСО в *n*-ом хранилище**, полученная в ходе решения ЗМП 1.2 (раздел 3.3.1).

В результате решения ЗМП 2.1 и 2.2 определяются оценки CP_p^2, SCP_p^2, $p=\overline{1,P}$ ресурсного потенциала для P комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» в КП НСО, соответственно. По величине оценок SCP_p^2 ресурсного потенциала определяется комбинация, обеспечивающая наибольшую эффективность извлечения полезных для вторичного использования компонентов НСО в n-ом хранилище с помощью соответствующей m-ой технологии переработки с учётом ресурсной ценности отхода при постоянном эффекте масштаба. Это означает, что с накоплением в n-ом хранилище отхода получаемый после переработки m-ой технологией объем полезных компонентов останется пропорциональным затраченным на его переработку ресурсам. Использование оценок SCP_p^2 ресурсного потенциала комбинаций для составления эффективной последовательности переработки НСО в хранилищах приводит к формированию оперативных управленческих решений в рассматриваемой системе.

Стратегические управленческие решения принимаются по результатам решения ЗМП 2.3 и 2.4, в ходе которых определяются оценки BP_p^2 и SBP_p^2, $p=\overline{1,P}$ ресурсного потенциала для P комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» в КП НСО, соответственно. По величине оценок SBP_p^2 ресурсного потенциала определяется комбинация, обеспечивающая наибольшую эффективность извлечения полезных для вторичного использования компонентов НСО в n-ом хранилище с помощью соответствующей m-ой технологии переработки с учётом ресурсной ценности отхода при переменном эффекте масштаба. Для комбинаций с возрастающим эффектом масштаба принятие стратегического решения о накоплении НСО в соответствующем хранилище с течением времени позволяет в будущем рассчитывать на больший объем полезных для вторичного использования ресурсов, которые будут получены с помощью соответствующей технологии при минимальных расходах ресурсов.

Оценки E_j эффективности масштабирования характеризуют сравнительную оценку масштаба технологического процесса переработки НСО в анализируемой системе и могут быть получены при определении оценок ресурсного потенциала

(раздел 3.3.2) и экологической безопасности (раздел 3.3.3) и использоваться как дополнительные факторы принятия стратегических решений, если другие показатели, характеризующие эффективность переработки НСО в хранилищах, являются неочевидными или неоднозначными. Оценки E_j эффективности масштабирования определяются путём сопоставления оценок C_j и B_j, полученных в ходе решения ЗМП в формах (3.6)-(3.7) и (3.8)-(3.9), соответственно:

$$E_j = C_j / B_j,\ E_j \leq 1. \tag{3.20}$$

Если E_j =1, то масштаб технологического процесса переработки является оптимальным. При B_j =1 и E_j<1 технологический процесс является технически эффективным, но не имеет оптимальный масштаб по сравнению с наилучшими объектами в анализируемой системе. Чем меньше оценка E_j, тем менее эффективным является масштаб технологического процесса, и тем большим потенциалом обладает его масштабирование для увеличения эффективности работы всей системы. Чем больше оценка E_j, тем ближе масштаб технологического процесса к оптимальному.

3.3.3 Многофакторный анализ экологической безопасности

Экологическая безопасность переработки НСО в хранилище с помощью определенной технологии достигается за счёт минимизации вредных для окружающей среды выбросов и не переработанных остатков отходов и максимально возможном извлечении полезных продуктов переработки для вторичного использования при безусловном соответствии технологического процесса действующим экологическим нормам.

Проблемно-ориентированная модель для определения оценки экологической безопасности *p*-ой комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» основана на формулировке и решении следующих задач: (3.6)-(3.7) с использованием CCR модели (**ЗМП 3.1**, Рисунок 3.5, **а**), (3.8)-(3.9) с использованием модели BCC (**ЗМП 3.3**, Рисунок 3.5, **в**), (3.10)-(3.11) и (3.12)-(3.13)

с использованием модели Super-Efficiency (**ЗМП 3.2** на Рисунке 3.5, **б** и **ЗМП 3.4** на Рисунке 3.5, **г**, соответственно).

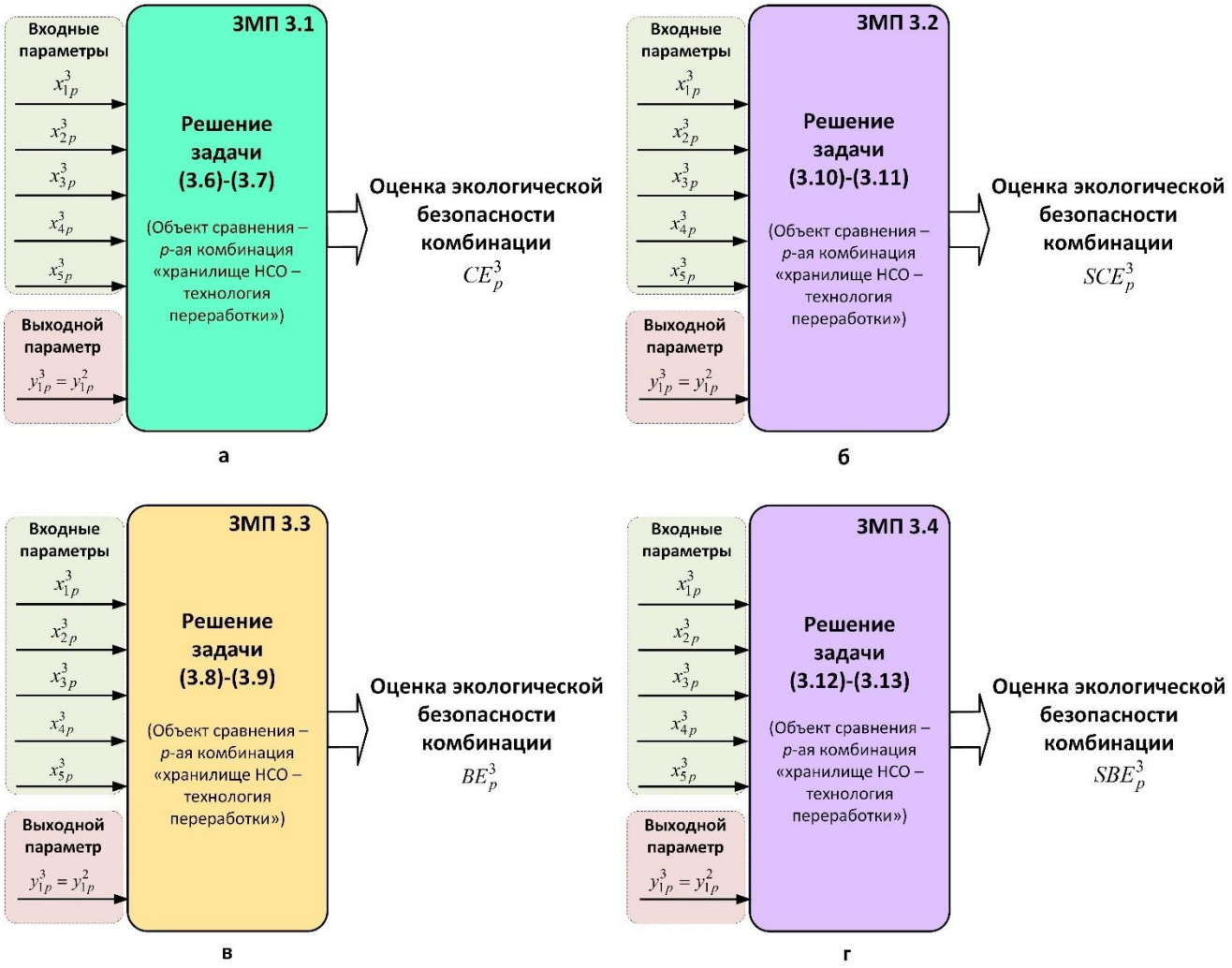


Рисунок 3.5 – Модели для определения оценок экологической безопасности комбинаций «хранилище НСО – технология переработки»:

а, б - с постоянным эффектом масштаба; **в**, **г** - с переменным эффектом масштаба.

В качестве входных параметров, удовлетворяющих условию (3.2), предлагается выбрать следующие параметры, увеличение которых снижает экологическую безопасность p-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки»:

x_{1p}^3 **- валовый выброс парниковых газов (углекислого газа и метана)**, который для *p*-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки» определяется по следующему выражению:

$$x_{1p}^3 = Q_n \left(K1_m y_{1n}^1 + K2_m y_{1n}^1 + K3_m x_{1n}^1 \right) \text{ [т]}, \qquad (3.21)$$

где

$K1_m$ – коэффициент образования углекислого газа для *m*-ой технологии переработки, который определяется экспертным способом (при использовании технологии сжигания $K1_m = 1$, при использовании технологии перегонки, как частного случая пиролиза $K1_m = 0.05$, при использовании технологии биодеструкции $K1_m = 0.2$, для других технологий определяются относительно уже установленных по аналогии) [в долях];

$K2_m$ – коэффициент образования метана для *m*-ой технологии переработки, который определяется экспертным способом (при использовании технологии сжигания $K2_m = 0$, при использовании технологии перегонки, как частного случая пиролиза $K2_m = 0.05$, при использовании технологии биодеструкции $K2_m = 0.6$, для других технологий определяются относительно уже установленных по аналогии) [в долях];

$K3_m$ – коэффициент образования углекислого газа при сжигании для *m*-ой технологии переработки ($K3_m = 0.001$).

x_{2p}^3 **- валовый выброс сернистого ангидрида**, который для *p*-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки» определяется по следующему выражению:

$$x_{2p}^3 = Q_n K4_m x_{3n}^1 \qquad \text{[т]}, \qquad (3.22)$$

где

$K4_m$ – коэффициент образования сернистого ангидрида для m_c-ой технологии переработки, который определяется экспертным способом (при использовании технологии сжигания принимается $K4_m = 1$, при использовании технологии

перегонки, как частного случая пиролиза $K4_m = 0.05$, при использовании технологии биодеструкции $K4_m = 0$, для других технологий определяются относительно уже установленных по аналогии) [в долях];

x_{3p}^3 **- валовый выброс в атмосферу сажи**, который для *p*-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки» определяется по следующему выражению:

$$x_{3p}^3 = f_{m1} \cdot Q_n \left(K1_m y_{1n}^1 + K3_m x_{1n}^1 \right) \quad [\text{т}], \tag{3.23}$$

где

f_{m1} – коэффициент образования сажи при горении углеводородов и асфальтенов для *m*-ой технологии переработки, который определяется экспертным способом (при использовании технологии сжигания принимается $f_{m1} = 1 \cdot 10^{-3}$, при использовании технологии перегонки, как частного случая пиролиза $f_{m1} = 1 \cdot 10^{-2}$, при использовании технологии биодеструкции $f_{m1} = 0$, для других технологий определяются относительно уже установленных по аналогии) [в долях];

x_{4p}^3 **- масса образовавшейся золы**, которая для *p*-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки» определяется по следующему выражению:

$$x_{4p}^3 = Q_n x_{2n}^1 \ [\text{т}]; \tag{3.24}$$

x_{5p}^3 **- масса образовавшейся загрязненной воды**, которая для *p*-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки» определяется по следующему выражению:

$$x_{5p}^3 = Q_n \left(K5_m x_{4n}^1 + f_{m2} K5_m y_{1n}^1 + f_{m2} K5_m x_{1n}^1 \right) \ [\text{т}], \tag{3.25}$$

где

$K5_m$ – коэффициент образования загрязненной воды для *m*-ой технологии переработки, который определяется экспертным способом (при использовании технологии сжигания принимается $K5_m = 0.7$, при использовании технологии перегонки, как частного случая пиролиза $K5_m = 1$, при использовании технологии

биодеструкции $K5_m = 0.3$, для других технологий определяются относительно уже установленных по аналогии) [в долях];

$f_{m2}-$ коэффициент, учитывающий образование жидкой воды при горении углеводородов и асфальтенов для *m*-ой технологии переработки, который определяется экспертным способом (при использовании технологии сжигания принимается $f_{m2} = 0.1$, при использовании технологии перегонки, как частного случая пиролиза $f_{m2} = 0$, при использовании технологии биодеструкции $f_{m2} = 0.2$, для других технологий определяются относительно уже установленных по аналогии) [в долях].

В качестве выходного параметра, удовлетворяющего условию (3.3), предлагается выбрать параметр, увеличение которого приводит к росту экологической безопасности *p*-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки»: $y_{1p}^3 = y_{1p}^2$ - **масса полезных продуктов рециклинга** [т], совпадающая с соответствующем выходным параметром ЗМП 2.1-2.4 и определяемая по формуле (3.19).

В результате решения ЗМП 3.1 и 3.2 определяются оценки CE_p^3 и SCE_p^3 $p = \overline{1,P}$ экологической безопасности для P комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» в КП НСО, соответственно. По величине оценок SCE_p^3 экологической безопасности определяется комбинация, обеспечивающая наибольшую экологическую безопасность извлечения полезных для вторичного использования компонентов НСО в *n*-ом хранилище с помощью соответствующей *m*-ой технологии переработки при постоянном эффекте масштаба. Это означает, что с накоплением в *n*-ом хранилище отхода, получаемый после переработки *m*-ой технологией объем полезных компонентов остается пропорциональным вредным выбросам. Использование оценок SCE_p^3 экологической безопасности комбинаций для составления последовательности переработки НСО в хранилищах приводит к формированию оперативных управленческих решений в рассматриваемой системе.

Если принимаются стратегические управленческие решения, то в результате решения ЗМП 3.3, 3.4 определяются оценки BE_p^3 и SBE_p^3, $p=\overline{1,P}$ экологической безопасности для P комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» в системе, соответственно. По величине оценок SBE_p^3 экологической безопасности определяется комбинация, обеспечивающая наибольшую экологическую безопасность при извлечении полезных для вторичного использования компонентов НСО в n-ом хранилище с помощью соответствующей m-ой технологии переработки при переменном эффекте масштаба. Для комбинаций с возрастающим эффектом масштаба принятие стратегического решения о накоплении НСО в соответствующем хранилище с течением времени позволяет в будущем рассчитывать на больший объем полезных для вторичного использования ресурсов, которые будут получены после переработки соответствующей технологией при постоянном объеме выбросов вредных веществ в атмосферу.

3.3.4 Многофакторный анализ ресурсо- и энергоэффективности

Проблемно-ориентированная модель для определения оценки ресурсо- и энергоэффективности p-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки» основана на формулировке и решении следующих задач с учётом постоянного и переменного эффектов масштаба: (3.6)-(3.7) с использованием CCR модели (**ЗМП 4.1**, Рисунок 3.6, **а, и ЗМП 4.3**, Рисунок 3.6, **в**, соответственно), (3.10)-(3.11) с использованием модели Super-Efficiency (**ЗМП 4.2** на Рисунке 3.6, **б** и **ЗМП 4.4** на Рисунке 3.6, **г**, соответственно).

В качестве входных параметров, удовлетворяющих условию (3.2), предлагается выбрать следующие параметры, увеличение которых снижает ресурсную и энергетическую эффективность p-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки»:

x_{1p}^4 - **удельные энергетические затраты на транспортировку**, которые для p-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки» определяются по следующему выражению:

$$x_{1p}^{4} = \frac{ST1_p}{Q_n} + \frac{ST2_p}{MU_m} + \frac{ST3_p}{MR_m} \text{ [руб./т],} \quad (3.25)$$

где

$ST1_p = 2\left(ST_p^{OIL} \frac{Q_n}{M_r^{car}} + ST_p^{PLATON} \right)$ - стоимость доставки НСО к стационарной установке по переработке [руб.];

$ST2_p = 2\left(ST_p^{OIL} + ST_p^{PLATON} \right)$ - стоимость доставки мобильной установки по переработке к хранилищу НСО [руб.];

$ST3_p = 2\left(ST_p^{OIL} \frac{MR_m}{M_r^{car}} + ST_p^{PLATON} \right)$ - стоимость доставки реагентов к хранилищу НСО [руб.];

MU_m - масса мобильной установки по переработке [т];

MR_m - масса реагентов, транспортируемых к хранилищу НСО, в случае использования мобильной установки по переработке [т];

$ST_p^{OIL} = \sum_{r=1}^{AR} C_r^{oil} \cdot G_r^{car} \cdot LR_p$ - общая стоимость топлива для доставки отходов или мобильной установки для *p*-ой комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» [руб.];

M_r^{car} - грузоподъёмность *r*-го вида транспорта для транспортировки НСО от места хранения к стационарной технологии переработки, $r = \overline{1, AR}$ [т];

ST_p^{PLATON} - стоимость проезда по дорогам федерального значения (система «ПЛАТОН» [166]) для *p*-ой комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» [руб.];

C_r^{oil} - средняя расчетная стоимость топлива для *r*-го вида транспорта, $r = \overline{1, AR}$ [руб./л];

G_r^{car} - средний расход топлива по паспортным данным *r*-го вида транспорта, $r = \overline{1, AR}$ [л/100 км];

LR_p - удельное расстояние за одну перевозку для p-ой комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» [км/перевозку];

r - порядковый номер транспортного средства для перевозки мобильной установки по переработке НСО или для перевозки отходов от хранилища НСО; AR- общее количество видов транспорта.

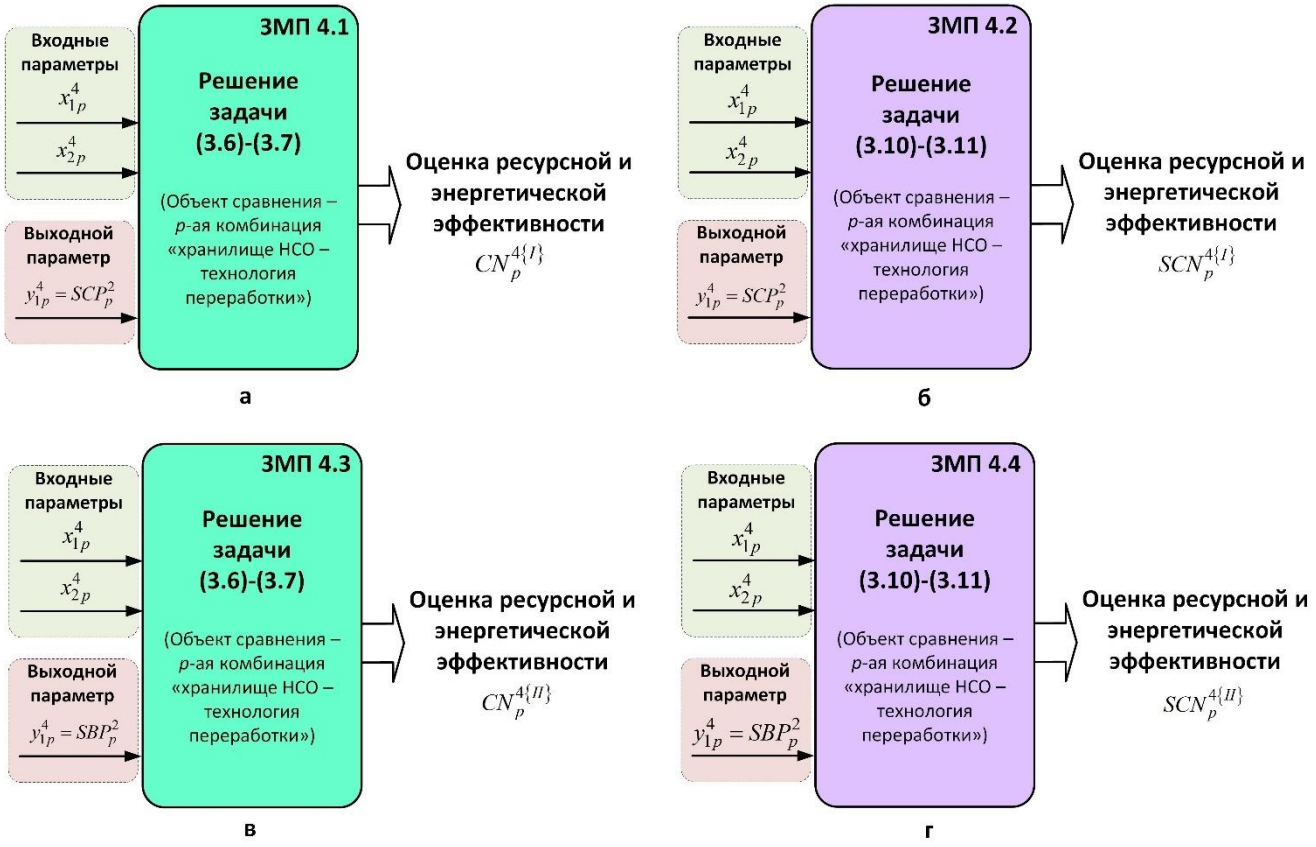


Рисунок 3.6 – Модели для определения оценок ресурсо- и энергоэффективности комбинаций «хранилище НСО – технология переработки»:

а, б - с постоянным эффектом масштаба; **в**, **г** - с переменным эффектом масштаба.

x_{2p}^4 - **длительность транспортировки**, которая для p-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки» определяется по следующему выражению:

$$x_{2p}^4 = TL_p + TPR_p \quad [\text{ч}], \tag{5.53}$$

где

TL_p - длительность транспортировки по кратчайшему маршруту НСО от хранилища к месту размещения стационарной установки по переработке или мобильной установки по переработке к хранилищу НСО [ч];

TPR_p - длительность погрузочно-разгрузочных операций на объекте [ч].

В качестве выходного параметра в ЗМП 4.1 и 4.2, удовлетворяющего условию (3.3), увеличение которого приводит к росту ресурсо- и энергоэффективности *p*-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки», предлагается выбрать оценку ресурсного потенциала комбинаций в системе комплексной переработки НСО $y_{1p}^4 = SCP_p^2$, полученную для данной комбинации в ходе решения ЗМП 2.2 на основе модели Super-Efficiency метода DEA с постоянным эффектом масштаба.

В качестве выходного параметра в ЗМП 4.3 и 4.4, удовлетворяющего условию (3.3), увеличение которого приводит к росту ресурсо- и энергоэффективности *p*-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки», предлагается выбрать оценку ресурсного потенциала комбинаций в системе комплексной переработки НСО $y_{1p}^4 = SBP_p^2$, полученную в ходе решения ЗМП 2.4 по модели Super-Efficiency метода DEA с переменным эффектом масштаба.

В результате решения ЗМП 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 определяются оценки $CN_p^{4\{I\}}$, $SCN_p^{4\{I\}}$, $CN_p^{4\{II\}}$, $SCN_p^{4\{II\}}$ $p = \overline{1,P}$ ресурсной и энергетической эффективности для *P* комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» в системе, соответственно.

По величине оценок $SCN_p^{4\{I\}}$ ресурсной и энергетической эффективности по модели Super-Efficiency метода DEA определяется комбинация, обеспечивающая наибольшую ресурсную и энергетическую эффективность процесса переработки в КП НСО с учётом оценки их ресурсного потенциала при постоянном эффекте масштаба. Использование оценок $SCN_p^{4\{I\}}$ ресурсной и энергетической эффективности комбинаций для составления последовательности переработки НСО в хранилищах приводит к формированию оперативных управленческих решений в рассматриваемой системе.

По величине оценок $SCN_p^{4\{II\}}$ ресурсной и энергетической эффективности по модели Super-Efficiency метода DEA определяется комбинация, обеспечивающая наибольшую ресурсную и энергетическую эффективность процесса переработки в КП НСО с учётом оценки их ресурсного потенциала при переменном эффекте масштаба. Использование оценок $SCN_p^{4\{II\}}$ ресурсной и энергетической эффективности комбинаций для составления последовательности переработки НСО в хранилищах приводит к формированию стратегических управленческих решений в рассматриваемой системе.

3.3.5 Многофакторный анализ комплексной эффективности

Проблемно-ориентированная модель для определения оценки комплексной эффективности *p*-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки» основана на формулировке и решении следующих задач с учётом постоянного и переменного эффектов масштаба: (3.6)-(3.7) с использованием CCR модели (**ЗМП 5.1**, Рисунок 3.7, **а, и ЗМП 5.3**, Рисунок 3.7, **в**, соответственно), (3.10)-(3.11) с использованием модели Super-Efficiency (**ЗМП 5.2** на Рисунке 3.7, **б** и **ЗМП 5.4** на Рисунке 3.7, **г**, соответственно).

В качестве входных параметров, удовлетворяющих условию (3.2), предлагается выбрать следующие параметры, совпадающие с соответствующими входным параметрами ЗМП 4.1-4.4, увеличение которых снижает ресурсо- и энергоэффективность *p*-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки»: $x_{1p}^5 = x_{1p}^4$ - удельные энергетические затраты на доставку отхода или мобильной установки [руб./т] и $x_{2p}^5 = x_{2p}^4$ - время доставки отходов к месту работы стационарных установок по переработке, либо время доставки мобильных установок к месту расположения хранилища НСО [ч].

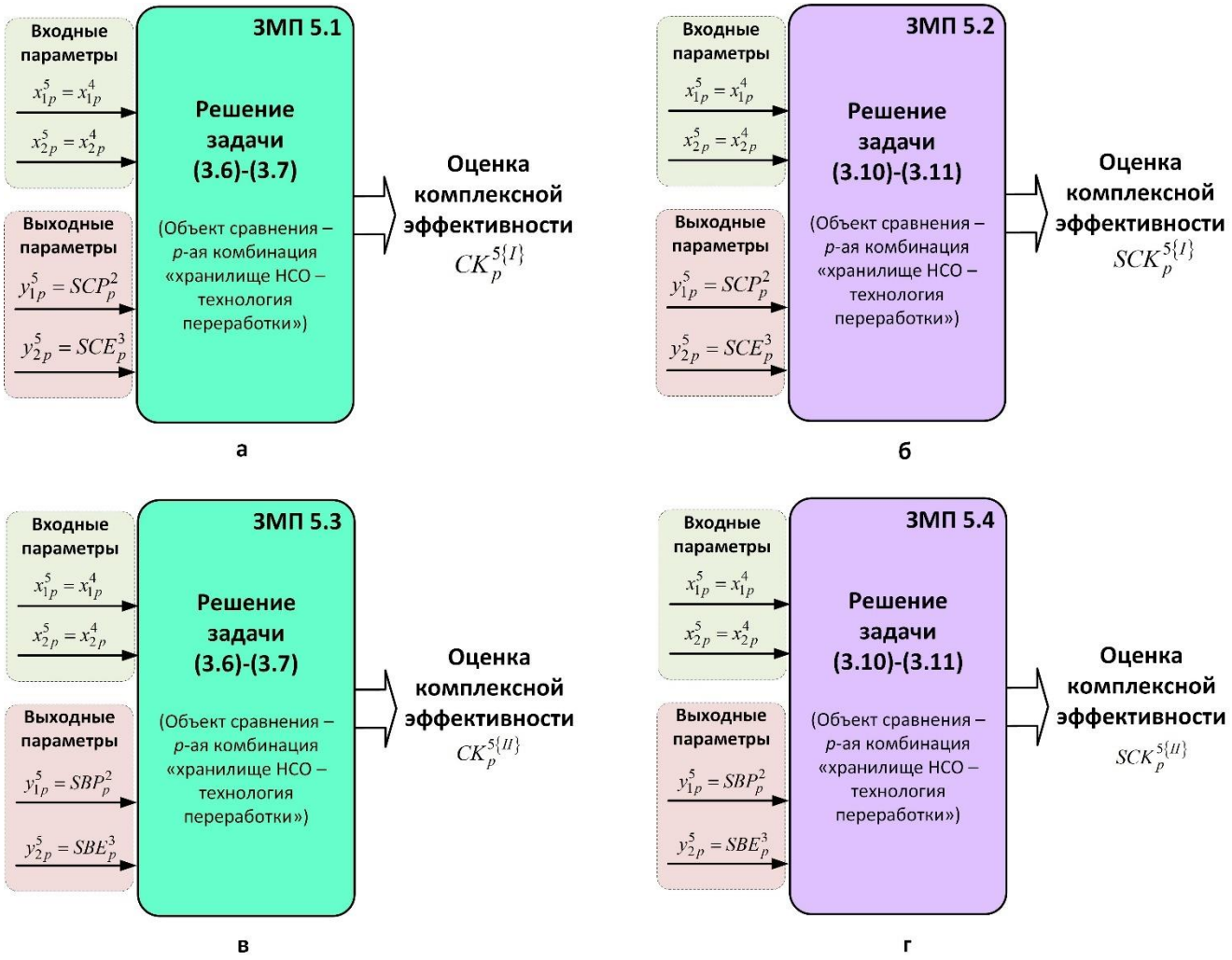


Рисунок 3.7 – Модели для определения оценок комплексной эффективности комбинаций «хранилище НСО – технология переработки»:

а, б - с постоянным эффектом масштаба; **в**, **г** - с переменным эффектом масштаба.

В качестве выходных параметров в ЗМП 5.1 и 5.2, удовлетворяющих условию (3.3), предлагается выбрать параметры, увеличение которых приводит к росту комплексной эффективности p-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки» с учётом постоянного эффекта масштаба: $y_{1p}^5 = SCP_p^2$ - оценку ресурсного потенциала данной комбинации, полученную в ходе решения ЗМП 2.2 по модели Super-Efficiency метода DEA; $y_{2p}^5 = SCE_p^3$ - оценку экологической безопасности данной комбинации, полученную в ходе решения ЗМП 3.2 по модели Super-Efficiency метода DEA.

В качестве выходных параметров в ЗМП 5.3 и 5.4, удовлетворяющих условию (3.3), предлагается выбрать параметры, увеличение которых приводит к росту комплексной эффективности *p*-ой комбинации «хранилище НСО – технология переработки» с учётом переменного эффекта масштаба: $y_{1p}^5 = SBP_p^2$ - оценку ресурсного потенциала данной комбинации, полученную в ходе решения ЗМП 2.4 по модели Super-Efficiency метода DEA; $y_{2p}^5 = SBE_p^3$ - оценку экологической безопасности данной комбинации, полученную в ходе решения ЗМП 3.4 по модели Super-Efficiency метода DEA.

В результате решения ЗМП 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 определяются оценки $CK_p^{5\{I\}}$, $SCK_p^{5\{I\}}$, $CK_p^{5\{II\}}, SCK_p^{5\{II\}}$, $p = \overline{1,P}$ комплексной эффективности для *P* комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» в системе, соответственно.

По величине оценок $SCK_p^{5\{I\}}$ комплексной эффективности по модели Super-Efficiency метода DEA определяется комбинация, обеспечивающая наибольшую эффективность процесса переработки в КП НСО с учётом оценок их ресурсного потенциала и экологической безопасности при постоянном эффекте масштаба. Использование оценок $SCK_p^{5\{I\}}$ комплексной эффективности комбинаций для составления последовательности переработки НСО в хранилищах приводит к формированию оперативных управленческих решений в рассматриваемой системе.

По величине оценок $SCK_p^{5\{II\}}$ комплексной эффективности по модели Super-Efficiency метода DEA определяется комбинация, обеспечивающая наибольшую эффективность процесса переработки в КП НСО с учётом оценок их ресурсного потенциала и экологической безопасности при переменном эффекте масштаба. Использование оценок $SCK_p^{5\{II\}}$ комплексной эффективности комбинаций для составления последовательности переработки НСО в хранилищах приводит к формированию стратегических управленческих решений в рассматриваемой системе.

3.4 Методы и алгоритмы решения задач многофакторного анализа

Предложенные и обоснованные в разделе 3.3 проблемно-ориентированные модели для определения оценок эффективности КП НСО по разнородным и комплексным факторам непосредственно использовались в диссертации при разработке методов и алгоритмов решения задач многофакторного анализа сложно-структурированной системы переработки НСО.

В качестве методической основы многофакторного анализа КП НСО предлагается последовательное и взаимосвязанное решение ЗМП, описанных в разделе 3.3, в соответствии с разработанным алгоритмом решения задач многофакторного анализа, который включает следующие основные этапы (Рисунок 3.8):

1. Сбор и подготовка исходных данных для решения задач многофакторного анализа в форме матриц из БД хранилищ НСО и технологий переработки (раздел 2.3).

2. Выбор объектов для анализа (N хранилищ НСО и M технологий переработки) в БД хранилищ НСО и технологий переработки и составление комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» в соответствии с разработанным алгоритмом анализа качества информации (раздел 2.4); Индексация комбинаций «хранилище НСО – технология переработки», хранилищ НСО и технологий переработки в соответствии с правилами преобразования индексов (3.15).

3. Выбор проблемно-ориентированных моделей для определения оценок ресурсной ценности НСО в хранилищах (раздел 3.3.1), ресурсного потенциала (раздел 3.3.2), экологической безопасности (раздел 3.3.3), ресурсной и энергетической эффективности (раздел 3.3.4), а также комплексной эффективности комбинаций (раздел 3.3.5).

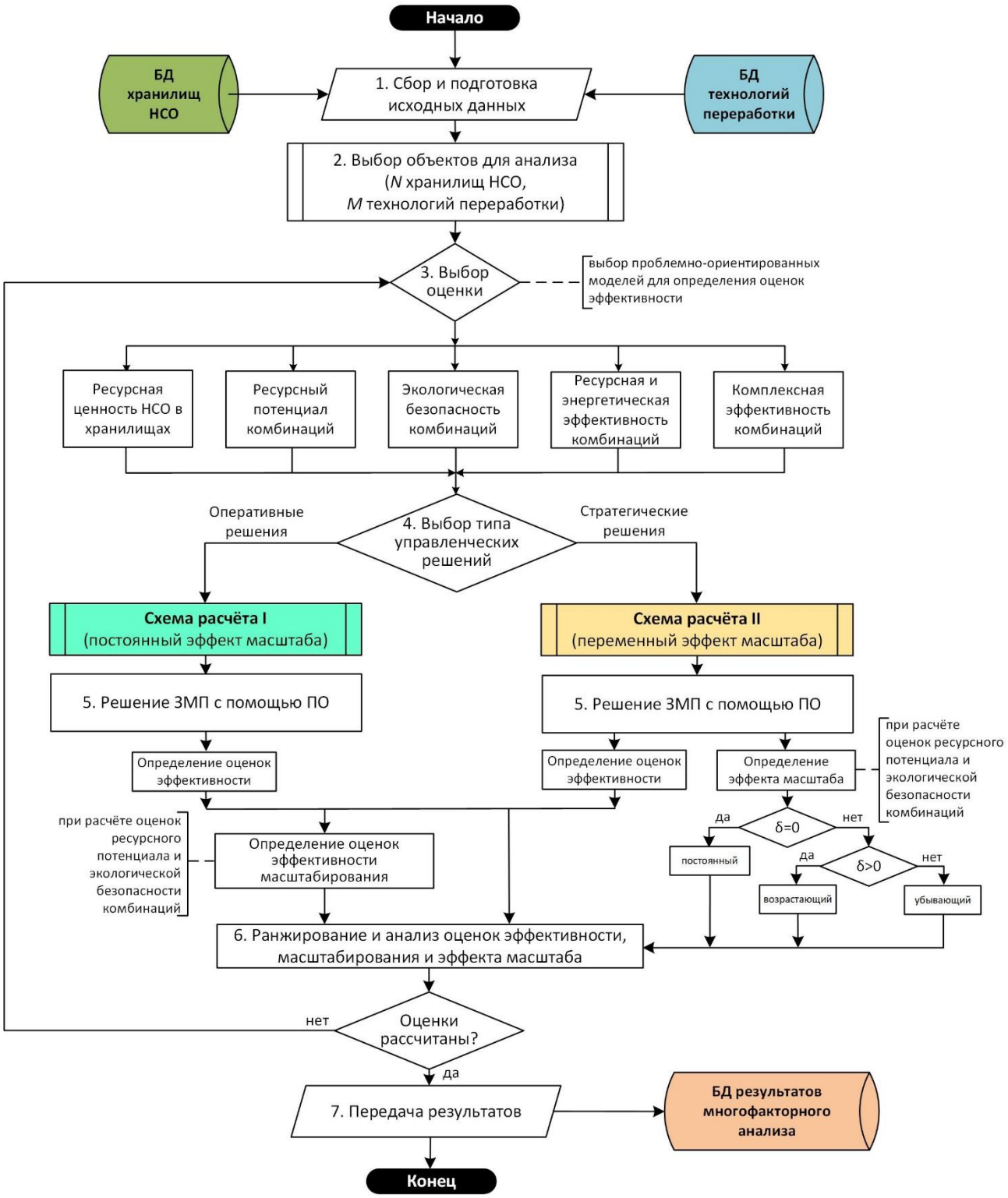


Рисунок 3.8 – Алгоритм решения задач многофакторного анализа КП НСО

4. Выбор типа управленческих решений определяет расчётную схему задач многофакторного анализа. Если требуется оперативная переработка НСО во всех хранилищах и получение максимального объема полезных ресурсов в текущий момент времени, то используется схема **I** (Рисунок 3.9), в которой эффект масштаба

является постоянным. Схема **II** применяется для принятия решений на стратегическом уровне (Рисунок 3.10), когда требуется учитывать масштабные свойства технологий переработки отходов, что позволяет в перспективе получить максимальный объем полезных для вторичного использования ресурсов с учётом накопления НСО в соответствующих хранилищах с возрастающим эффектом масштаба.

5. Решение соответствующих ЗМП (раздел 3.3) с помощью разработанного специального программного обеспечения [37] и определение оценок эффективности. Оценки эффективности масштабирования и эффект масштаба определяются только при расчёте оценок ресурсного потенциала и экологической безопасности комбинаций «хранилище НСО – технология переработки».

6. Ранжирование и анализ оценок эффективности, масштабирования и эффекта масштаба для принятия оперативных и стратегических управленческих решений КП НСО.

7. Передача результатов решения задач многофакторного анализа в разработанную БД [32], предназначенную для структуризации и систематизации результатов.

Повторение этапов с 3 по 6 алгоритма осуществляется при необходимости решения задач многофакторного анализа для определения оценок эффективности по всем целевым факторам, описанным в разделе 3.3. Представленные на рисунках 3.9 и 3.10 схемы расчёта **I** и **II** в зависимости от оценки эффективности, которую требуется определить, можно представить в виде следующих шагов, которые могут выполняться при необходимости в различной последовательности:

1) Для определения оценок ресурсной ценности НСО в хранилищах решаются ЗМП 1.1 и 1.2 (Рисунок 3.9).
2) Если необходимо определить оценки ресурсного потенциала комбинаций «хранилище НСО – технология переработки», то сначала решаются ЗМП 1.1 и 1.2 (Шаг 1), а затем, в зависимости от принимаемой стратегии управления переработкой, решаются либо ЗМП 2.1 и 2.2 при оперативных решениях (Рисунок 3.9), либо ЗМП 2.3 и 2.4 при стратегических решениях (Рисунок 3.10).

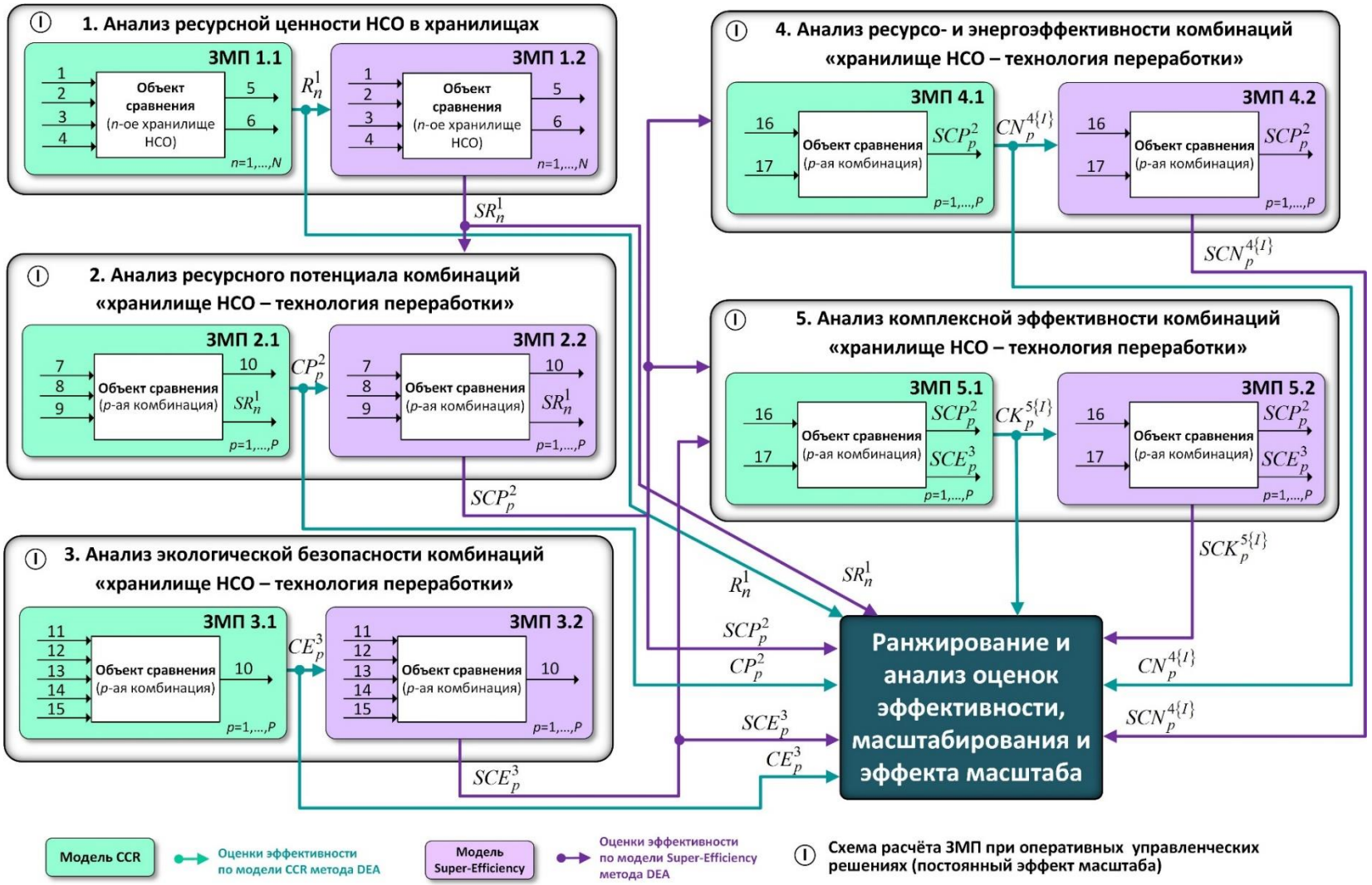


Рисунок 3.9 – **Схема I** для решения задач многофакторного анализа (оперативные решения):

1-6 – входные и выходные параметры ЗМП 1.1 и 1.2 (раздел 3.3.1); **7-10** – входные и выходные параметры ЗМП 2.1 и 2.2 (раздел 3.3.2); **11-15** – входные параметры ЗМП 3.1 и 3.2 (раздел 3.3.3); **16-17** – входные параметры ЗМП 4.1, 4.2 (раздел 3.3.4), 5.1, 5.2 (раздел 3.3.5).

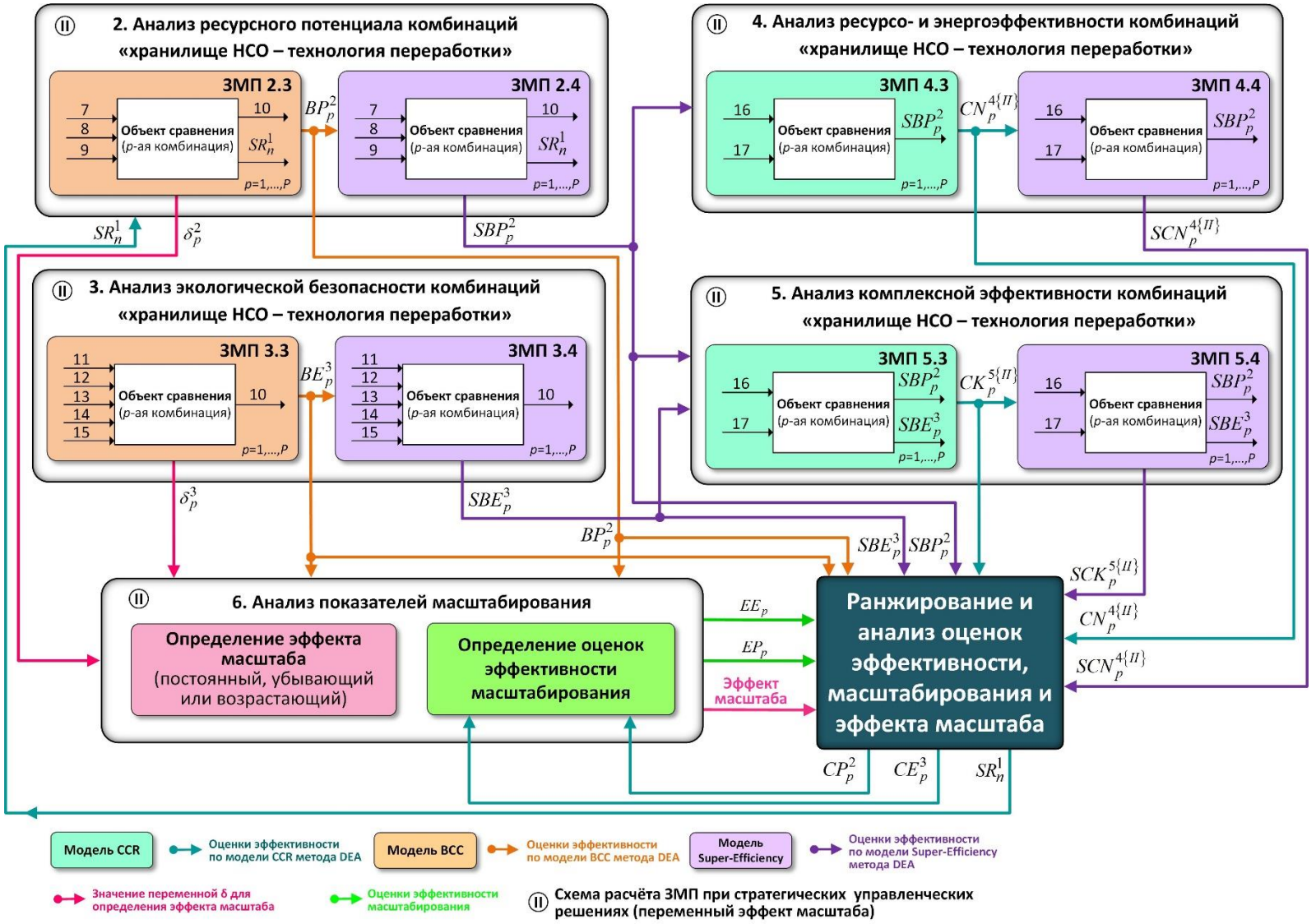


Рисунок 3.10 – **Схема II** для решения задач многофакторного анализа (стратегические решения):

1-17 – обозначения входных и выходных параметров ЗМП аналогично рисунку 3.9.

3) Если необходимо определить оценки экологической безопасности комбинаций то, в зависимости от принимаемой стратегии управления переработкой, решаются либо ЗМП 3.1 и 3.2 при оперативных решениях (Рисунок 3.9), либо ЗМП 3.3 и 3.4 при стратегических решениях (Рисунок 3.10).
4) Если необходимо определить оценки ресурсо- и энергоэффективности комбинаций, то сначала решаются ЗМП 1.1 и 1.2 (Шаг 1). Затем, в зависимости от принимаемой стратегии управления переработкой, решаются последовательно либо ЗМП 2.1, 2.2 (Шаг 2) и ЗМП 4.1, 4.2 при оперативных решениях (Рисунок 3.9), либо ЗМП 2.3, 2.4 (Шаг 2) и ЗМП 4.3, 4.4 при стратегических решениях (Рисунок 3.10).
5) Если необходимо определить оценки комплексной эффективности комбинаций, то сначала решаются ЗМП 1.1 и 1.2 (Шаг 1). Затем, в зависимости от принимаемой стратегии управления переработкой, решаются последовательно либо ЗМП 2.1, 2.2 (Шаг 2), ЗМП 3.1, 3.2 (Шаг 3) и ЗМП 5.1, 5.2 при оперативных решениях (Рисунок 3.9), либо ЗМП 2.3, 2.4 (Шаг 2), ЗМП 3.3, 3.3 (Шаг 3) и ЗМП 5.3, 5.4 при стратегических решениях (Рисунок 3.10).
6) Эффект масштаба (постоянный, убывающий или возрастающий) и оценки EP_p, EE_p эффективности масштабирования комбинаций определяются только при решении ЗМП 2.1-2.4 и ЗМП 3.1- 3.4 (Рисунок 3.10).

3.5 Апробация разработанных методов и алгоритмов решения задач многофакторного анализа

Апробацию разработанных методов и алгоритмов решения задач многофакторного анализа (Рисунок 3.8) рассмотрим на примере КП НСО, расположенного в пределах одного региона РФ (Рисунок 3.11).

В результате выполнения этапов 1 и 2 алгоритма (Рисунок 3.8) выбран состав элементов КП НСО, который включает $N = 90$ хранилищ НСО

различного вида ($n = \overline{1,8}$ – нефтешламовые амбары; $n = \overline{9,23}$ - илонакопители; $n = \overline{24,59}$ - нефтеловушки; $n = \overline{60,84}$ - шламонакопители; $n = \overline{85,90}$ - обвалование свечей аварийного сброса), содержащие отходы различных агрегатных состояний (жидкие, эмульсии, пастообразные) и источников образования (буровые шламы и отработанные растворы, отходы добычи сырой нефти, очистки пластовой воды, нефтесодержащие грунты и др.). Общая масса НСО в хранилищах составляет 191,1 тыс. т, общая площадь всех хранилищ – 100,6 тыс. м^2 (Таблица 3.1).

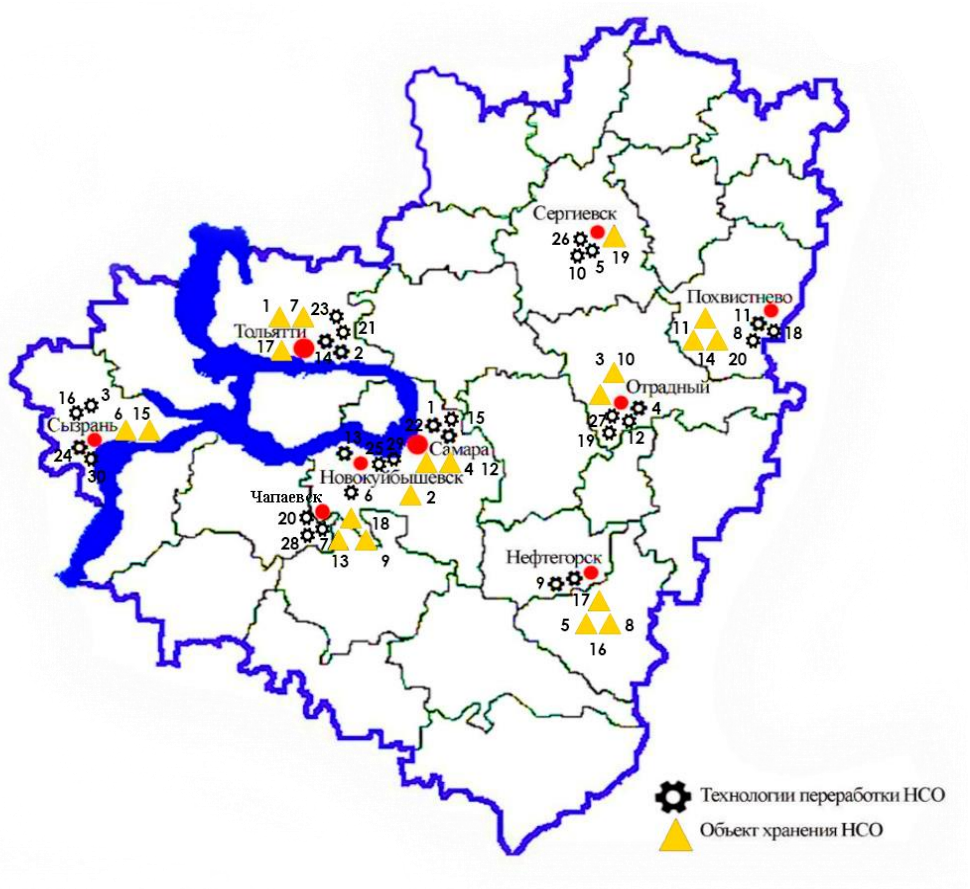


Рисунок 3.11 – Схема расположения технологий переработки и хранилищ НСО в составе анализируемого КП НСО

В таблице 3.2 представлены основные характеристики $M = 14$ установок (технологий) переработки НСО, входящих в рассматриваемый комплекс. Общее число реализуемых комбинаций «хранилище НСО – технология переработки», отвечающих условию (2.10) (раздел 2.4), в рассматриваемой

системе составляет P = 1260. На рисунке 3.11 представлена схема размещения хранилищ НСО и технологий переработки анализируемого комплекса.

Таблица 3.1 - Основные статистические данные по компонентному составу и массе накопленных НСО в N=90 хранилищах

Статистическая характеристика	**Масса НСО, [т]**	**Компонентный состав НСО в *N* хранилищах, [% масс.]**					**Отношение массы ценных углеводородов к массе вредных компонентов и воды**
		Вода	Асфальтены и смолы	Механические и минеральные примеси	Сера	Ценные углеводороды	
Минимальное значение	154	5,221	4,713	3,504	0,617	9,885	0,110
Максимальное значение	24452	72,884	21,864	27,207	2,809	85,694	2,428
Среднее значение	1955	32,969	10,773	14,229	1,651	41,906	0,780
Стандартное отклонение	2777,4	12,429	4,401	5,392	0,473	13,237	0,401

Таблица 3.2 - Характеристики технологий переработки НСО

m	**Название установки (технологии)**	**Метод/Способ переработки НСО**	**Производительность (по паспорту)**	**Наименование продукта вторичной переработки**
1	МегаМакс	Физический метод/ отстаивание, фильтрация	7–15 м^3/ч	нефть
2	Mineraloel	Комбинированный метод/ фильтрация, пиролиз	2 м^3/ч	нефть, сухой остаток
3	COMPEX HTP 2,2	Физико-химический метод/ пиролиз	0,2 т/ч	пиролизный газ, сухой остаток
4	COMPEX HTP 20	Физико-химический метод/ пиролиз	2–2,3 т/ч	пиролизный газ, сухой остаток
5	Holo-Scru 10	Физико-химический метод/ термодесорбционная система (косвенного нагрева)	0,1–20 м^3/ч	нефть
6	Electric-Scru 10	Физико-химический метод/ термодесорбционная система (косвенного нагрева)	0,1–20 м^3/ч	нефть
7	Фортан - 4	Физико-химический метод/ пиролиз	0,1–0,5 т/ч	пиролизный газ, сухой остаток
8	Фортан-20	Физико-химический метод/ пиролиз	0,5–2,5 т/ч	пиролизный газ, сухой остаток

Продолжение таблицы 3.2

m	**Название установки (технологии)**	**Метод/Способ переработки НСО**	**Производитель-ность (по паспорту)**	**Наименование продукта вторичной переработки**
9	Фортан ТМ 200	Физико-химический метод/ пиролиз	5,2–36 м^3/ч	жидкое печное топливо, технических углерод, газ
10	ПУ-01	Химический метод/ реагентное капсулирование	2 м^3/ч	порошок минеральный «Пун» для асфальтобетонных смесей, отсыпки дорог не выше II-ой категории
11	УПБШ-10С/УПБШ-10СД	Физический метод/ смешивание, фильтрация	10–15 м^3/ч	грунтово-шламовая смесь для отсыпки дорог III-ей категории
12	УОГ-15-В2ГЦ2-10	Физический метод/ смешивание, центрифугирование, фильтрация	15–20 м^3/ч	нефть
13	Eco-TechRecOil Oy	Комбинированный метод/ сорбционная очистка, фильтрация, отжим	30–50 м^3/ч	нефть
14	Innotech	Физико-химический метод/ сорбционная очистка, фильтрация	0,3–0,35 т/ч	нефть, посевной грунт, техническая вода

Апробация этапов алгоритма с 3 по 6 проведена для определения всех предусмотренных оценок (ресурсной ценности НСО в хранилищах, ресурсного потенциала, экологической безопасности, ресурсной и энергетической эффективности, а также комплексной эффективности комбинаций) с учётом операционных (схема **I**) и стратегических решений (схема **II**).

Представленные в таблице 3.1 статистические данные по компонентному составу и массе накопленных НСО определены по входным $x_{in}^1, i = \overline{1,4}$ и выходным $y_{gn}^1, g = \overline{1,2}$ параметрам к задаче многофакторного анализа (раздел

3.3.1), которые позволяют решить ЗМП 1.1 и 1.2 (Рисунок 3.3) и вычислить оценки R_n^1 и SR_n^1, $n=\overline{1,90}$ ресурсной ценности НСО в хранилищах анализируемого комплекса, соответственно.

Для решения задачи многофакторного анализа ресурсного потенциала комбинаций «хранилище НСО – технология переработки», $p=\overline{1,1260}$ в системе используются соответствующие входные $x_{ip}^2, i=\overline{1,3}$ и выходные $y_{gp}^2, g=\overline{1,2}$ параметры (раздел 3.3.2), по значениям которых составлены основные статистические данные (Таблица 3.3). В результате решения ЗМП 2.1–2.4 определяются оценки CP_p^2, SCP_p^2, BP_p^2, SBP_p^2 ресурсного потенциала комбинаций (Таблица 3.4).

Таблица 3.3 - Основные статистические данные по входным и выходным параметрам в ЗМП 2.1–2.4

Параметры ЗМП	Длительность переработки НСО, x_{1p}^2 [ч]	Масса реагентов, x_{2p}^2 [т]	Расход топлива (энергии), x_{3p}^2 [т]	Масса полезных продуктов рециклинга, y_{1p}^2 [т]	Оценка ресурсной ценности *n*-го объекта хранения, $y_{2p}^2 = SR_n^1$
Минимальное значение	3,08	0	0,012	4,582	0,181
Максимальное значение	101816	7636,2	1654,5	2852,3	2,483
Среднее значение	1533,71	52,301	12,55	244,73	0,582
Стандартное отклонение	5604,53	300,39	64,896	300,98	0,339

Таблица 3.4 - Основные статистические данные по оценкам ресурсного потенциала комбинаций «хранилище НСО – технология переработки»

Схема расчёта	**I**		**II**	
Эффект масштаба	Постоянный		Переменный	
Модель метода DEA	CCR, (3.6)-(3.7)	Super-efficiency, (3.10)-(3.11)	BCC, (3.8)-(3.9)	Super-efficiency, (3.12)-(3.13)
ЗМП	**2.1**	**2.2**	**2.3**	**2.4**
Обозначение оценок	CP_p^2	SCP_p^2	BP_p^2	SBP_p^2
Минимальное значение	0,023	0,033	0,023	0,033
Максимальное значение	1	1	1,370	6,791
Среднее значение	0,326	0,365	0,327	0,383
Стандартное отклонение	0,221	0,245	0,225	0,388

Для решения задачи многофакторного анализа экологической безопасности комбинаций «хранилище НСО – технология переработки», $p=\overline{1,1260}$ в системе используются соответствующие входные $x_{ip}^3, i=\overline{1,5}$ и выходной y_{1p}^3 параметры (раздел 3.3.3), по значениям которых составлены основные статистические данные (Таблица 3.5). В результате решения ЗМП 3.1–3.4 определяются оценки CE_p^3, SCE_p^3, BE_p^3, SBE_p^3 экологической безопасности комбинаций (Таблица 3.6).

Для решения задач многофакторного анализа ресурсной и энергетической эффективности (раздел 3.3.4), а также комплексной эффективности (раздел 3.3.5) комбинаций «хранилище НСО – технология переработки», $p=\overline{1,1260}$ в системе используются соответствующие входные $x_{ip}^4 = x_{ip}^5, i=\overline{1,2}$ и выходные $y_{1p}^4 = y_{1p}^5, y_{2p}^5$ параметры, по значениям которых составлены основные статистические данные (Таблица 3.7).

Таблица 3.5 - Основные статистические данные по входным и выходным параметрам в ЗМП 3.1–3.4

Параметры ЗМП	Валовый выброс парниковых газов (углекислого газа и метана), x_{1p}^3 [т]	Валовый выброс сернистого ангидрида, x_{2p}^3 [т]	Валовый выброс в атмосферу сажи, x_{3p}^3 [т]	Масса образовавшейся золы, x_{4p}^3 [т]	Масса образовавшейся загрязненной воды, x_{5p}^3 [т]	Масса полезных продуктов рециклинга, $y_{1p}^3 = y_{1p}^2$ [т].
Минимальное значение	0	0	0	17,76	4,14	4,582
Максимальное значение	7341,6	334,92	667,44	2571,09	24565,96	2852,3
Среднее значение	439,84	5,69	12,04	265,38	966,75	244,73
Стандартное отклонение	650,71	18,85	39,53	334,28	2132,58	300,98

Таблица 3.6 - Основные статистические данные по оценкам экологической безопасности комбинаций «хранилище НСО – технология переработки»

Схема расчёта	**I**		**II**	
Эффект масштаба	Постоянный		Переменный	
Модель метода DEA	CCR, (3.6)-(3.7)	Super-efficiency, (3.10)-(3.11)	BCC, (3.8)-(3.9)	Super-efficiency, (3.12)-(3.13)
ЗМП	**3.1**	**3.2**	**3.3**	**3.4**
Обозначение оценок	CE_p^3	SCE_p^3	BE_p^3	SBE_p^3
Минимальное значение	0,048	0,053	0,048	0,053
Максимальное значение	1	1	1,415	Макс.
Среднее значение	0,538	0,585	0,539	0,747
Стандартное отклонение	0,318	0,315	0,319	3,973

Таблица 3.7 - Основные статистические данные по входным и выходным параметрам в ЗМП 4.1–4.4 и ЗМП 5.1–5.4

Параметры ЗМП	Удельные энергетические затраты на транспортировку, $x_{1p}^4 = x_{1p}^5$ [руб./т]	Длительность транспортировки, $x_{2p}^4 = x_{2p}^5$ [ч].	**Схема I** (постоянный эффект масштаба)		**Схема II** (переменный эффект масштаба)	
			$y_{1p}^4 = y_{1p}^5 = SCP_p^2$	$y_{2p}^5 = SCE_p^3$	$y_{1p}^4 = y_{1p}^5 = SBP_p^2$	$y_{2p}^5 = SBE_p^3$
Минимальное значение	10,095	2,83	0,0231	0,048	0,0325	0,0533
Максимальное значение	7502,81	15829,59	1,37	1,41	6,79	100
Среднее значение	1034,59	736,98	0,33	0,54	0,38	0,75
Стандартное отклонение	717,11	1178,42	0,22	0,32	0,39	3,97

Представленные на рисунках 3.12-3.16 (схема **I**) и рисунках 3.17-3.20 (схема **II**) ранжированные оценки эффективности по различным критериям позволяют принимать локальные управленческие решения по выбору наилучших технологий для переработки НСО в хранилищах.

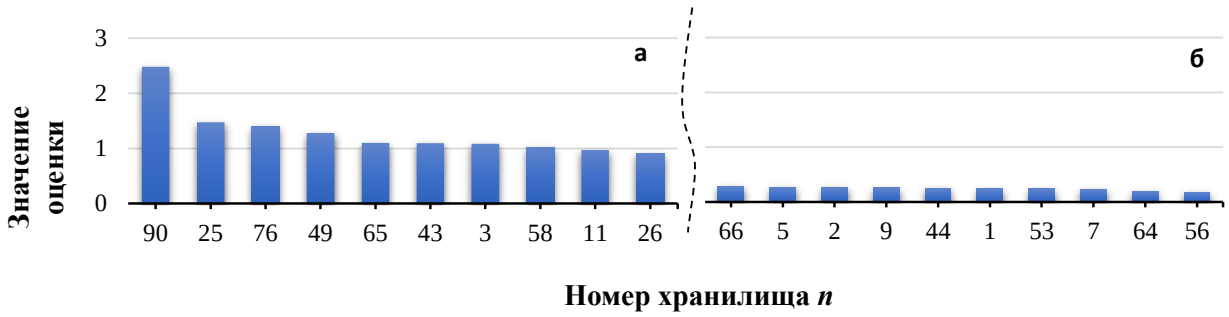


Рисунок 3.12 –Оценки SR_n^1 ресурсной ценности НСО в хранилищах:

а – лучшие; б – наихудшие

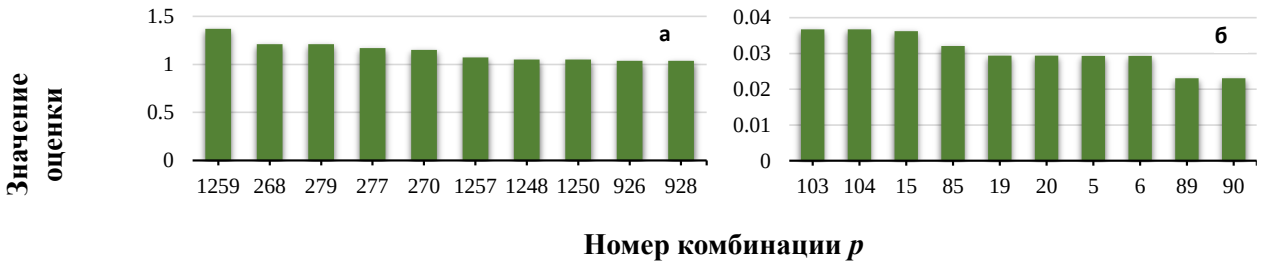


Рисунок 3.13 – Оценки SCP_p^2 ресурсного потенциала комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» (схема **I**): а – лучшие; б – наихудшие

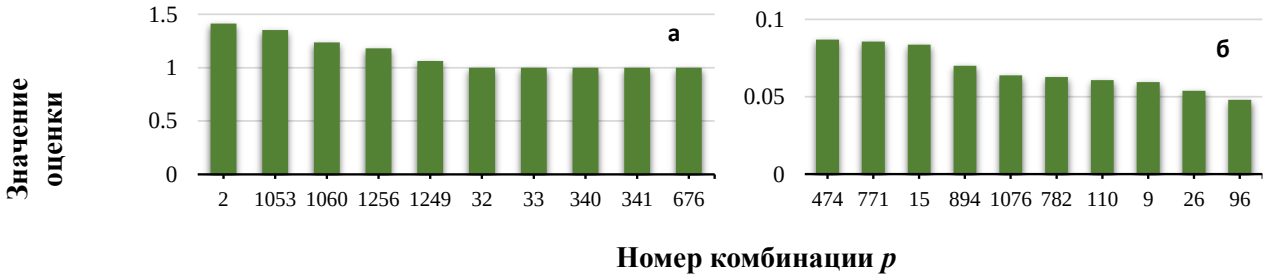


Рисунок 3.14 – Оценки SCE_p^3 экологической безопасности комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» (схема **I**): а – лучшие; б – наихудшие

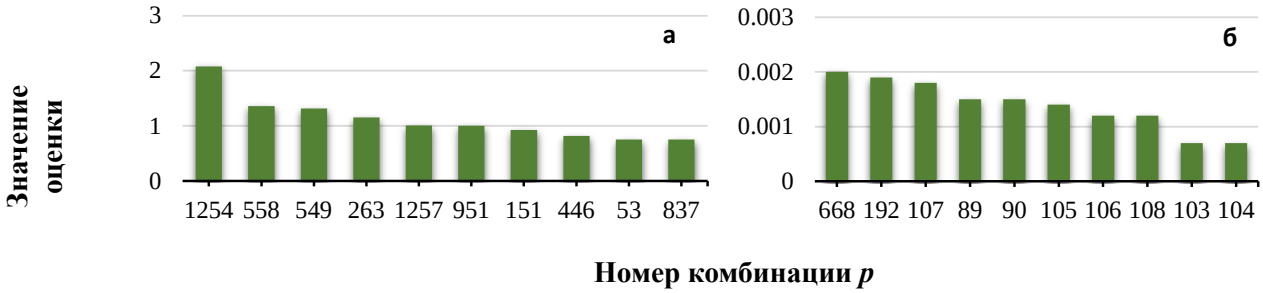


Рисунок 3.15 – Оценки $SCN_p^{4\{I\}}$ ресурсо- и энергоэффективности комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» (схема **I**): а – лучшие; б – наихудшие

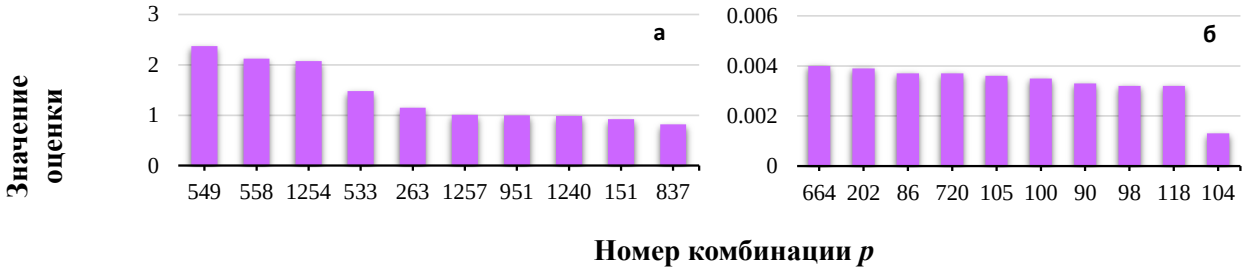


Рисунок 3.16 – Оценки $SCK_p^{5\{I\}}$ комплексной эффективности комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» (схема **I**): а – лучшие; б – наихудшие

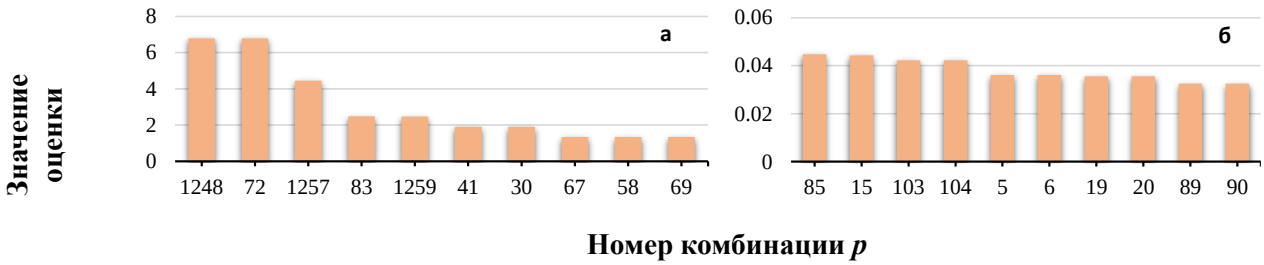


Рисунок 3.17 – Оценки SBP_p^2 ресурсного потенциала комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» (схема **II**): а – лучшие; б – наихудшие

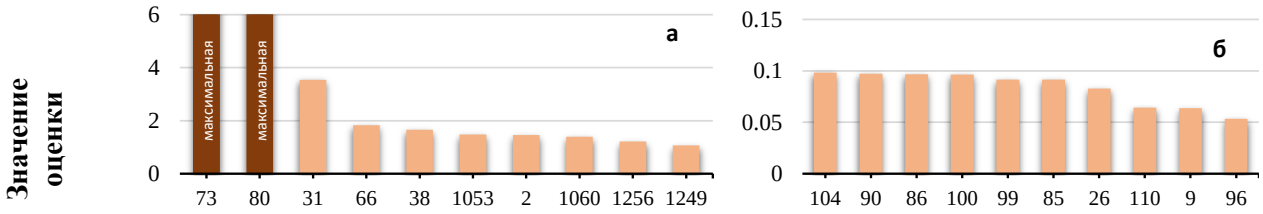


Рисунок 3.18 – Оценки SBE_p^3 экологической безопасности комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» (схема **II**):
а – лучшие; б – наихудшие

(«Максимальная» означает, что комбинация «хранилище НСО – технология переработки» останется эффективной при любом изменении входных параметров в соответствующей ЗМП)

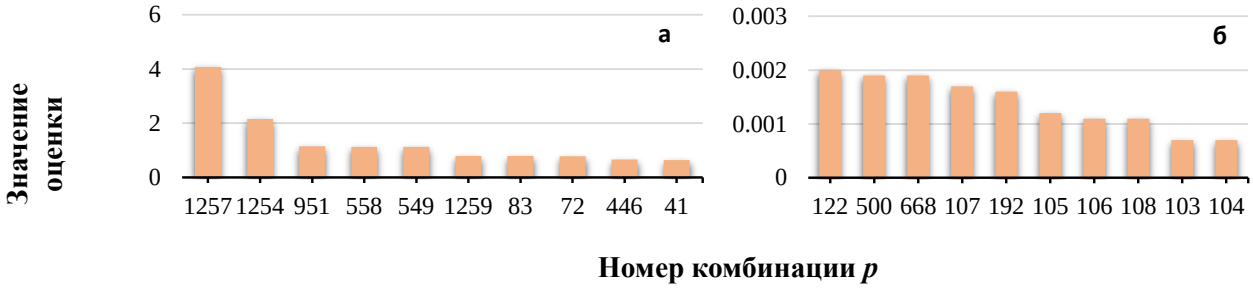


Рисунок 3.19 – Оценки $SCN_p^{4\{II\}}$ ресурсо- и энергоэффективности комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» (схема **II**): а – лучшие; б – наихудшие

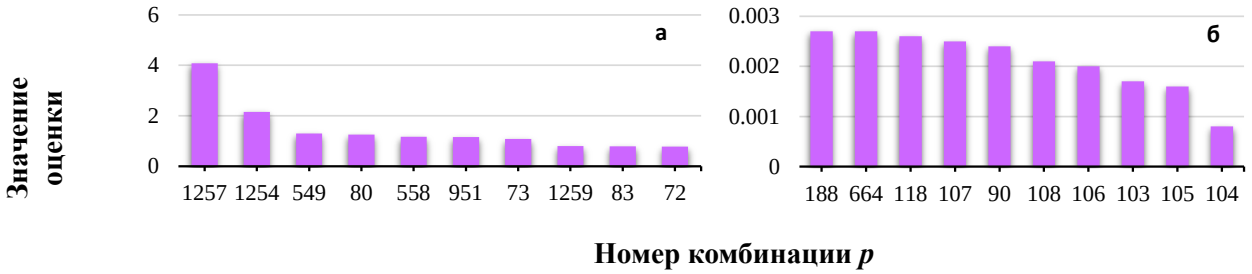


Рисунок 3.20 – Оценки $SCK_p^{5\{II\}}$ комплексной эффективности комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» (схема **II**): а – лучшие; б – наихудшие

В ходе апробации 6 этапа (Рисунок 3.8) алгоритма решения задач многофакторного анализа получены оценки $SCN_p^{4\{I\}}$, $SCN_p^{4\{II\}}$ ресурсо- и энергоэффективности, комплексные оценки эффективности $SCK_p^{5\{I\}}$, $SCK_p^{5\{II\}}$ объектов рассматриваемой КП НСО в результате решения ЗМП 4.2, 5.2 для схемы **I** и ЗМП 4.4, 5.4 для схемы **II**. Результаты статистической обработки полученных оценок представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Результаты статистической обработки оценок ресурсо- и энергоэффективности и комплексной эффективности объектов анализируемой КП НСО

Схема расчёта		**I**		**II**	
Эффект масштаба		Постоянный		Переменный	
Модель метода DEA		Super-efficiency, (3.10)-(3.11)		Super-efficiency, (3.12)-(3.13)	
ЗМП		**4.2**	**5.2**	**4.4**	**5.4**
Обозначение оценок		$SCN_p^{4\{I\}}$	$SCK_p^{5\{I\}}$	$SCN_p^{4\{II\}}$	$SCK_p^{5\{II\}}$
Минимальная оценка		0,0007	0,0013	0,0007	0,0008
Максимальная оценка		2,08	2,371	4,08	4,075
Средняя оценка		0,08	0,107	0,05	0,058
Стандартное отклонение		0,15	0,176	0,16	0,165
Доля комбинаций в диапазоне оценок, %	(0; 0,11]	80,00	74,44	90,56	89,29
	(0,11; 0,21]	8,65	11,59	6,03	6,83
	(0,21; 0,31]	5,24	6,43	1,75	2,06
	(0,31; 0,41]	2,54	3,10	0,48	0,48
	(0,41; 0,51]	1,67	1,11	0,24	0,16
	(0,51; 0,61]	0,71	1,67	0,16	0,16
	(0,61, 0,71]	0,32	0,56	0,16	0,24
	(0,71; 0,81]	0,24	0,24	0,24	0,24
	(0,81; 0,91]	0,08	0,16	-	-
	(0,91; 1,00]	0,16	0,24	-	-
	> 1,00	0,40	0,48	0,40	0,56

Анализ результатов показывает (Таблица 3.8), что при постоянном эффекте масштаба (схема **I**) неэффективность отдельных комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» достигает 99,93% по критерию ресурсо- и энергоэффективности и 99,87% по критерию комплексной эффективности, о чём свидетельствуют минимальные оценки по соответствующим критериям равные 0,0007 и 0,0013. Аналогичный результат наблюдается при переменном эффекте масштаба (схема **II**): неэффективность некоторых комбинаций достигает 99,93% и 99,92% по соответствующим критериям. При этом доля полностью эффективных комбинаций с максимальными оценками ресурсо- и энергоэффективности при постоянном и переменном эффекте масштаба составляет 0,4%. Доля комбинаций с максимальными оценками комплексной эффективности при постоянном

эффекте масштаба составляет 0,48%, а при переменном – 0,56%, что свидетельствует о наличии эффективных технологий переработки в системе.

Большая доля неэффективных или мало эффективных комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» с оценками в диапазоне (0; 0,21] при постоянном (88,65% и 86,03% по критериям ресурсо- и энергоэффективности, и комплексной эффективности, соответственно) и переменном (96,59% и 96,12%, соответственно) эффектах масштаба свидетельствуют о необходимости решения оптимизационных задач по соответствующим критериям эффективности с учётом существующих и заданных ограничений.

Анализ результатов при решении ЗМП 2.3, 2.4 показал, что из P=1260 анализируемых комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» в системе 28 имеют постоянный эффект масштаба, 386 – убывающий, 846 – возрастающий (Рисунок 3.21).

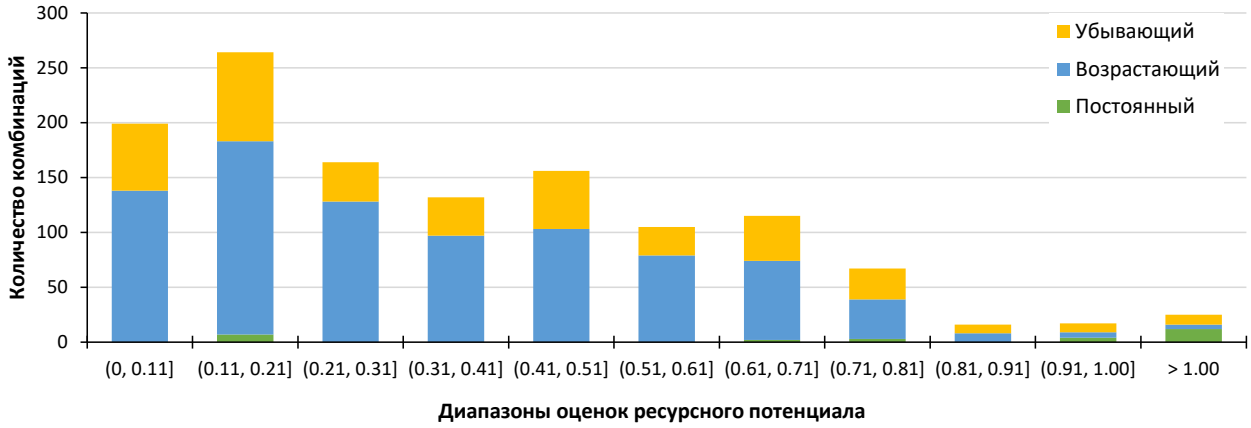


Рисунок 3.21 – Распределение комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» по диапазонам оценок SBP_p^2 ресурсного потенциала с переменным эффектом масштаба

В соответствии с разделом 3.2 можно сформулировать правила определения очередности переработки с учётом информации об эффекте

масштаба в анализируемой КП НСО, которые используются при разработке алгоритма выбора и принятия управленческих решений (раздел 5.1):

1) Учёт эффекта масштаба при принятии управленческих решений может использоваться в случае, если требуется получить максимальный объем полезных углеводородов и общее время переработки отходов в системе не ограничено. Тогда, в первую очередь, следует перерабатывать НСО, входящие в комбинации «хранилище НСО – технология переработки» с убывающим эффектом масштаба, так как при потенциальном увеличении объема НСО в таких хранилищах будет наблюдаться снижение соответствующего объема полезных углеводородов после переработки.

2) Во вторую очередь следует перерабатывать НСО из комбинаций с постоянным эффектом масштаба, потому что они не зависят от временного фактора и затраченные ресурсы на переработку пропорциональны получаемому объему полезных углеводородов.

3) Переработку НСО из хранилищ, входящих в комбинации с возрастающим эффектом масштаба, следует отложить и рекомендуется продолжить накапливать в них отходы, чтобы иметь потенциальную возможность увеличения объема полезных углеводородов после переработки.

В соответствии с вышесказанным, максимальные оценки ресурсного потенциала $SBP_p^2 > 1$ (Рисунок 3.21) имеют 25 комбинаций, следовательно, управляющие решения по переработке НСО в хранилищах для этой группы объектов должны быть приняты в первоочередном порядке.

Анализ результатов при решении ЗМП 3.3, 3.4 показал, что из P=1260 анализируемых комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» в системе 23 имеют постоянный эффект масштаба, 376 – убывающий, 861 – возрастающий (Рисунок 3.22). Максимальные оценки экологической безопасности $SEP_p^3 > 1$ имеют 14 комбинаций, следовательно, управляющие решения по переработке НСО в хранилищах для этой группы объектов должны быть приняты также в первоочередном порядке.

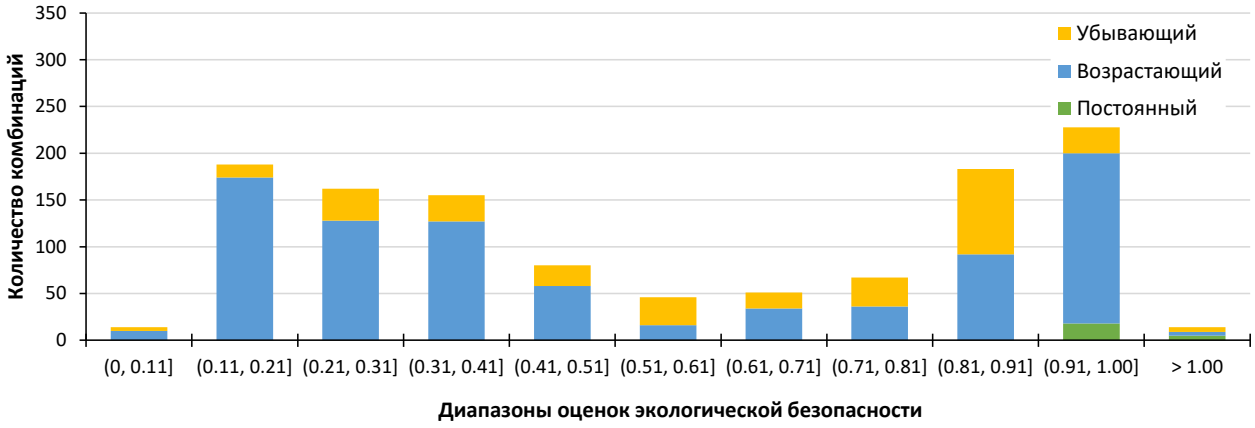


Рисунок 3.22 – Распределение комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» по диапазонам оценок SEP_p^3 экологической безопасности с переменным эффектом масштаба

Если принятие решения по переработке отходов в КП НСО на основе информации по величине ранжированных оценок ресурсного потенциала (рисунки 3.13 и 3.17), экологической безопасности (рисунки 3.14, 3.18) и сведений по эффекту масштаба (рисунки 3.21 и 3.22) является неоднозначным, то дополнительно анализируются оценки масштабирования, рассчитываемые по формуле (3.20), статистические данные о которых представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 - Основные статистические данные по оценкам масштабирования комбинаций «хранилище НСО – технология переработки»

Статистическая характеристика	**Оценка масштабирования для задачи многофакторного анализа ресурсного потенциала (раздел 3.3.2)**	**Оценка масштабирования для задачи многофакторного анализа экологической безопасности (раздел 3.3.3)**
	EP_p	EE_p
Минимальное значение	0,306	0,114
Максимальное значение	1	1
Среднее значение	0,899	0,909
Стандартное отклонение	0,111	0,149

Результаты решения задач многофакторного анализа КП НСО хранятся в разработанной базе данных в удобном для дальнейшего использования виде (этап 7, Рисунок 3.8).

3.6 Выводы по третьей главе

1. Представлена научно-обоснованная постановка задач многофакторного анализа КП НСО, которая определяет необходимость разработки методов и алгоритмов решения указанных задач, соответствующих установленным в разделе 3.1 требованиям.

2. Рассмотрена общая структура проблемно-ориентированных моделей для определения оценок эффективности и формулировки задач многофакторного анализа с помощью метода DEA. Обосновано использование моделей CCR, BCC и Super-Efficiency и методологии DEA для решения задач многофакторного анализа КП НСО с учётом постоянного и переменного эффектов масштаба.

3. На основе метода DEA разработаны и обоснованы новые модели для определения оценок эффективности сложно-структурированных комплексов переработки НСО, ориентированные на задачи многофакторного анализа и оптимизации. Эти модели, в отличие от известных, позволяют объективно анализировать сложные многостадийные процессы переработки отходов, учитывая многообразные взаимосвязи между технико-экономическими, технологическими, ресурсными, логистическими, энергетическими и экологическими параметрами.

4. Разработаны, обоснованы и апробированы новые методы и алгоритмы решения задач многофакторного анализа системы комплексной переработки НСО, которые, в отличие от известных, позволяют качественно и количественно оценить её функциональные и масштабные характеристики на основе ряда ключевых критериев: ресурсной ценности и потенциала, экологической безопасности, эффективности использования ресурсов и энергии, а также общей эффективности системы. Обобщённый алгоритм

включает две схемы расчёта, которые позволяют решать ЗМП и определять оценки эффективности с учётом постоянного и переменного эффекта масштаба, что определяет оперативные и стратегические решения, соответственно, при функционировании КП НСО.

5. Проведена апробация разработанного алгоритма решения задач многофакторного анализа на примере КП НСО, включающего 90 хранилищ НСО и 14 технологических установок и расположенного в пределах одного региона РФ. Ранжировка полученных оценок эффективности позволяет принимать локальные управленческие решения по выбору наилучших технологий для переработки НСО в хранилищах. Анализ результатов показал, что доля комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» с максимальными оценками комплексной эффективности при постоянном эффекте масштаба составляет 0,48%, а при переменном – 0,56%. При этом большая доля неэффективных или мало эффективных комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» с оценками эффективности в диапазоне от 0 до 0,21 при постоянном (86,03%) и переменном (96,12%) эффектах масштаба свидетельствуют о необходимости решения оптимизационных задач по соответствующим критериям эффективности с учётом существующих и заданных ограничений. Определены масштабные характеристики комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» и представлены правила определения очередности переработки с учётом информации об эффекте масштаба, которые используются в алгоритме выбора и принятия управленческих решений в КП НСО.

4 Оптимизация сложно-структурированного комплекса переработки нефтесодержащих отходов

В данной главе представлен оригинальный подход к оптимизации систем комплексной переработки НСО на предприятиях нефтегазовой отрасли, в котором комбинация "хранилище - технологическая установка" рассматривается как центральный объект сравнения. Это позволило разработать и теоретически обосновать новые алгоритмы и процедуры решения задачи оптимизации, направленные на максимальную эффективность технологических процессов переработки отходов. Описывается разработанное специализированное ПО, включающее библиотеку модулей и оптимизационных процедур, предназначенное для апробации и реализации разработанных методик системного анализа, алгоритмов многофакторного анализа и оптимизации сложно-структурированных систем комплексной переработки НСО в нефтегазовой промышленности. Представлена общая постановка задачи оптимизации, которая позволяет формулировать однокритериальные и многокритериальные задачи оптимизации, задавать основные и дополнительные ограничения с учётом оперативного и стратегического управления КП НСО. Описана и апробирована разработанная методика оценки эффективности систем переработки НСО с использованием искусственных нейронных сетей, которая упрощает вычислительные процедуры решения задач многофакторного анализа. Представлены результаты апробации алгоритма и процедуры оптимизации. Рассмотренные в главе подходы представлены в работах [6; 15–17; 28; 31–33].

4.1 Постановка задачи оптимизации

Целью оптимизации системы переработки отходов является выявление наилучших комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» в КП НСО по величине относительных оценок эффективности, определяемых в результате решения задач многофакторного анализа (глава 3), в условиях

заданных ограничений. Таким образом, при постановке задачи оптимизации используются результаты решения ЗМП, в которых центральным объектом сравнения и анализа является комбинация «хранилище НСО – технология переработки», предполагающая применение *m*-ой ($m=\overline{1,M}$) технологии для переработки НСО в *n*-ом хранилище ($n=\overline{1,N}$), при этом номер комбинации $p=\overline{1,P}$ определяется в соответствии с (3.15).

Для формирования базового критерия оптимизации набор оценок эффективности *P* комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» по каждому критерию эффективности (ресурсному потенциалу, экологической безопасности, ресурсо- и энергоэффективности и комплексной эффективности) представляется в виде матрицы *W* размерностью *N* × *M*:

$$W=\left\{W_{nm}^{i}\right\}, i=\overline{1,4},\ n=\overline{1,N},\ m=\overline{1,M}, \qquad (4.1)$$

где W_{nm}^{i} − известные оценки эффективности переработки НСО, полученные в ходе решения задач многофакторного анализа (глава 3), определяющие один из базовых критериев оптимизации: ресурсного потенциала $W_{nm}^{1}=SCP_{nm}^{2}$ или $W_{nm}^{1}=SBP_{nm}^{2}$ (раздел 3.3.2), экологической безопасности $W_{nm}^{2}=SCE_{nm}^{3}$ или $W_{nm}^{2}=SBE_{nm}^{3}$(раздел 3.3.3), ресурсо- и энергоэффективности $W_{nm}^{3}=SCN_{nm}^{4\{I\}}$ или $W_{nm}^{3}=SCN_{nm}^{4\{II\}}$(раздел 3.3.4), комплексной эффективности переработки $W_{nm}^{4}=SCK_{nm}^{5\{I\}}$ или $W_{nm}^{4}=SCK_{nm}^{5\{II\}}$(раздел 3.3.5), которые определяются в зависимости от схемы расчёта многофакторной оценки **I** (постоянный эффект масштаба) или **II** (переменный эффект масштаба), соответственно, и с учётом правила сопоставления индексов (3.15).

Результаты расчета длительностей переработки x_{1p}^{2}, $p=\overline{1,P}$ для ЗМП 2.1-2.4 могут быть представлены в виде матрицы $\tilde{T}$ размерности *N* x *M*, где строки матрицы содержат длительности работы всех *M* технологических установок для каждого *n*-го из *N* хранилищ НСО, а столбцы матрицы содержат

длительности работы каждой *m*-ой из *M* технологических установок для всех *N* хранилищ НСО:

$$\tilde{T} = \left\{ x_{1nm}^{2} \right\}, n = \overline{1,N}, m = \overline{1,M} . \quad (4.2)$$

Аналогично могут быть представлены в виде матриц размерностью *N* x *M* следующие характеристики КП НСО:

- Общие затраты на переработку отходов, включающие стоимость реагентов l_{nm}^{1}, стоимость энергетических затрат на работу установки l_{nm}^{2} и на доставку отходов к месту переработки или мобильной установки к месту хранения отходов l_{nm}^{3}, заработную плату персонала, отчисления в страховые фонды и другие аналогичные расходы l_{nm}^{4}, в виде матрицы $\tilde{L}$:

$$\tilde{L} = \left\{ \sum_{\xi=1}^{4} l_{nm}^{\xi} \right\}, n = \overline{1,N}, m = \overline{1,M} ; \quad (4.3)$$

- Масса полезных продуктов рециклинга y_{1p}^{2}, $p = \overline{1,P}$ (ЗМП 2.1-2.4) в виде матрицы $\tilde{R}$:

$$\tilde{R} = \left\{ y_{1nm}^{2} \right\}, n = \overline{1,N}, m = \overline{1,M} ; \quad (4.4)$$

- Объем выброса парниковых газов x_{1p}^{3}, $p = \overline{1,P}$ (ЗМП 3.1-3.4) в виде матрицы $\tilde{D}^{1}$:

$$\tilde{D}^{1} = \left\{ x_{1nm}^{3} \right\}, n = \overline{1,N}, m = \overline{1,M} ; \quad (4.5)$$

Аналогично (4.5) в матричной форме могут быть представлены следующие экологические параметры: объем выброса сернистого ангидрида $\tilde{D}^{2} = \left\{ x_{2nm}^{3} \right\}$, выброс в атмосферу сажи $\tilde{D}^{3} = \left\{ x_{3nm}^{3} \right\}$, масса образовавшейся золы $\tilde{D}^{4} = \left\{ x_{4nm}^{3} \right\}$ и загрязненной воды $\tilde{D}^{5} = \left\{ x_{5nm}^{3} \right\}$. На основе матриц (4.2) – (4.5) формулируются наборы ограничений оптимизационной задачи.

В качестве целевой функции α для решения задачи оптимизации предлагается рассмотреть сумму произведений линейных комбинаций оценок эффективности W_{nm}^{i} (глава 3) и значений параметров λ_{nm}:

$$\alpha = \sum_{n=1}^{N} \sum_{m=1}^{M} W_{nm}^{i} \cdot \lambda_{nm} \to \max, \tag{4.6}$$

где $\lambda_{nm} = 1$ означает выбор m-ой технологии для переработки НСО в n-ом хранилище, в противном случае $\lambda_{nm} = 0$.

Задача оптимизации системы переработки НСО может быть сформулирована в виде целочисленной задачи линейного программирования, в которой требуется найти набор наилучших комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» W_{nm}^{i} в виде матрицы:

$$\Lambda = \{\lambda_{nm}\}, n = \overline{1,N}, m = \overline{1,M}, \tag{4.7}$$

обеспечивающий максимум целевой функции (4.6), формируемой на множестве значений оценок эффективности (4.1).

Задачу оптимизации целесообразно формулировать в условиях основных ограничений:

$$\sum_{n=1}^{N} \sum_{m=1}^{M} \lambda_{nm} = N, \tag{4.8}$$

$$\sum_{m=1}^{M} \lambda_{nm} = 1, n = \overline{1,N}. \tag{4.9}$$

Ограничение (4.8) означает, что гарантируется переработка отходов, размещенных во всех N хранилищах анализируемой системы. Ограничение (4.9) формулируется из предположения, что для любого из N хранилищ выбирается лишь одна технология для переработки хранящихся в нем отходов.

Дополнительные ограничения могут формулироваться в зависимости от дополнительных требований, предъявляемых в процессе функционирования КП НСО (Таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Перечень дополнительных ограничений в задаче оптимизации КП НСО

Ограничение на	**Формулировка ограничения для**	
	***m*-ой установки (технологии)**	***M* установок (технологий)**
Длительность переработки	$\sum_{n=1}^{N} t_{nm} \cdot \lambda_{nm} \le b_m$, (4.10) где b_m - заданная максимальная длительность переработки для *m*-ой установки.	$\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N} t_{nm} \cdot \lambda_{nm} \le \tilde{B}$, (4.11) где $\tilde{B}$ - заданная общая длительность переработки всех *M* установок.
Затраты на переработку	$\sum_{n=1}^{N} l_{nm} \cdot \lambda_{nm} \le c_m$, (4.12) где c_m - заданная максимальная стоимость переработки для *m*-ой установки.	$\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N} l_{nm} \cdot \lambda_{nm} \le CT$, (4.13) где CT - заданная общая стоимость переработки для всех *M* установок.
Минимальную массу полезных продуктов рециклинга	$\sum_{n=1}^{N} r_{nm} \cdot \lambda_{nm} \ge u_m$, (4.14) где u_m - заданная минимальная масса полезных продуктов для *m*-ой установки.	$\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N} r_{nm} \cdot \lambda_{nm} \ge U$, (4.15) где U - заданная минимальная общая масса полезных продуктов для всех *M* установок.
Объем вредных веществ, образующихся в процессе переработки	$\sum_{n=1}^{N} d_{nm}^{\vartheta} \cdot \lambda_{nm} \le ef_m^{\vartheta}$, (4.16) где ef_m^{ϑ} - заданный максимальный объем ϑ-го вредного вещества, образующегося в процессе переработки в *m*-ой установке; $\vartheta = \overline{1,5}$ - индекс вредного вещества (1- парниковые газы, 2-сернистый ангидрид, 3 - сажа, 4 - зола, 5 - загрязнённая вода).	$\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N} d_{nm}^{\vartheta} \cdot \lambda_{nm} \le Ef^{\vartheta}$, (4.17) где Ef^{ϑ} - заданный общий объем ϑ-го вредного вещества, образующегося в процессе переработки для всех *M* установок.

При формулировке задачи многокритериальной оптимизации дополнительные ограничения (4.10)-(4.17) могут быть преобразованы в дополнительные критерии оптимизации (Таблица 4.2). В таком случае задача многокритериальной оптимизации КП НСО формулируется как задача

достижения максимума целевой функции (4.6) при минимальном для критериев (4.18), (4.20), (4.24) и(или) максимальном для критерия (4.22) значениях для каждой *m*-ой установки (технологии) отдельно, либо для критериев (4.19), (4.21), (4.25) и(или) для критерия (4.23) для всех технологических установок переработки НСО в системе, соответственно.

Таблица 4.2 – Дополнительные критерии в задаче оптимизации КП НСО

Критерий	**Формулировка критерия оптимизации для**	
	***m*-ой установки (технологии)**	***M* установок (технологий)**
Быстродействие	$\beta_m = \sum_{n=1}^{N} t_{nm} \cdot \lambda_{nm} \to \min$ (4.18)	$\beta_\Sigma = \sum_{m=1}^{M} \sum_{n=1}^{N} t_{nm} \cdot \lambda_{nm} \to \min$ (4.19)
Минимальные затраты на переработку	$\chi_m = \sum_{n=1}^{N} l_{nm} \cdot \lambda_{nm} \to \min$ (4.20)	$\chi_\Sigma = \sum_{m=1}^{M} \sum_{n=1}^{N} l_{nm} \cdot \lambda_{nm} \to \min$ (4.21)
Максимальная ресурсная продуктивность	$\gamma_m = \sum_{n=1}^{N} r_{nm} \cdot \lambda_{nm} \to \max$ (4.22)	$\gamma_\Sigma = \sum_{m=1}^{M} \sum_{n=1}^{N} r_{nm} \cdot \lambda_{nm} \to \max$ (4.23)
Минимальный объем вредных веществ	$\eta_m^\vartheta = \sum_{n=1}^{N} d_{nm}^\vartheta \cdot \lambda_{nm} \to \min$ (4.24)	$\eta_\Sigma^\vartheta = \sum_{m=1}^{M} \sum_{n=1}^{N} d_{nm}^\vartheta \cdot \lambda_{nm} \to \min$ (4.25)

4.2 Алгоритм решения задачи оптимизации

Для решения сформулированной в разделе 4.1 ЗМП, относящейся к задачам целочисленной оптимизации, разработан алгоритм (Рисунки 4.1 ,4.2), учитывающий постоянный или переменный эффект масштаба, реализация которого включает следующие этапы:

1. Сбор и подготовка исходных данных осуществляется на основе информации из БД технологий переработки (раздел 2.3), БД характеристик НСО в хранилищах (раздел 2.3) и БД оценок эффективности комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» с учётом постоянного и переменного эффектов масштаба (глава 3).

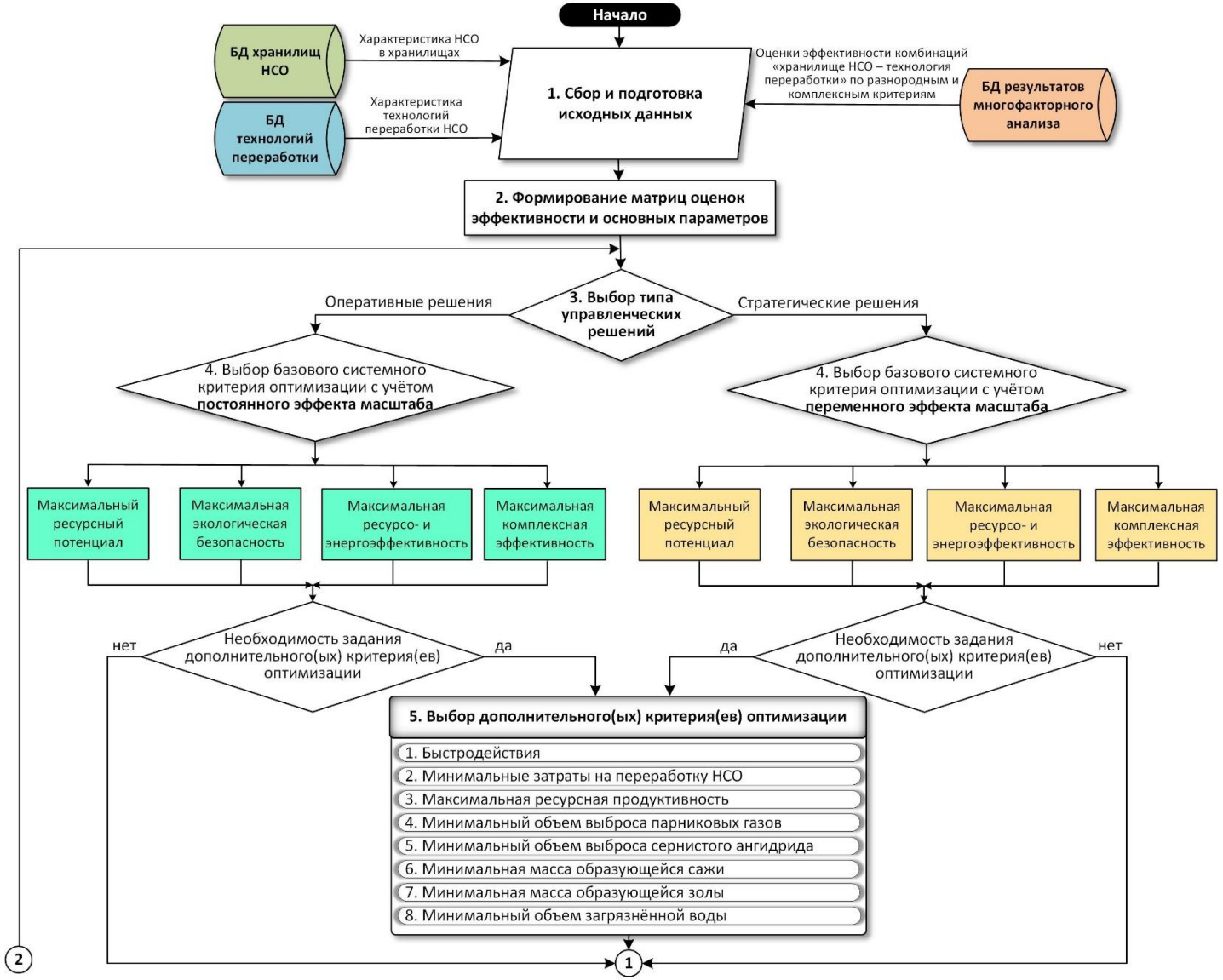


Рисунок 4.1 – Алгоритм решения задачи оптимизации КП НСО

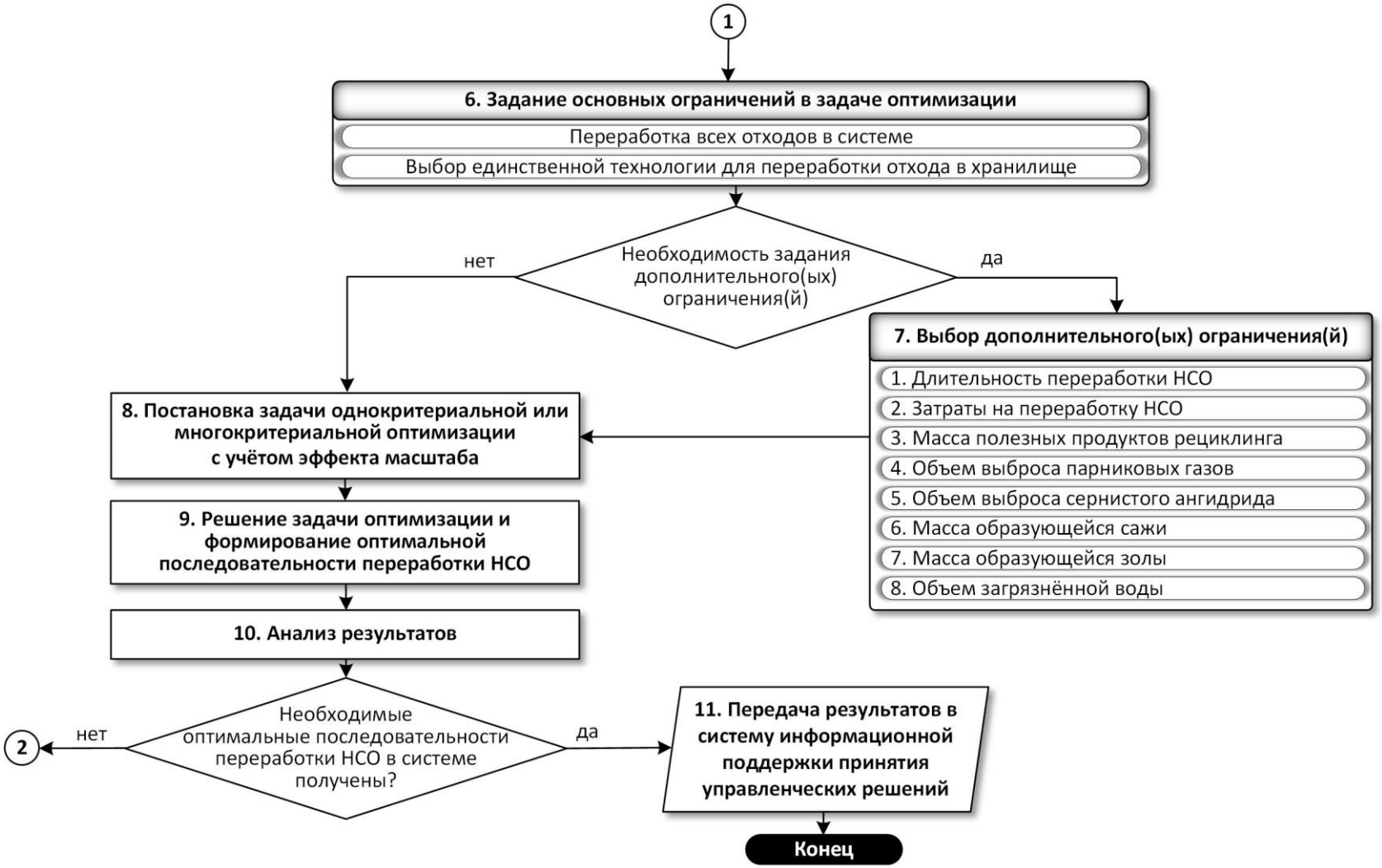


Рисунок 4.2 – Алгоритм решения задачи оптимизации КП НСО (продолжение)

2. Формируются соответствующие матрицы оценок W в форме (4.1) и матрицы основных параметров $\tilde{T}$, $\tilde{L}$, $\tilde{R}$, $\tilde{D}^{\vartheta}$ в форме (4.2)-(4.5), соответственно.

3. Выбирается уровень управленческих решений (оперативный или стратегический) и, в соответствии с этим, применяются оценки эффективности с учётом постоянного или переменного эффекта масштаба.

4. Осуществляется выбор одного из следующих базовых критериев оптимизации: максимальный ресурсный потенциал, максимальная экологическая безопасность, максимальная ресурсо- и энергоэффективность, или максимальная комплексная эффективность. При этом в целевой функции α (4.6) используется соответствующая базовому критерию матрица W (4.1) с оценками эффективности многофакторного анализа с учётом, выбранного на этапе 3, эффекта масштаба.

5. Осуществляется выбор дополнительного(ых) критерия(ев) оптимизации: при максимальном ресурсном потенциале могут дополнительно быть выбраны критерии **1** и(или) **3**; при максимальной экологической безопасности – критерии **1, 3-8**; при максимальной ресурсно- и энергоэффективности – критерии **1-3**; при максимальной комплексной эффективности - критерии **1-8** (Рисунок 4.1). Если необходимость в дополнительных критериях оптимизации отсутствует, то этап пропускается.

6. Основные ограничения задаются в форме (4.8) для переработки всех отходов в системе и в форме (4.9) для подбора единственной m-ой технологии для переработки отхода в n-ом хранилище НСО (Рисунок 4.2).

7. Выбор дополнительных ограничений производится при необходимости, при отсутствии противоречий дополнительному(ым) критерию(ям), выбранному(ым) на 4 этапе. Если необходимость в дополнительных ограничениях отсутствует, то этап пропускается.

8. Задача однокритериальной или многокритериальной оптимизации по выбранному на этапе 4 базовому критерию с учётом основных ограничений

(этап 6) формулируется в зависимости от выбранных дополнительных критериев оптимизации (этап 5) и дополнительных ограничений (этап 7).

9. Решение задачи оптимизации осуществляется с помощью разработанного специального программного обеспечения с использованием процедур и функций ПО MATLAB, предназначенных для решения задач целочисленного линейного программирования (раздел 4.3.1).

10. Проводится анализ полученных результатов оптимизации (раздел 4.4). При необходимости изменения базового критерия оптимизации этапы алгоритма с 3-го по 10-й повторяются.

11. Передача результатов в систему информационной поддержки принятия управленческих решений (раздел 5.2) осуществляется в случае, если необходимые оптимальные последовательности переработки НСО в системе определены.

4.3 Программное обеспечение для обработки информации, многофакторного анализа и оптимизации

Для апробации и реализации разработанных методик системного анализа (раздел 2.4), алгоритмов многофакторного анализа (раздел 3.4) и оптимизации (раздел 4.2) сложно-структурированного КП НСО в нефтегазовой промышленности разработано специальное ПО с использованием входящих в пакет MATLAB оптимизационных процедур [167].

Информационная структура ПО построена на основе четырёхуровневой модели организации данных (Рисунок 4.3), предназначенной для построения клиент-серверной системы для работы с реляционными БД отходов, технологий и результатов многофакторного анализа, а также с системой научных и инженерных вычислений MATLAB, ориентированных на конечного пользователя.

Первый уровень состоит из БД и модулей обмена данными между ними [32; 34; 35]. Второй уровень состоит из программных блоков для работы с БД и ПО MATLAB, обеспечивающих механизмы ввода, вывода, обработку

данных. Третий уровень состоит из программных модулей, реализующих основные алгоритмы, разработанные в диссертации с использованием процедур и функций ПО MATLAB:

• алгоритма контроля качества данных в БД хранилищ НСО и технологий переработки (раздел 2.4, рисунки 2.4, 2.5) [36];

• алгоритм решения задач многофакторного анализа (раздел 3.4, рисунки 3.8, 3.9, 3.10) [37];

• алгоритм решения задач оптимизации (раздел 4.2, рисунки 4.1, 4.2) [31; 33].

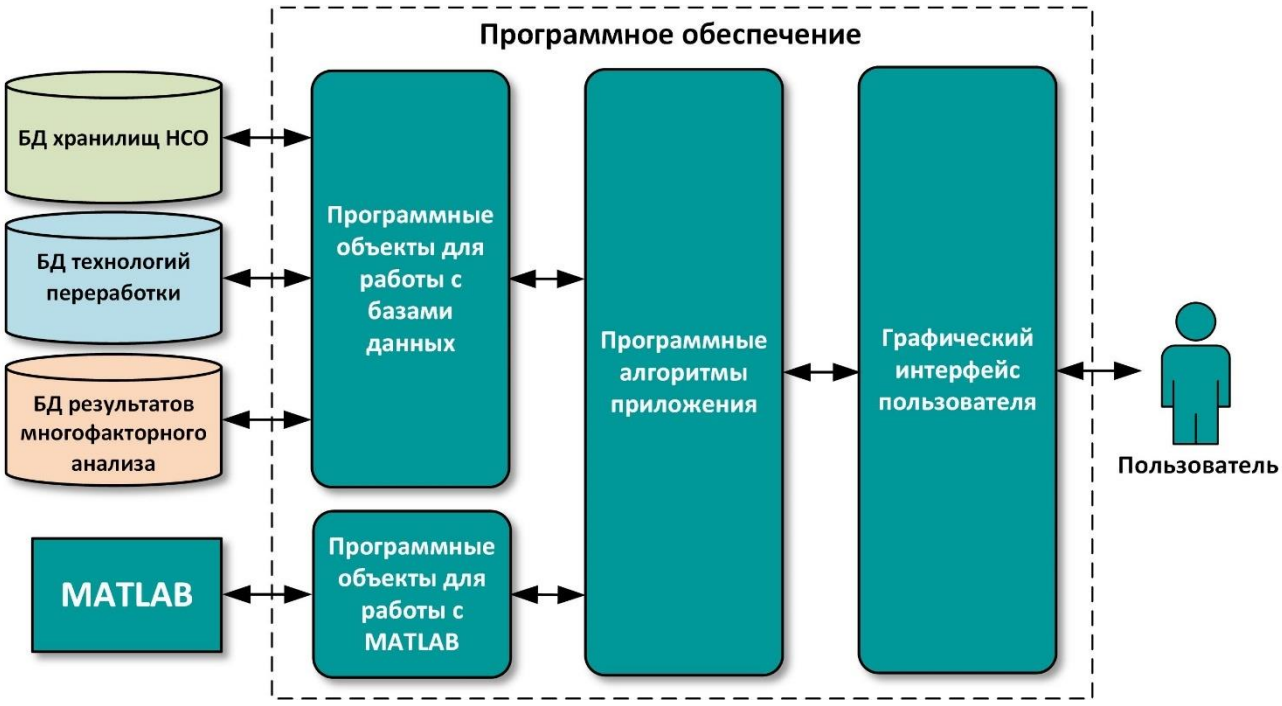


Рисунок 4.3 - Модель организации данных

Четвертый уровень обеспечивает интерфейс для взаимодействия пользователя с разработанным программным обеспечением.

Далее в разделе описываются основные модули ПО, разработанные процедуры определения оценок эффективности и оптимизации, их визуальное представление и методическое руководство по использованию ПО.

4.3.1 Описание основных модулей и процедур программного обеспечения

В качестве среды разработки ПО используется интегрированная среда разработки (ИСР) Embarcadero RAD Studio версии 10 [168], которая поддерживает модульную организацию ПО и позволяет объединить следующие модули: основной модуль программы; модуль для связи с базами данных; модуль с главным меню программы; модуль редактирования данных в справочниках баз данных; модуль редактирования данных в БД технологий переработки; модуль редактирования данных в БД хранилищ НСО; модуль контроля качества данных; модуль для определения оценок эффективности; модуль оптимизации; дополнительные модули.

Модули, алгоритмы и процедурные переходы между программными объектами в ПО разработаны с помощью Delphi 10 Seattle.

Основной модуль содержит все модули, включенные в ПО. В нем также перечислены объекты программы, которые запускаются при старте программы: модуль связи с базами данных (Рисунок 4.4, а) и модуль главного меню (Рисунок 4.4, б).

Модуль для связи с базами данных содержит единственный компонент – TADOConnection (Рисунок 4.4, а), который предназначен для управления соединением с объектами хранилища данных ADO и используется в качестве интерфейса доступа к данным, расположенным в разработанных БД хранилищ НСО и технологий переработки (раздел 2.3). Для успешного подключения к базам данных файлы баз данных технологий переработки tech.mdb и хранилищ НСО waste.mdb должны быть расположены в одном каталоге с исполняемым файлом программы.

Модуль главного меню осуществляет доступ ко всем модулям программы (Рисунок 4.4, б), а также хранит в невизуальном компоненте TImageList графические изображения, которые используются в различных модулях программы. Доступ ко всем модулям программы осуществляется при

помощи невизуального компонента TMainMenu. Структура главного меню программы:

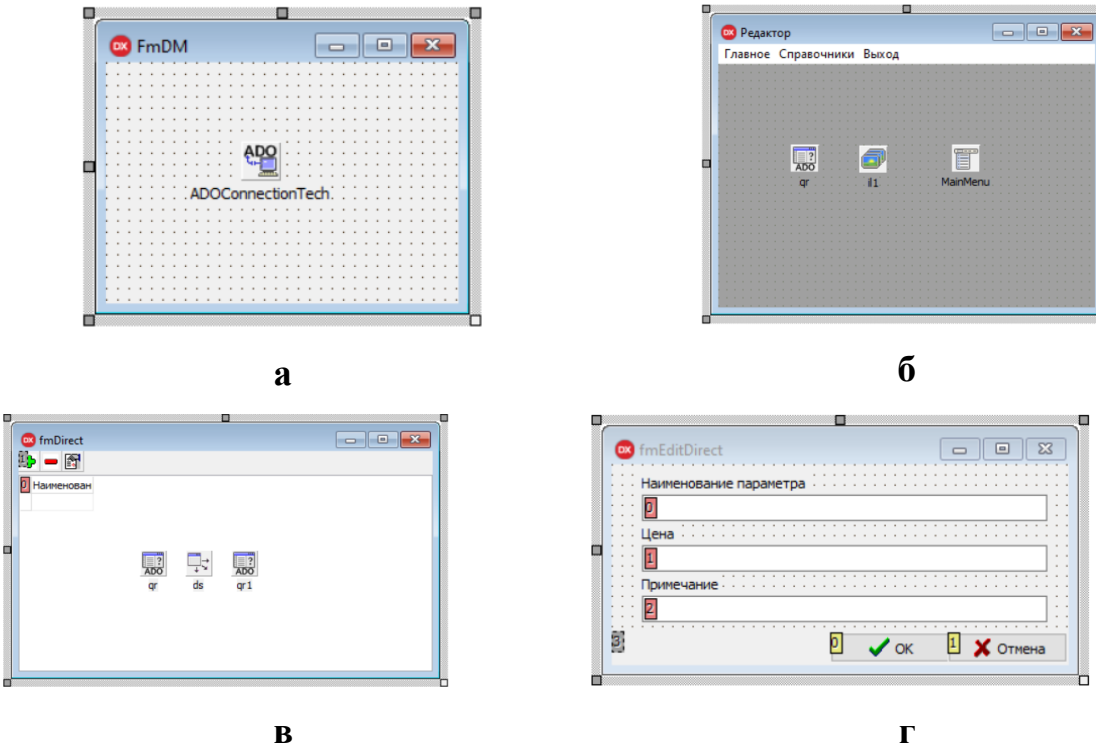
- Главное:
  - Технологии переработки;
  - Хранилища НСО;
  - Расстояние;
  - Модели оценки эффективности;
  - Оптимизация;
  - Контроль качества данных;
- Справочники:
  - Технологии переработки:
    - Группы методов переработки;
    - Методы переработки;
    - Типы параметров;
    - Степень мобильности;
    - Способы переработки;
  - Хранилища НСО:
    - Класс точности средств измерения;
    - Меры защиты;
    - Назначение объекта;
    - Состояние объекта;
    - Тип экранирования;
    - Функциональное назначение;
    - Экологический мониторинг;
  - Агрегатное состояние;
  - Параметры;
  - Размерности;
  - ФККО;
- Выход.

С помощью пунктов меню «Технологии переработки» и «Хранилища НСО» осуществляется вызов экранных форм редактирования данных в базах данных технологий переработки и хранилищ НСО, соответственно. Доступ к просмотру и редактированию справочников, относящихся только к базам данных технологий или отходов, осуществляется при помощи подменю «Технологии переработки» и «Хранилища НСО» меню «Справочники». Остальные пункты меню «Справочники» позволяют перейти к просмотру и редактированию общих справочников для обеих баз данных.

Процесс просмотра и редактирования одинаков для всех типов справочников, так как большинство таблиц справочников содержит только два поля (идентификатор и наименование), поэтому для редактирования данных во всех справочниках используется единый модуль editDirect (Рисунок 4.4, в).

Для вызова диалогового окна (Рисунок 4.4, г), вставки или редактирования данных справочника используются кнопки, расположенные на компоненте TToolBar.

Модуль для просмотра технологий переработки содержит подробную информацию о выбранной технологии переработки отходов. В верхней части визуальной формы (Рисунок 4.5) располагается панель инструментов TToolbar с управляющими элементами, предназначенными для добавления новой, удаления существующей и редактирования существующей технологии. В левой части формы отображается список существующих технологий в базе данных при помощи компонента TDBLookupListBox. При выборе технологии в компонентах TDBGrid на средней части визуальной формы выводятся следующие характеристики технологии утилизации: тип параметра; наименование параметра; значение параметра; минимальное значение параметра; максимальное значение параметра; размерность параметра; степень важности параметра; коэффициент полноты использования; расход. Ниже выводятся дополнительные свойства технологии: способы переработки; группа методов переработки; методы переработки; класс опасности; агрегатное состояние; код ФККО.



а **б**

в **г**

Рисунок 4.4 - Визуальная форма модулей:

а – связи с базами данных; **б** – главного меню программы; **в** - для просмотра содержимого справочников; **г** – редактирования данных в справочниках

Модуль редактирования данных о технологии переработки взаимодействует с разработанной БД технологий переработки (раздел 2.3, рисунок 2.2) и включает программный модуль editTech с визуальной формой fmEditTech (Рисунок 4.6). Для вставки новой и редактирования существующей технологии утилизации используется одна и та же визуальная форма. При добавлении новой технологии открывается форма с пустыми полями, при редактировании технологии все поля формы заполняются соответствующими данными из БД. При закрытии формы по кнопке «OK» вставляется новая технология или обновляется существующая, соответственно.

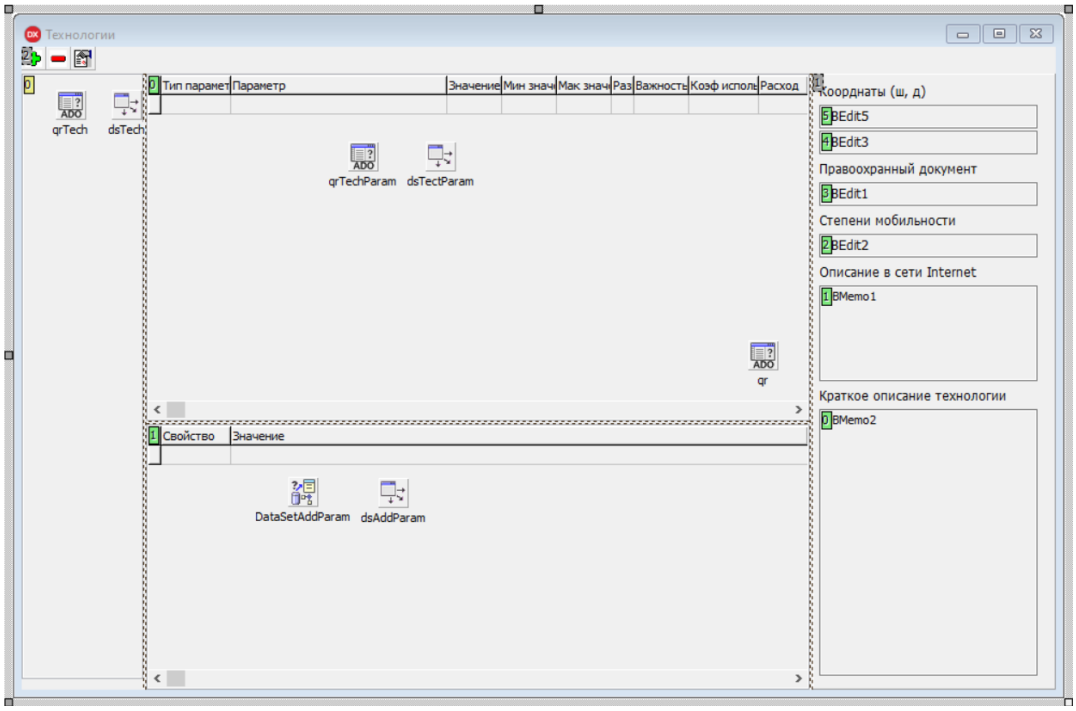


Рисунок 4.5 – Визуальная форма для просмотра содержимого базы данных технологий переработки отходов

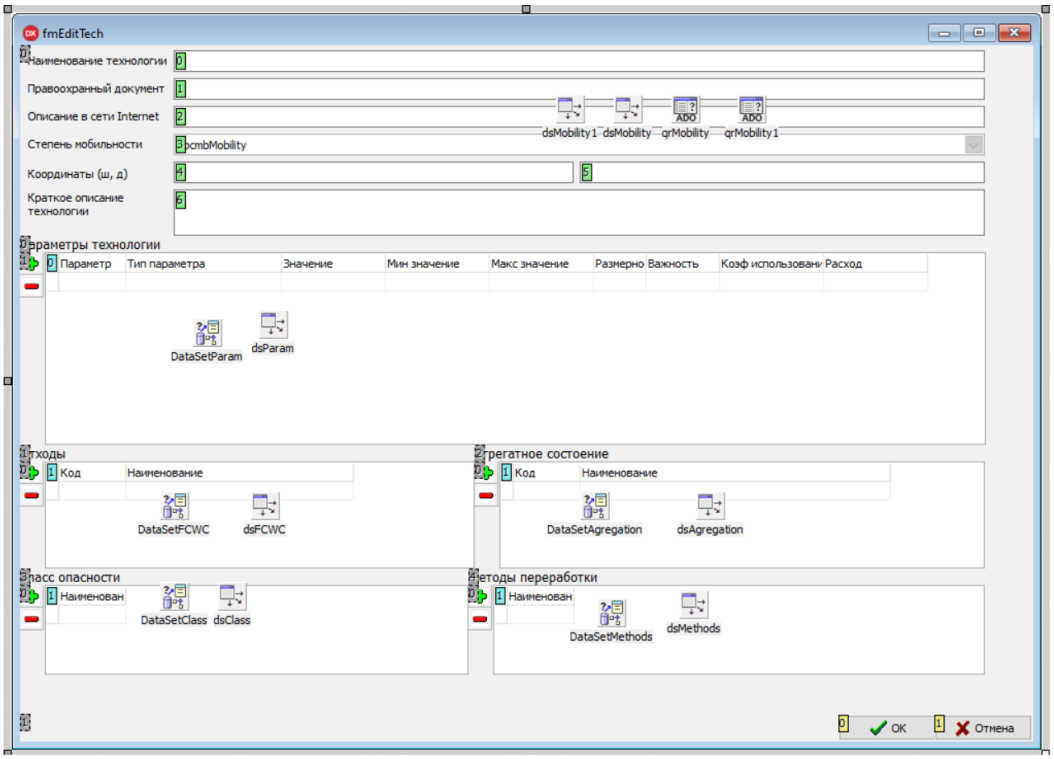


Рисунок 4.6 – Визуальная форма для редактирования данных о технологии переработки

В верхней части визуальной формы (Рисунок 4.6) располагаются компоненты типа TEdit для ввода основных сведений о технологии

утилизации: наименование технологии; правоохранный документ; описание в сети; степень мобильности; географические координаты; краткое описание технологии. Для отображения основных и дополнительных характеристик технологии используется компонент TDBGrid, который отображает содержимое локального набора данных в компонентах TADODataSet для хранения параметров технологии, кода ФККО отходов, агрегатного состояния отходов, класса опасности отходов, методов переработки отходов. Локальные наборы данных предназначены для временного хранения всех сведений о технологии утилизации, которые переносятся в базу данных только при закрытии формы по кнопке «ОК».

Для добавления нового параметра технологии переработки используется модуль addParamTech с визуальной формой fmAddParamTech (Рисунок 4.7).

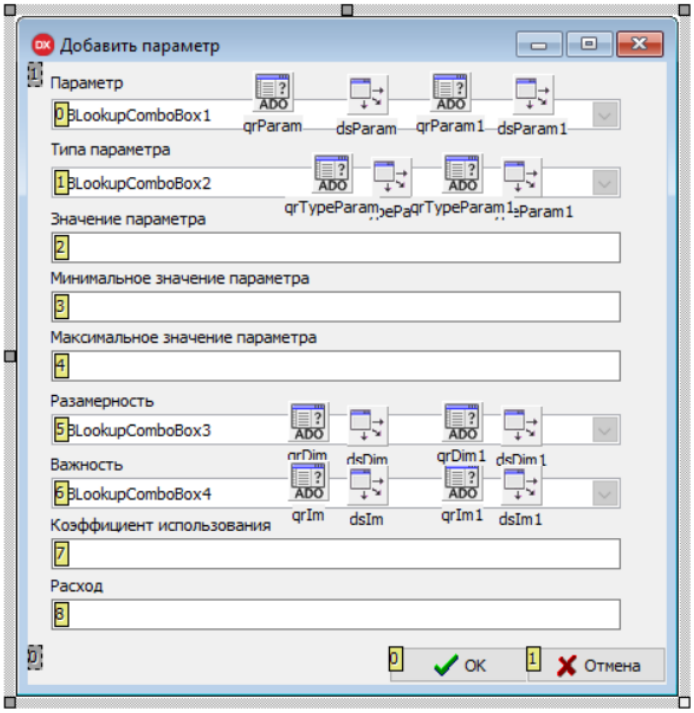


Рисунок 4.7 – Визуальная форма добавления параметров технологии

Для добавления дополнительных сведений о технологии используется модуль addAddditionalParam с визуальной формой fmaddAddditionalParam (Рисунок 4.8).

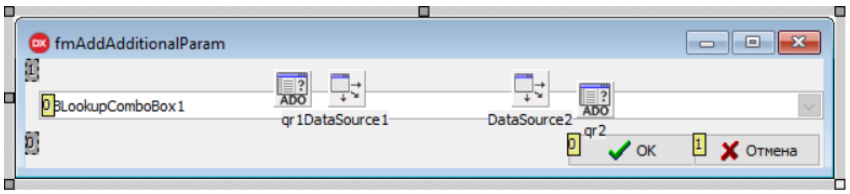


Рисунок 4.8 – Визуальная форма добавления дополнительных сведений о технологии

Модуль для просмотра хранилищ НСО. Вывод сведений о хранилищах НСО аналогичен соответствующей визуальной форме для технологий переработки. В верхней части визуальной формы (Рисунок 4.9) располагается панель инструментов типа TToolBar с управляющими элементами, предназначенными для редактирования данных об объектах хранения отходов.

В левой части при помощи компонента TDBLookupListBox отображаются объекты хранения НСО из базы данных в виде линейного списка. В правой части выводятся сведения о выбранном объекте хранения отходов: ГРРО, адрес местонахождения и географические координаты.

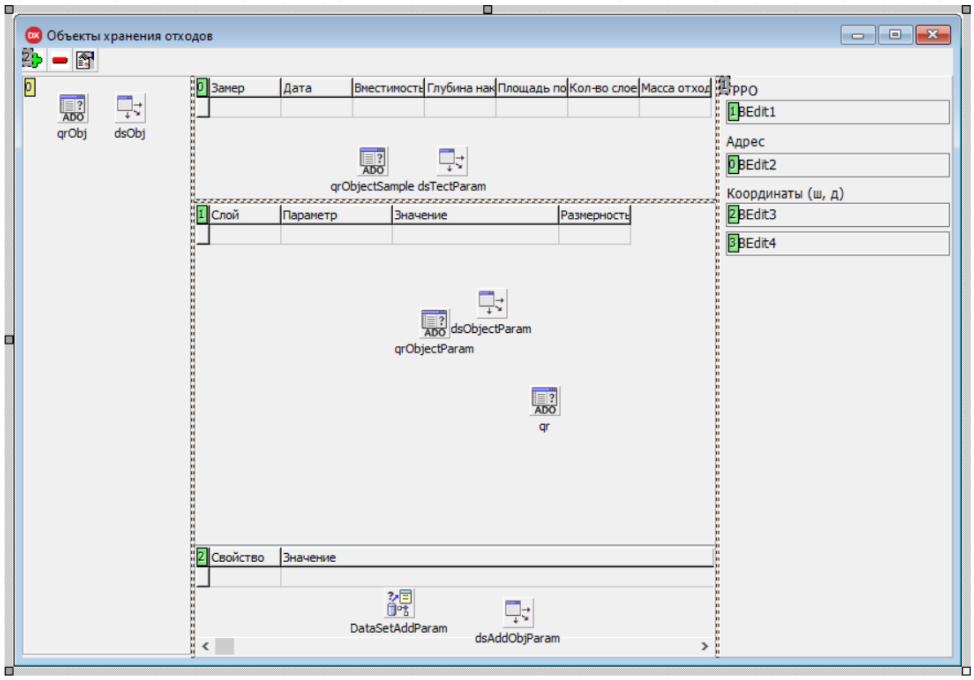


Рисунок 4.9 – Визуальная форма для просмотра содержимого базы данных хранилищ НСО

В средней части при помощи трех компонентов типа TDBGrid отображаются сведения о замерах, результатах замера и о дополнительных параметрах выбранного объекта хранения отходов.

В таблице «Сведения о замерах» выводятся следующие данные: номер замера; дата замера; вместимость объекта хранения; глубина объекта хранения; площадь поверхности объекта хранения; количество слоев; масса отходов.

В таблице «Результаты замера» выводятся следующие данные: номер слоя; наименование параметра; значение параметра; размерность значения параметра.

В таблице «Дополнительные сведения» отображаются следующие сведения: состояние объекта хранения; назначение объекта хранения; код ФККО отходов; меры защиты объекта хранения; тип экранирования объекта хранения; экологический мониторинг объекта хранения; функциональное назначение объекта хранения; класс опасности отходов в объекте хранения; агрегатное состояние отходов объекта хранения.

Модуль редактирования данных о хранилище НСО взаимодействует с разработанной БД хранилищ НСО (раздел 2.3, рисунок 2.3) и включает программный модуль editObj с визуальной формой fmEditObj (Рисунок 4.10). Для вставки нового и редактирования существующего объекта хранения НСО используется одна и та же визуальная форма. При добавлении нового объекта хранения отходов открывается форма с пустыми полями, при редактировании объекта хранения все поля формы заполняются соответствующими данными. При закрытии формы по кнопке «OK» вставляется новый объект хранения или обновляется существующий, соответственно.

В верхней части визуальной формы располагаются компоненты типа TEdit для ввода основных сведений об объекте хранения отходов: наименование объекта; ГРРО; адрес местонахождения; географические координаты; проектная вместимость объекта хранения.

Для вывода основных и дополнительных характеристик объекта хранения используется визуальный компонент TDBGrid, который выводит на экран содержимое локального набора данных в компонентах TADODataSet, которые предназначены для хранения замеров, результатов замеров и дополнительных характеристик объекта хранения отходов. Локальные наборы данных предназначены для временного хранения всех сведений об объекте хранения отходов, которые переносятся в базу данных только при закрытии формы по кнопке «OK».

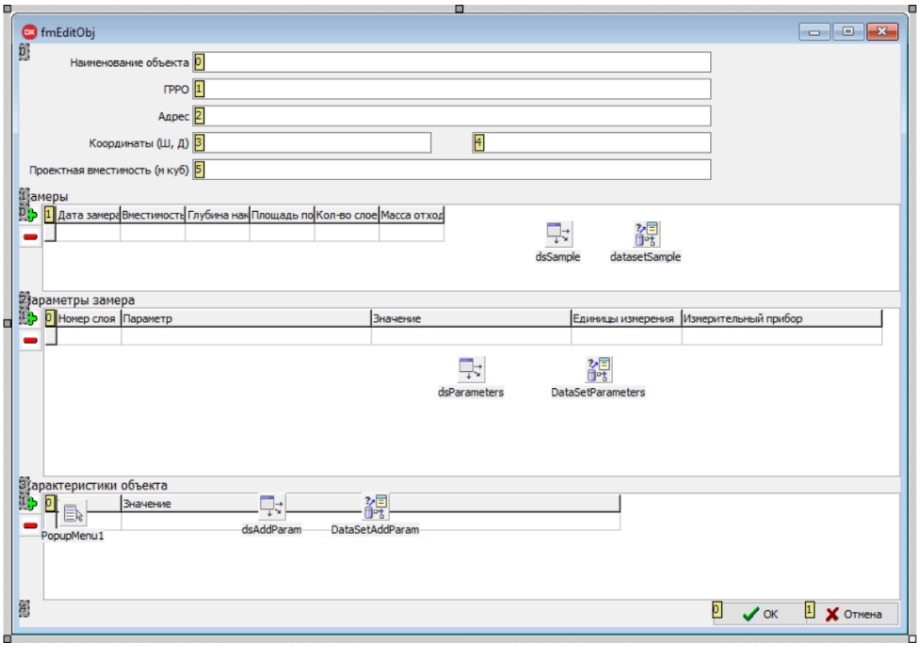
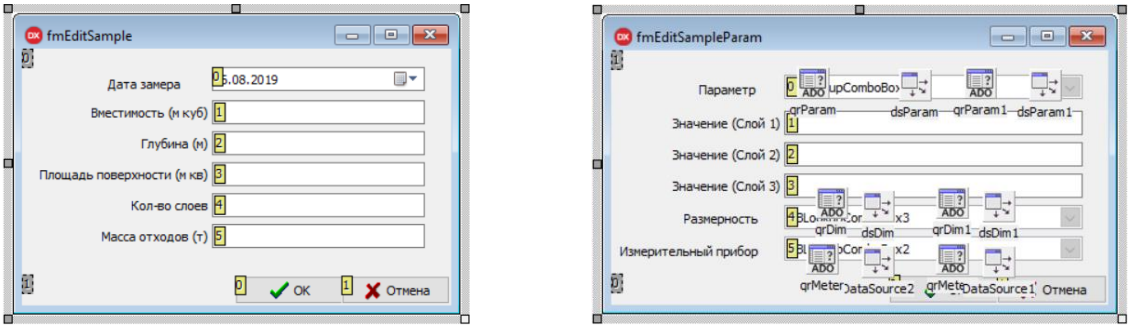


Рисунок 4.10 – Визуальная форма для редактирования данных о хранилище НСО

Для добавления замеров конкретного хранилища НСО предназначена форма fmEditSample (Рисунок 4.11, а), которая расположена в модуле editSample. При помощи компонентов TDataEdit и TEdit задаются следующие значения замеров: дата замера; вместимость объекта хранения отходов; глубина объекта хранения отходов; площадь поверхности объекта хранения отходов; количество слоев объекта хранения отходов; масса отходов в объекте хранения отходов.



а б

Рисунок 4.11 – Визуальная форма добавления:

а – замеров; б - параметров результатов замера

Для добавления параметров результатов замера предусмотрена визуальная форма fmEditSampleParam (Рисунок 4.11, б), расположенная в модуле EditSampleParam. На визуальной форме при помощи компонентов TDBLookupComboBox и TEdit задаются следующие параметры: наименование параметра; значение параметра в слое 1; значение параметра в слое 2; значение параметра в слое 3; размерность параметра; измерительный прибор. Добавление параметра замера в локальный набор данных осуществляется после закрытия формы по кнопке OK.

Среди дополнительных модулей можно выделить модуль distance, предназначенный для редактирования расстояний между технологиями переработки отходов и хранилищ НСО. Редактирование расстояния между объектом хранения отходов и технологией утилизации осуществляется при помощи визуального компонента TDBGrid (Рисунок 4.12). Данные о расстоянии хранятся в локальном наборе данных TADODataSet, которые переносятся в базу данных при закрытии диалогового окна по кнопке OK.

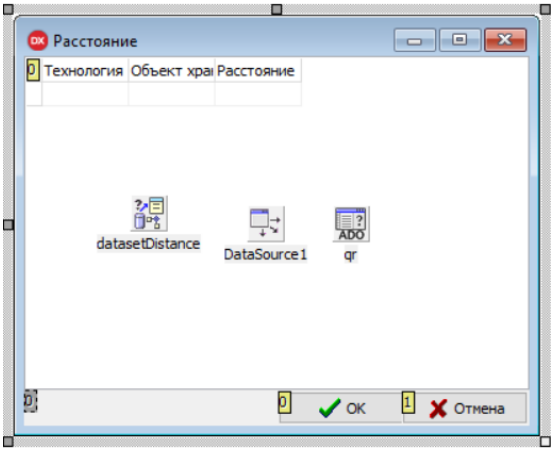


Рисунок 4.12 – Визуальная форма для просмотра и редактирования расстояния между технологиями переработки и хранилищами НСО

Данные о расстоянии загружаются в локальный набор данных типа TADODataSet, которые затем переносятся в базу данных при закрытии формы по кнопке OK.

Модуль контроля качества данных основан на разработанном алгоритме (раздел 2.4, Рисунки 2.4, 2.5) и реализован в виде модуля (Рисунок 4.13), который доступен для запуска из основного меню программы с помощью визуальной формы fmCorrectObject.

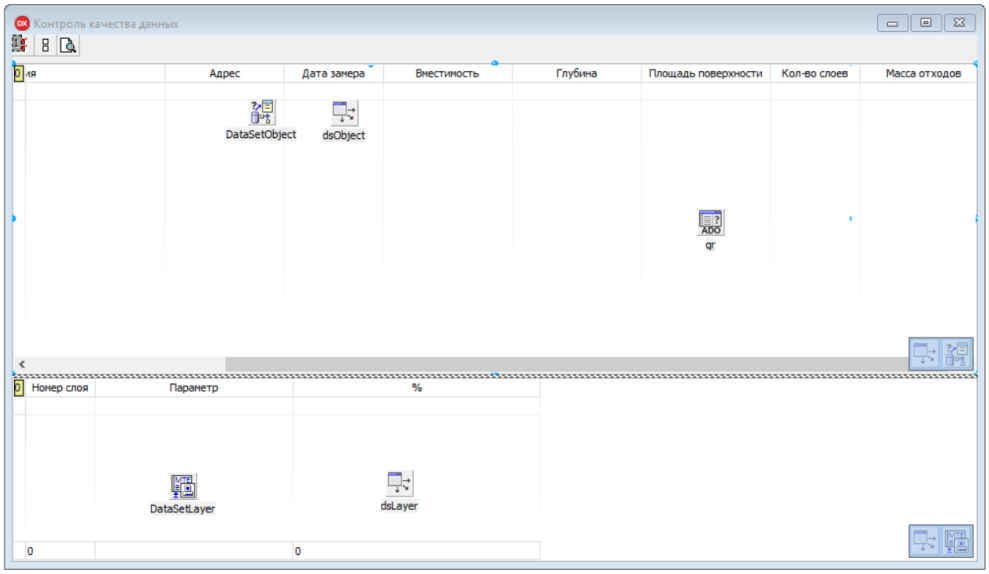


Рисунок 4.13 – Визуальная форма модуля контроля качества данных

В данном программном модуле используются визуальные компоненты: TDBGridEh; TToolBar; TToolButton; TSplitter, и не визуальные компоненты: TADODataSet; TDataSource; TADOQuery; TMemTableEh.

С помощью компонента TDBGridEh в верхней части формы отображаются сведения об объектах хранения отходов, которые были получены в результате последнего замера: Наименование объекта хранения отходов; Адрес; Дата замера; Вместимость накопителя; Глубина накопителя; Площадь поверхности накопителя; Количество слоев; Масса отходов. Указанный набор данных хранится в таблицах Objects и Sample базы данных хранилищ НСО.

В нижней части формы при помощи компонента TDBGridEh отображаются значения физико-химических параметров каждого слоя выбранного объекта хранения отходов, полученные в результате последнего замера:

- глубина слоя, м;
- масса отходов в слое, т;
- плотность отходов при 20 ^{o}C, г/мм^{3};
- содержание воды в слое, %;
- содержание светлых нефтепродуктов в слое, %;
- содержание минеральных примесей в слое, %;
- содержание серы в слое, %;
- содержание асфальтенов в слое, %;
- содержание механических примесей в слое, %;
- максимальный размер частиц механических примесей в слое, мм;
- теплота сгорания отходов в слое, кДж/кг.

Компонент TToolBar используется для отображения панели инструментов в верхней части визуальной формы. На панели инструментов располагаются кнопки TToolButton, которые позволяют включить или исключить выбранные объекты хранения отходов в набор контроля качества данных, а также осуществить запуск процесса контроля качества данных.

В общем случае в процесс контроля качества данных может быть включен весь имеющийся набор объектов хранения отходов, хранящийся в базе данных, в этом случае контроль качества данных займет определенное время. Для визуального отображения процесса проведения контроля качества данных предусмотрена визуальная форма fmCheckProgress (Рисунок 4.14).

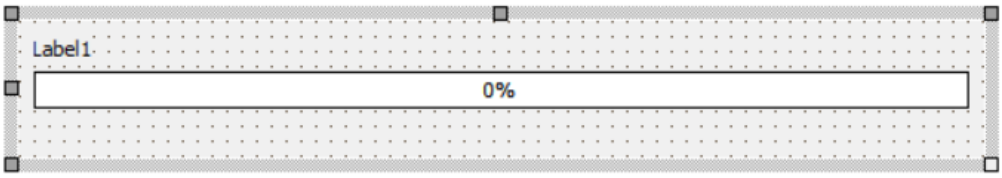


Рисунок 4.14 – Визуальная форма отображения процесса контроля качества данных

Для отображения процесса контроля качества данных на визуальной форме используется визуальный компонент TGauge, в компоненте TLabel отображается наименование текущего анализируемого объекта хранения отходов. Результат проверки контроля качества данных выбранных хранилищ НСО в базе данных записывается в поле Correct таблицы Sample базы данных. Поле Correct может принимать только два значения «1» или «0», значение «1» означает, что контроль качества данных был проведен и данные об объекте хранения отходов пригодны для использования, «0» означает, что проверка контроля качества данных не проводилась или результат проверки не удовлетворительный. Объекты хранения отходов, не прошедшие контроль качества данных, выделяются красным цветом.

Модуль для определения оценок эффективности. При создании проблемно-ориентированных моделей для определения оценок эффективности, описанных в главе 3, в разрабатываемом ПО предусмотрена визуальная форма fmModel (Рисунок 4.15), которая вызывается из пункта Главного меню «Модели оценки эффективности».

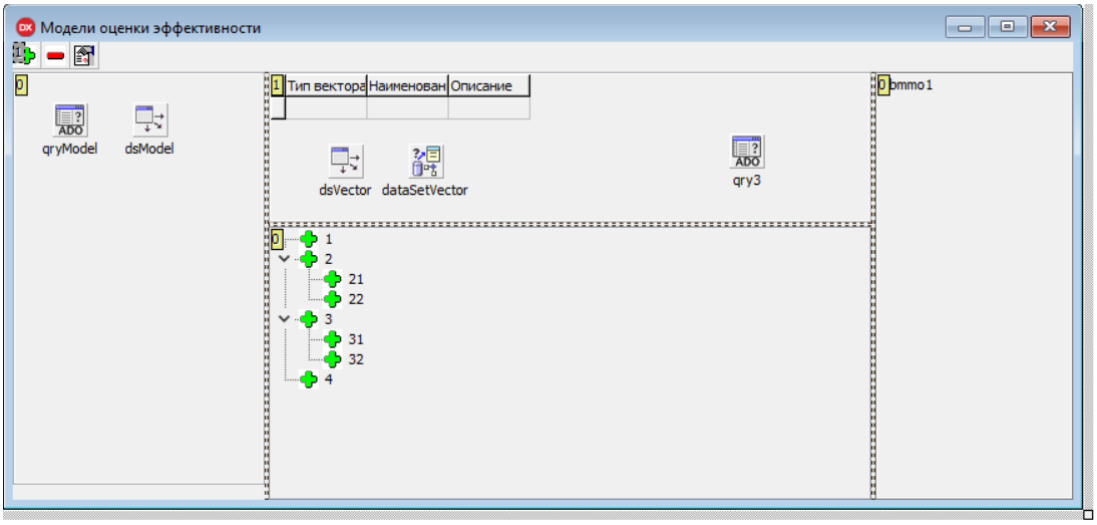


Рисунок 4.15 – Экранная форма просмотра существующих моделей оценки эффективности

В левой части формы при помощи компонента TDBLookupListBox отображается список моделей, занесенных в базу данных. В средней части формы отображается список параметров выбранной модели и формул для расчета параметров в виде бинарного дерева (компонент TTreeView). Список параметров включает в себя описание типа параметра (входной, выходной), наименование параметра и краткое описание его физического смысла. В правой части формы отображается краткое описание выбранной модели оценки эффективности.

В верхней части формы предусмотрена инструментальная панель TToolBar, на которой расположены управляющие элементы для создания, удаления и редактирования моделей оценки эффективности.

Для добавления и редактирования моделей оценки эффективности используется экранная форма fmAddModel (Рисунок 4.16).

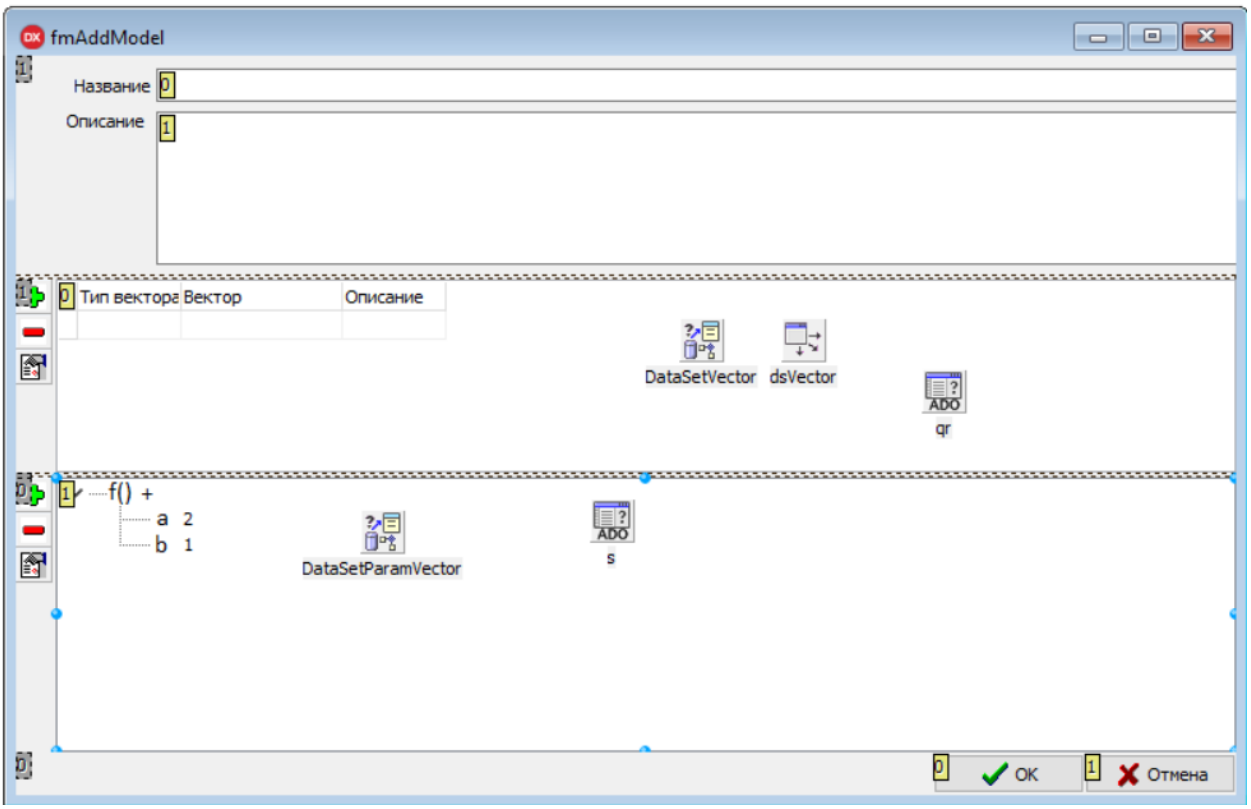


Рисунок 4.16 – Экранная форма для добавления/редактирования моделей оценки эффективности

В верхней части формы располагаются визуальные компоненты для заполнения названия и краткого описания модели. Для отображения списка параметров в средней части формы используется компонент TDBGrid, источником данных для которого служит компонент DataSetVector типа TADODataSet. Формулы расчета параметров модели оценки эффективности хранятся в компоненте DataSetParamVector типа TADODataSet, который является источником данных для построения формулы расчета в виде дерева в компоненте типа TTreeView. Компоненты TADODataSet используются как локальные хранилища данных. После закрытия экранной формы по кнопке «OK» данные из локальных хранилищ переносятся в БД, при закрытии формы по кнопке «Отмены» содержимое локальных хранилищ не используется.

В левой части списка параметров и текущей формулы расчета располагаются панели инструментов TToolBar, которые позволяют добавлять, редактировать и удалять параметр модели или формулу расчета параметра модели соответственно.

Узел бинарного дерева формулы расчета параметра модели оценки эффективности может представлять собой: операцию; параметр объекта хранения отходов; параметр слоя объекта хранения отходов; параметр технологии переработки; результат решения задачи многофакторного анализа; массу дополнительных реагентов; расход энергии; массу полезных продуктов рециклинга; константу; расстояние между хранилищем НСО и технологией переработки.

Для добавления нового элемента в бинарное дерево формулы расчета параметра модели оценки эффективности используется визуальная форма fmAddParamVect, которая представлена на рисунке 4.17.

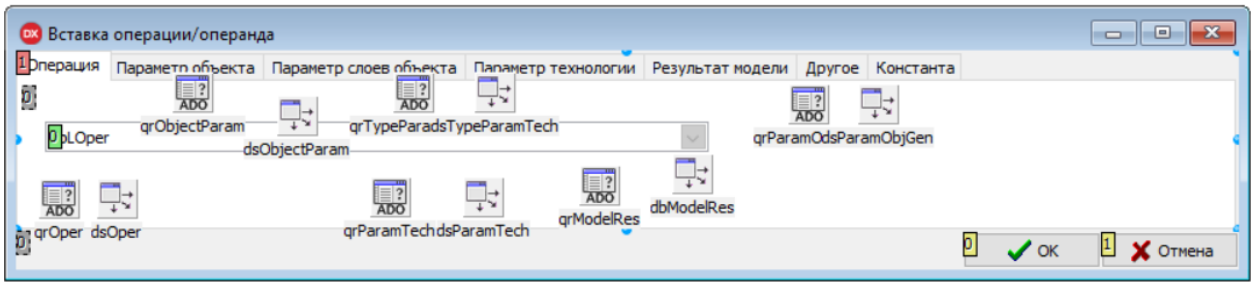


Рисунок 4.17 – Экранная форма для добавления узла дерева в формулу параметра модели оценки эффективности

Тип добавляемого узла в дерево формулы определяется номером вкладки компонента TPageControl. На каждой вкладке компонента TPageControl располагаются визуальные компоненты для добавления соответствующего значения узла. На вкладках «Операция», «Параметр объекта», «Параметр слоев объекта», «Параметр технологии» для задания значения используются выпадающие списки TDBLookupComboBox, содержимое которых определяется соответствующими таблицами-справочниками базы данных. Вкладка «Результаты модели» позволяет задать в качества узла дерева результат оптимизации существующих моделей оценок эффективности. На вкладке «Другое» расположен компонент TRadioGroup, который позволяет выбрать только один из следующих элементов списка: массу дополнительных

реагентов, расход энергии, массу полезных продуктов рециклинга, расстояние между хранилищем НСО и технологией переработки.

Процедура расчёта оценок эффективности.

Расчёт оценок эффективности по соответствующим проблемно-ориентированным моделям (раздел 3.3) осуществляется при помощи специально разработанной программной процедуры с интеграцией функций ПО MATLAB.

Для этого в Delphi при помощи функции:

matlab := CreateOleObject('Matlab.Application');

создается OLE-объект для реализации возможности обмена данными с рабочей областью MATLAB и БД хранилищ НСО и технологий переработки.

После формирования входных и выходных параметров в Delphi они передаются в рабочую область MATLAB при помощи следующего набора операторов:

```
matlab.PutWorkspaceData('XY','base',VarXY);
matlab.Execute('X = XY(:,1:'+IntToStr(x)+')');
matlab.Execute('Y = XY(:,'+IntToStr(x)+'+1:end)');
matlab.Execute('X = cell2mat(X);');
matlab.Execute('Y = cell2mat(Y);');
```

Используемые модели для определения оценок эффективности в MATLAB реализованы в виде пакета прикладных программ «Data Envelopment Analysis Toolbox for MATLAB» [169].

В зависимости от типа используемой модели метода DEA (раздел 3.2) в MATLAB вызывается функция *dea*:

matlab.Execute('io = dea(X, Y, 'orient','io');'); (CCR модель)

matlab.Execute('io_vrs = dea(X, Y, 'orient','io','rts','vrs');'); (BCC модель)

или функция *deasuper*:

matlab.Execute('io = deasuper(X, Y, 'orient','io','rts','vrs');'); (модель Super-Efficiency)

Функции *dea* и *deasuper* имеют следующие входные параметры:

- *X, Y* – матрицы входных и выходных параметров;
- *orient* – задание признака ориентации модели;
- *io* – оптимизация направленна на минимизацию входных параметров при заданном уровне выходных;
- *rts* – эффект от масштаба;
- *vrs* – переменный эффект масштаба.

Эффективность масштабирования рассчитывается с помощью функции *deascale,* параметры которой совпадают с функцией *dea:*

matlab.Execute('io_scale = deascale(X, Y, 'orient', 'io');');

Результат вычисления в виде оценок эффективности из рабочей области MATLAB передается в Delphi для последующей обработки и включения в БД результатов многофакторного анализа при помощи операторов:

matlab.Execute('out = io.eff;');

matlab.GetWorkspaceData('out','base',DEA);

Анализ полученных результатов осуществляется в соответствующей визуальной форме (рисунок 4.27), или при необходимости матрица с результатами выгружается в файл MS Excel.

Модуль оптимизации системы переработки отходов.

Оптимизационные процедуры реализованы в модуле, который вызывается из главного меню программы при помощи пункта «Оптимизация». В визуальной форме отображения модуля отображаются информация о постановке задачи оптимизации КП НСО и результат её решения (Рисунок 4.18). К постановке задачи оптимизации относятся: базовый критерий оптимизации (раздел «Модель» на рисунке 4.18), выбранные дополнительные критерии оптимизации, базовые и дополнительные ограничения (раздел «Примечания» на рисунке 4.18). К результатам оптимизации относятся: дата и время получения результата оптимизации; уровень принимаемого решения (операционный или стратегический) (раздел «Тип» на рисунке 4.18), соответствующий номеру схемы расчёта оценок эффективности в алгоритме

многофакторного анализа (Рисунок 3.8); оптимальный набор комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» (разделы «Технология» и «Объект» на рисунке 4.18, соответственно).

В верхней части формы на панели инструментов TToolBar расположены управляющие элементы для создания, удаления, редактирования, запуска процедуры и вывода результатов оптимизации в формате MS Excel.

Для отображения данных из БД используются компоненты TDBGridEh, доступ к данным осуществляется при помощи компонентов TADOQuery.

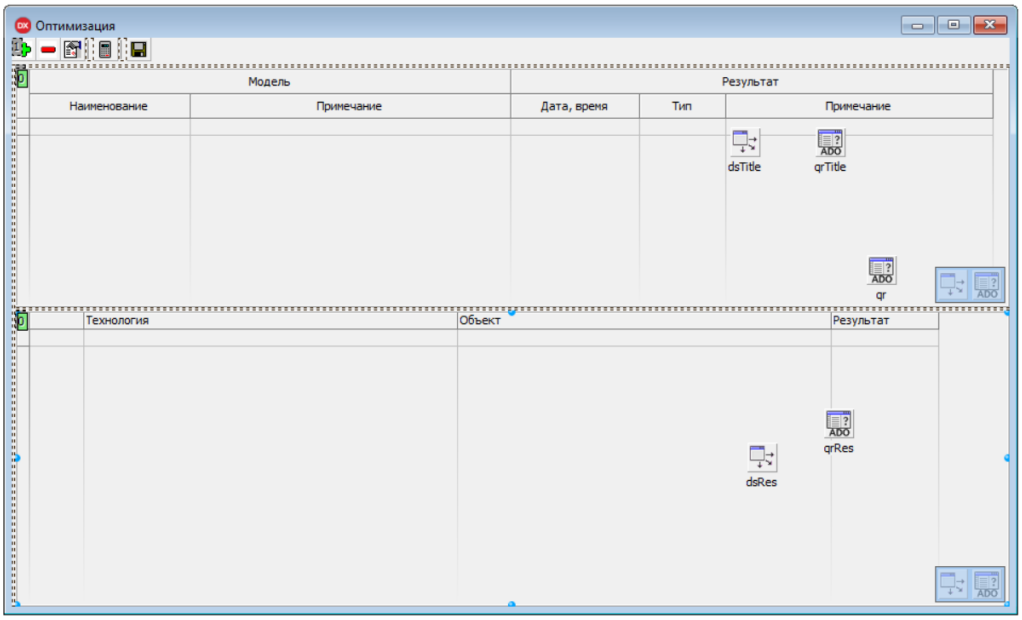


Рисунок 4.18 – Визуальная форма модуля оптимизации

Для создания и редактирования исходных данных для выполнения процедуры оптимизации предусмотрена визуальная форма fmEditOpt (Рисунок 4.19). На форме расположены визуальные компоненты, которые позволяют указать примечания к результатам оптимизации, выбрать базовый критерий оптимизации в строке «Модель», тип результата оптимизации (операционные или стратегические решения), а также технологии утилизации и объекты хранения отходов, характеристики которых будут использованы при формировании исходных данных для проведения оптимизации.

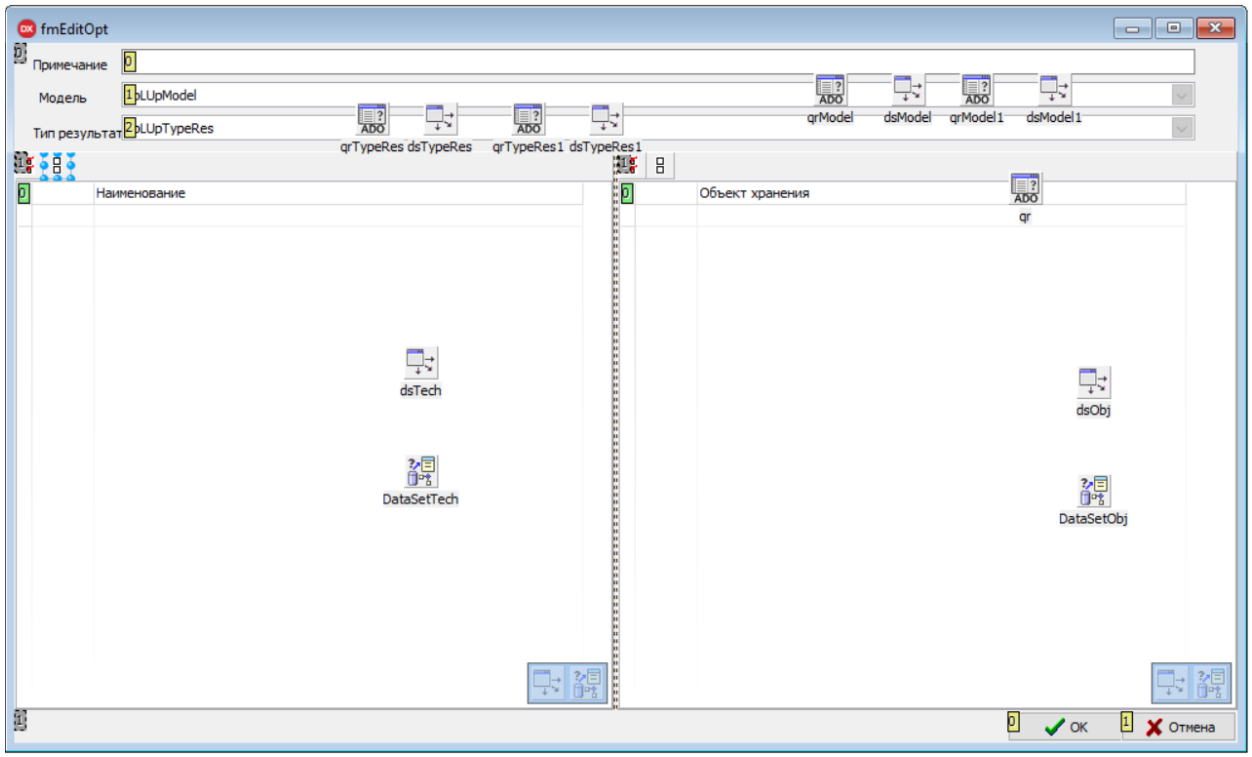


Рисунок 4.19 – Визуальная форма для создания/редактирования исходных данных для проведения оптимизации

Список технологий переработки и хранилищ НСО отображается при помощи двух компонентов типа TDBGridEh, источником данных для которых являются компоненты TADODataSet.

Процедура оптимизации.

Выполнение оптимизационной процедуры, включает следующие этапы:

1. Постановка задачи оптимизации: выбор базового критерия оптимизации, выбор дополнительных ограничений (Таблица 4.1) и(или) критериев оптимизации (таблица 4.2).
2. Выгрузка из БДрезультатов многофакторного анализа и формирование матрицы оценок эффективности (4.1), в соответствии с выбранным базовым критерием оптимизации.
3. Выгрузка из БД хранилищ НСО и технологий переработки основных характеристик и формирование матриц (4.2)-(4.5).
4. Формирование матрицы F_1 возможных комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» размером не более 10^4 элементов по одной из

характеристик (4.2)-(4.5), рассматриваемых в качестве ограничений в постановке задачи оптимизации.

5. Исключение из матрицы F_1 комбинаций, не соответствующих ограничениям (таблица 4.1), используемым на этапе 1.
6. Преобразование дополнительного критерия оптимизации (этап 1, таблица 4.2) в ограничение (таблица 4.1) при максимально возможном значении выбранной характеристики на этапе 4.
7. Решение задачи оптимизации (4.1) для оставшихся комбинаций в матрице F_1 с учётом ограничения, заданного на этапе 6, осуществляется с помощью функции ПО MATLAB intlinprog, предназначенной для решения задач целочисленного линейного программирования. Эта функция позволяет эффективно находить целочисленные решения в задачах с линейными целевыми функциями и линейными ограничениями. Параметры функции позволяют пользователю выбрать метод оптимизации для решения задачи целочисленного линейного программирования. В работе использовался метод ветвей и границ. Если на этапе решений не найдено, то осуществляется переход на этап 10.
8. Сохранение результатов решения задачи оптимизации для матрицы F_1 с учётом ограничения, заданного на этапе 6.
9. Возвращение к этапу 6 и уменьшение максимального возможного значения характеристики, выбранной на этапе 4, на заданную величину Δ. Если Φ возможных матриц F_φ, $\varphi = \overline{1,\Phi}$ для комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» в составе анализируемого КП НСО рассчитаны, то осуществляется переход к 11 этапу.
10. Возвращение к этапу 4 для формирования матрицы F_2, включающей следующие 10^4 элементов по одной из характеристик (4.2)-(4.5), рассматриваемых в качестве ограничений в постановке задачи оптимизации.
11. Вывод сохраненных результатов решения задачи оптимизации на экран (Рисунок 4.18) и в экспертную систему поддержки и принятия решений

(раздел 5.2) с указанием времени выполнения процедуры и количества итераций. Если необходимо, матрица результатов оптимизации выгружается в файлы в формате MS Excel.

4.3.2 Методическое руководство для работы с программным обеспечением

Представлено описание графического интерфейса пользователя, порядок действий при вводе данных о технологиях переработки и хранилищах НСО, методические указания для работы с модулями для определения оценок эффективности, а также описаны формы модуля контроля качества данных, модуля и процедур оптимизации КП НСО.

Основное меню программного комплекса (Рисунок 4.20, а) соответствует перечню основных пунктов модуля с главным меню (раздел 4.3.1). Аналогично отображаются на экранных формах меню «Справочники» (Рисунок 4.20, б), меню «Параметры» (Рисунок 4.20, в) и для примера показано диалоговое окно для добавления и редактирования значения параметров (Рисунок 4.20, г).

Для работы с модулем «Технологии переработки НСО» из основного меню открывается диалоговое окно для просмотра технологий (Рисунок 4.21), сведения о которых хранятся в базе данных.

В диалоговом окне в зоне I отображаются наименования технологий утилизации в виде списка. В зоне II отображаются основные характеристики выбранной технологии, в зоне III – сведения об используемом топливе и дополнительных реагентах, необходимых для осуществления процесса утилизации отходов. В зонах IV и V представлены дополнительные характеристики технологии.

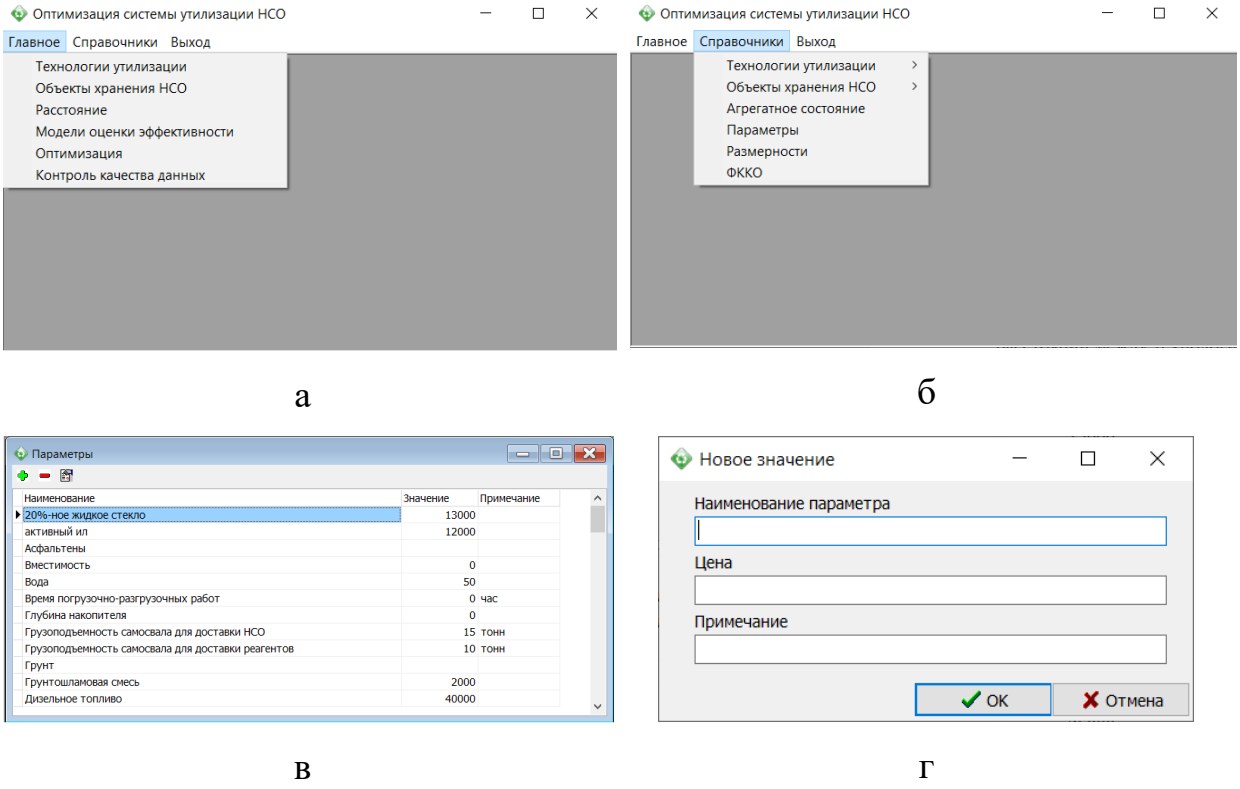


Рисунок 4.20 – Основные экранные формы графического интерфейса пользователя ПО:

а - основное меню; б - меню «Справочники»; в - справочник «Параметры»; г - диалоговое окно для добавления нового параметра

Для редактирования технологий на панели инструментов присутствуют кнопки для добавления (), удаления () и редактирования (). Для исключения ошибочных действий при удалении технологий предусмотрено диалоговое окно для подтверждения действия.

Для добавления новой и редактирования существующей технологии предусмотрено соответствующее диалоговое окно (Рисунок 4.22). Обязательными сведениями для заполнения являются: Наименование технологии; Степень мобильности; Координаты.

Слева от таблицы, в которой представлены параметры технологии, расположены управляющие элементы для добавления () и удаления () параметров технологии.

Модуль «Объекты хранения НСО» содержит в себе диалоговое окно для просмотра хранилищ НСО (Рисунок 4.23), сведения о которых хранятся в базе данных.

В диалоговом окне в зоне I отображается наименование объектов хранения в виде списка. В зоне II отображаются сведения о проведенных замерах физико-химических параметров выбранного объекта хранения, в зоне III – сведения об общих параметрах накопителя. В зоне IV представлены результаты проведения замеров, в зонах V и VI представлены дополнительные сведения об объекте размещения отходов.

Для редактирования хранилищ НСО на панели инструментов присутствуют кнопки для добавления ( ), удаления ( ) и редактирования ( ). Для исключения ошибочных действий при удалении предусмотрено диалоговое окно для подтверждения удаления объекта хранения.

Для добавления нового и редактирования существующих объектов хранения предусмотрено соответствующее диалоговое окно (Рисунок 4.24). Обязательными для заполнения являются следующие данные: Наименование объекта размещения отходов; Сведения о замере; Параметры замеров.

Слева от таблицы, в которой представлены сведения о замерах расположены управляющие элементы для добавления ( ) и удаления ( ) замеров.

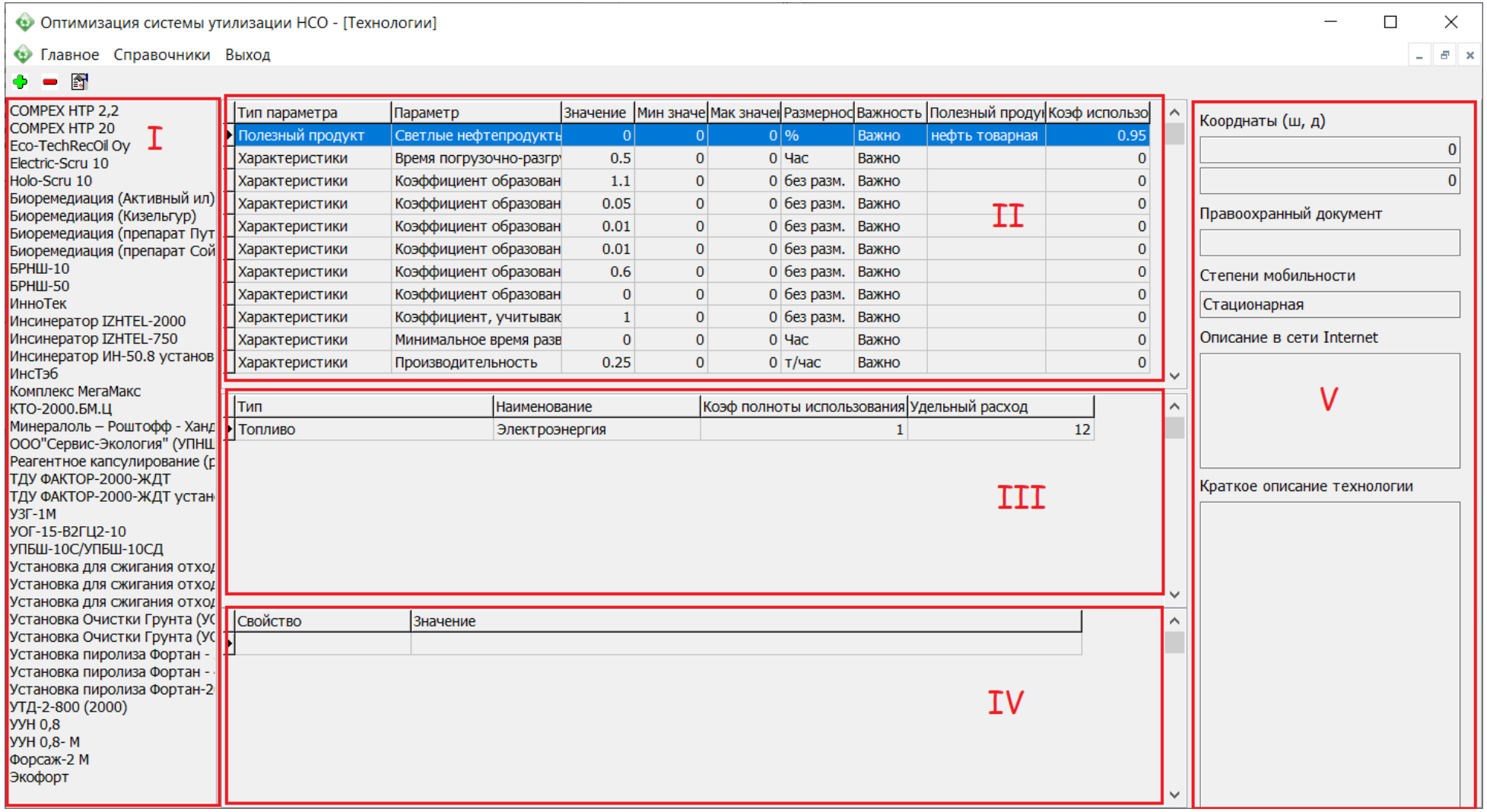


Рисунок 4.21 – Диалоговое окно для просмотра технологий переработки НСО

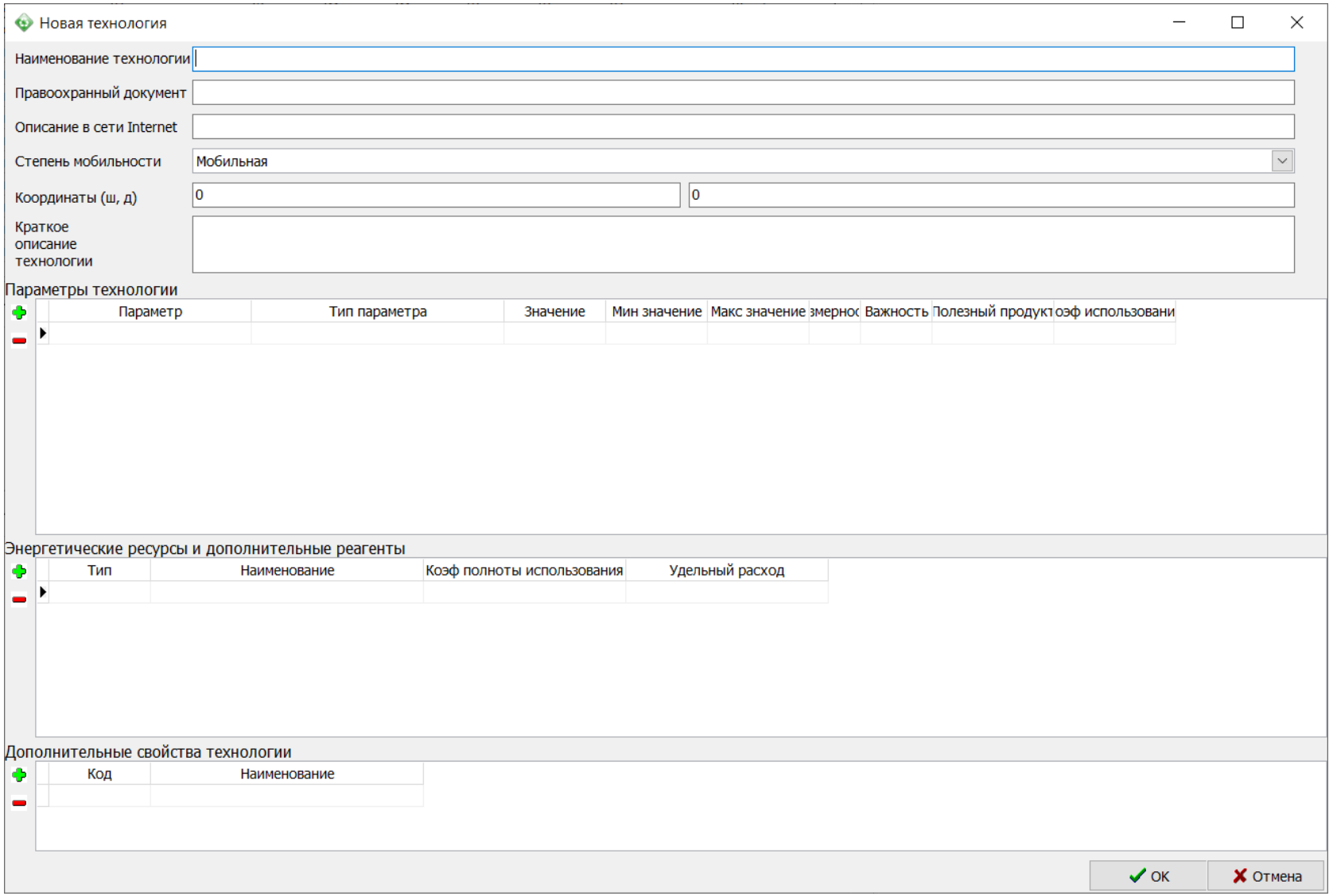


Рисунок 4.22 – Диалоговое окно для редактирования технологий переработки НСО

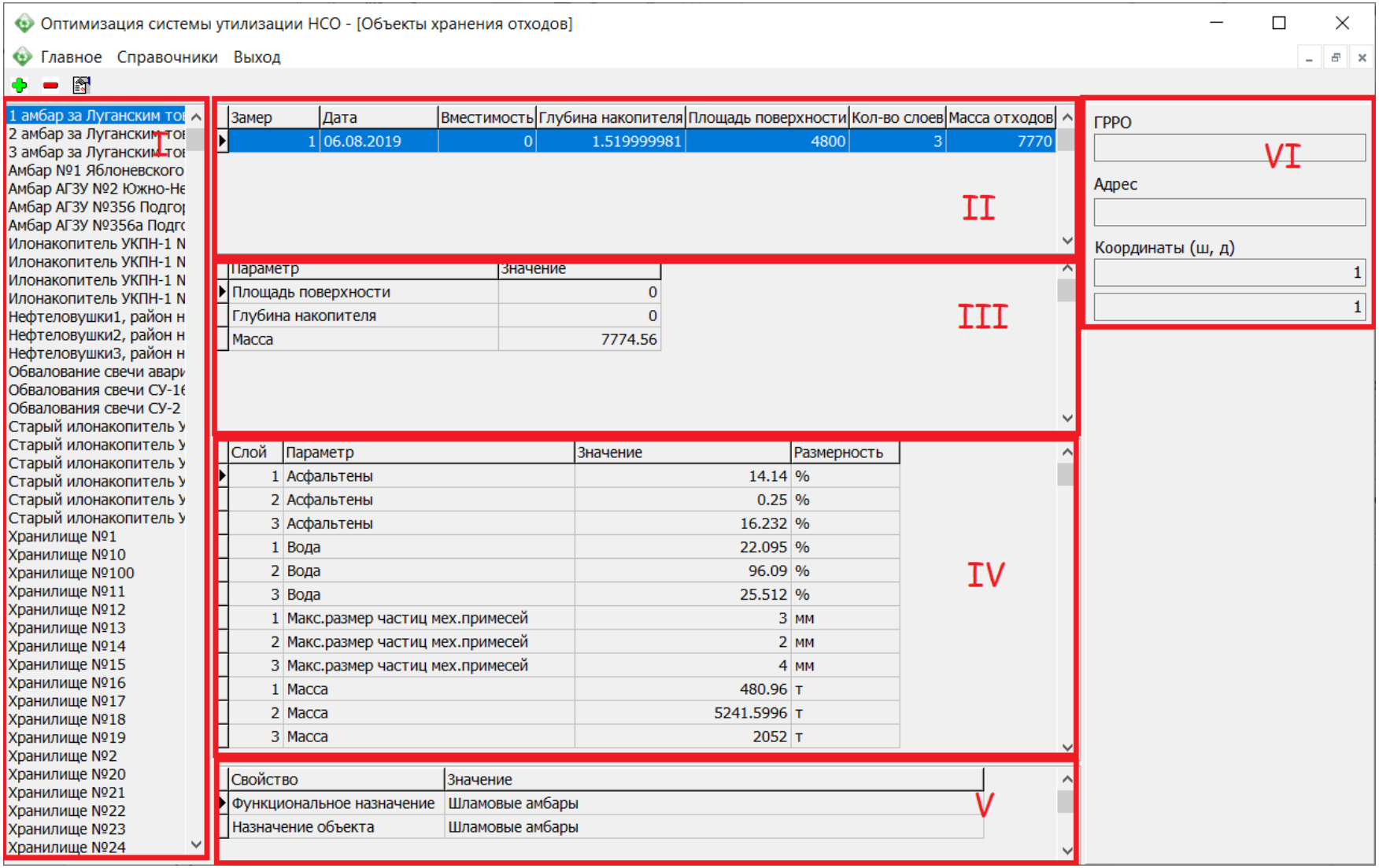


Рисунок 4.23 –Диалоговое окно для просмотра хранилищ НСО

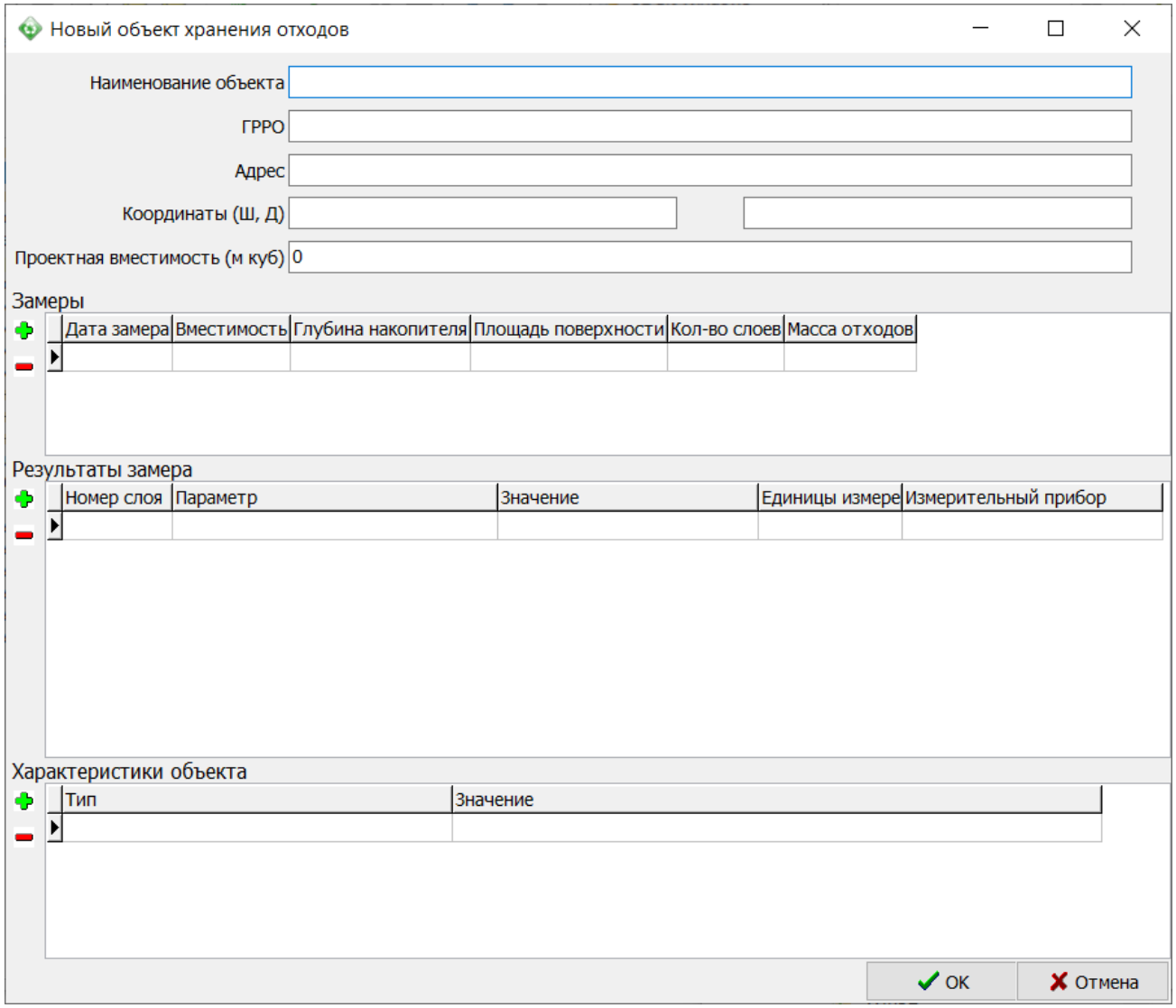


Рисунок 4.24 – Диалоговое окно для редактирования хранилищ НСО

Для работы с модулем «Контроль качества данных» разработано диалоговое окно (Рисунок 4.25). В верхней части окна выводятся из базы данных результаты замеров всех накопителей. В нижней части окна расположены сведения о параметрах выбранного замера с группировкой по слоям. На панели инструментов расположены управляющие элементы, которые позволяют включить ( ) или исключить ( ) накопители из проверки контроля качества данных. При помощи управляющего элемента ( ) запускается процесс контроля качества данных, реализующий разработанный алгоритм (раздел 2.4). Результаты замеров, которые не удовлетворяют требованиям по контролю качества данных, выделяются красным цветом.

Модуль для редактирования разработанных моделей для определения оценок эффективности переработки НСО по различным критериям представлен на рисунке 4.26. В диалоговом окне в зоне I отображается наименование созданных моделей в виде списка. В зоне II отображаются сведения о параметрах моделей, в зоне III – математическое выражение выбранного параметра модели оценки эффективности в виде бинарного дерева. В зоне IV представлено полное описание модели для определения оценок эффективности. Для редактирования моделей на панели инструментов присутствуют кнопки для добавления ( ), удаления ( ) и редактирования ( ). Для исключения ошибочных действий при удалении предусмотрено диалоговое окно для подтверждения удаления моделей.

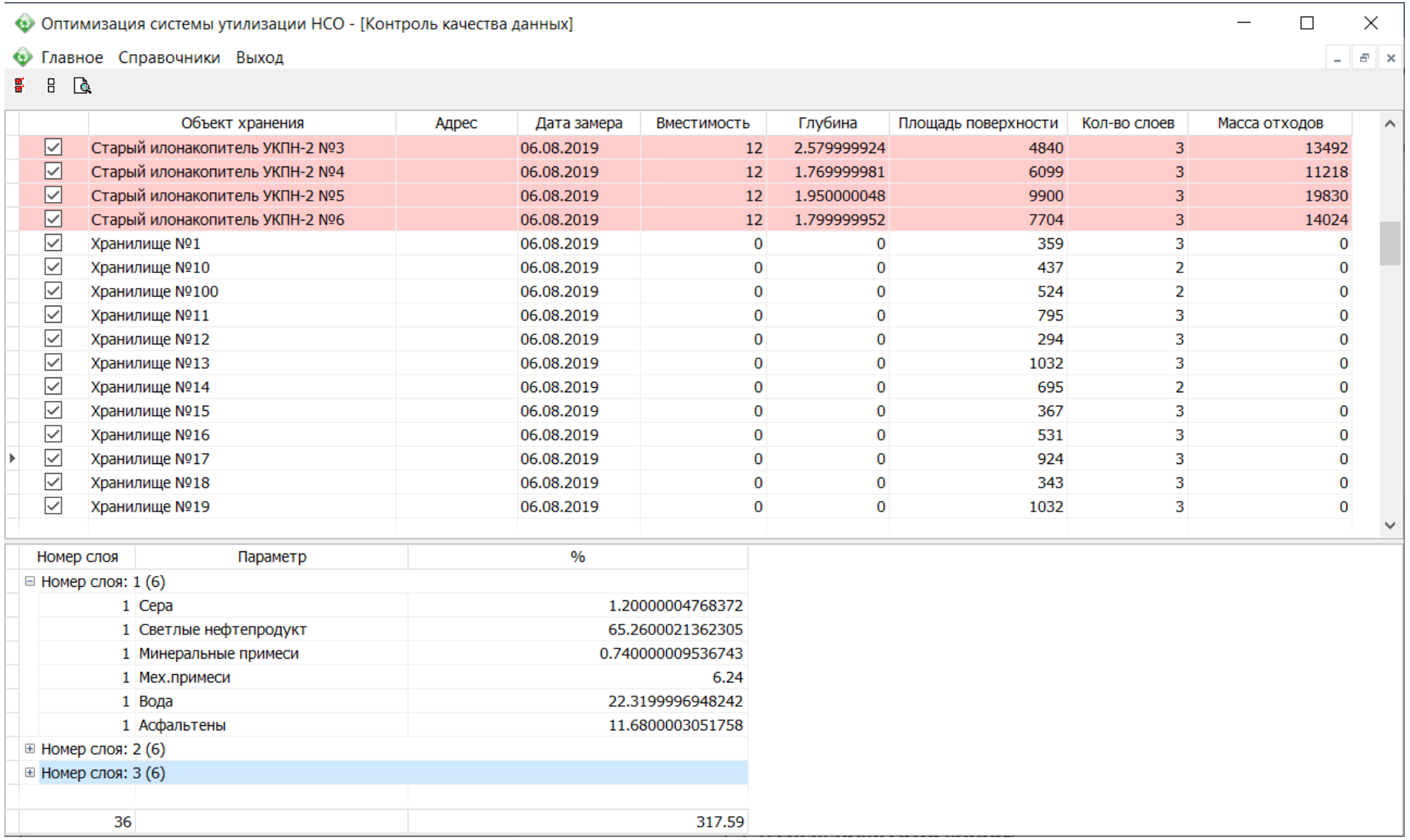
Для работы с модулем выполнения процедур оптимизации системы переработки НСО разработано диалоговое окно (Рисунок 4.27). В верхней части формы представлена таблица, в которой приведена постановка задачи оптимизации:

- базовый критерий оптимизации (раздел «Модель»), выбранные дополнительные критерии оптимизации, базовые и дополнительные ограничения (Раздел «Примечание»);
- дата и время получения результата оптимизации;

- уровень принимаемого решения (операционный или стратегический), соответствующий номеру схемы расчёта оценок эффективности в алгоритме многофакторного анализа;
- примечание.

В нижней части формы представлены результаты оптимизации в виде оптимального набора комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» (разделы «Технология» и «Объект»). В графе «Результат» отображается оценка эффективности комбинации.

На разработанное ПО и базы данных получены свидетельства государственной регистрации [31–37].



Объект хранения	Адрес	Дата замера	Вместимость	Глубина	Площадь поверхности	Кол-во слоев	Масса отходов
Старый илонакопитель УКПН-2 №3		06.08.2019	12	2.579999924	4840	3	13492
Старый илонакопитель УКПН-2 №4		06.08.2019	12	1.769999981	6099	3	11218
Старый илонакопитель УКПН-2 №5		06.08.2019	12	1.950000048	9900	3	19830
Старый илонакопитель УКПН-2 №6		06.08.2019	12	1.799999952	7704	3	14024
Хранилище №1		06.08.2019	0	0	359	3	0
Хранилище №10		06.08.2019	0	0	437	2	0
Хранилище №100		06.08.2019	0	0	524	2	0
Хранилище №11		06.08.2019	0	0	795	3	0
Хранилище №12		06.08.2019	0	0	294	3	0
Хранилище №13		06.08.2019	0	0	1032	3	0
Хранилище №14		06.08.2019	0	0	695	2	0
Хранилище №15		06.08.2019	0	0	367	3	0
Хранилище №16		06.08.2019	0	0	531	3	0
Хранилище №17		06.08.2019	0	0	924	3	0
Хранилище №18		06.08.2019	0	0	343	3	0
Хранилище №19		06.08.2019	0	0	1032	3	0

Номер слоя	Параметр	%
Номер слоя: 1 (6)		
1	Сера	1.20000004768372
1	Светлые нефтепродукт	65.2600021362305
1	Минеральные примеси	0.740000009536743
1	Мех.примеси	6.24
1	Вода	22.3199996948242
1	Асфальтены	11.6800003051758
Номер слоя: 2 (6)		
Номер слоя: 3 (6)		
36		317.59

Рисунок 4.25 – Диалоговое окно для работы с модулем контроля качества данных

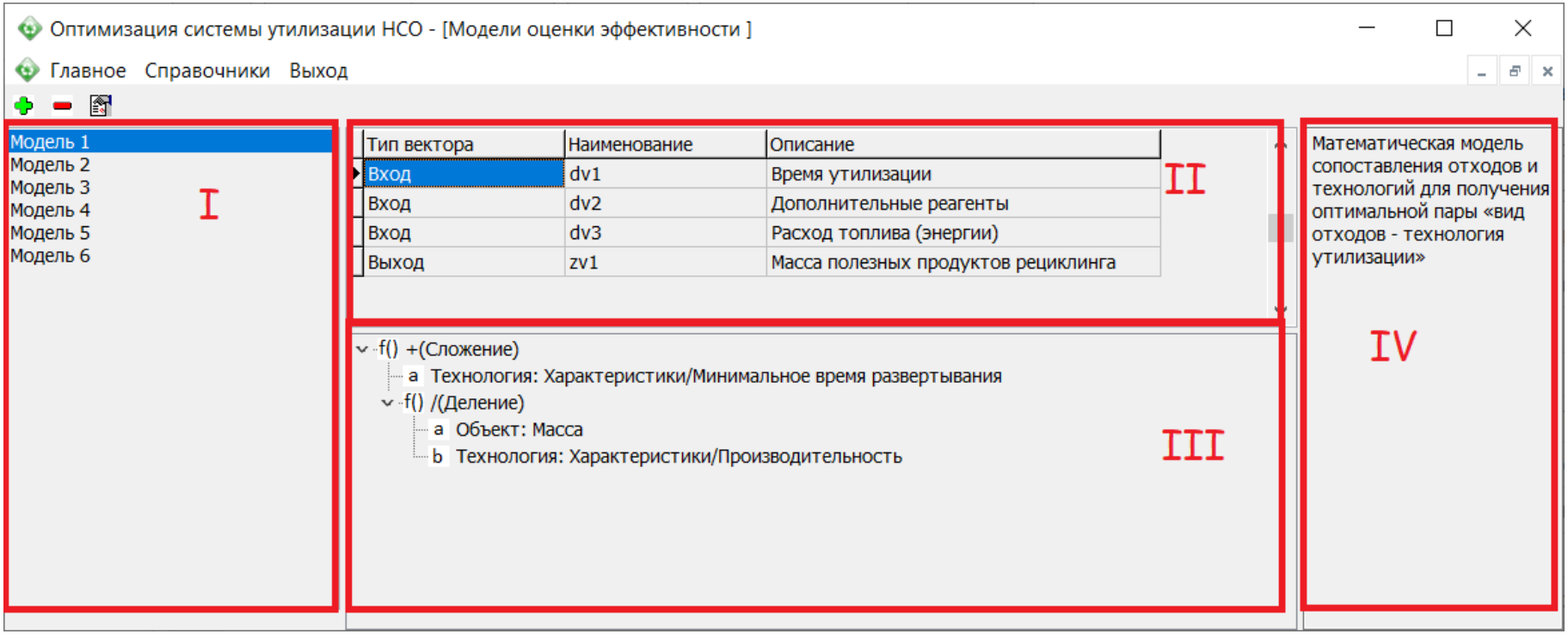
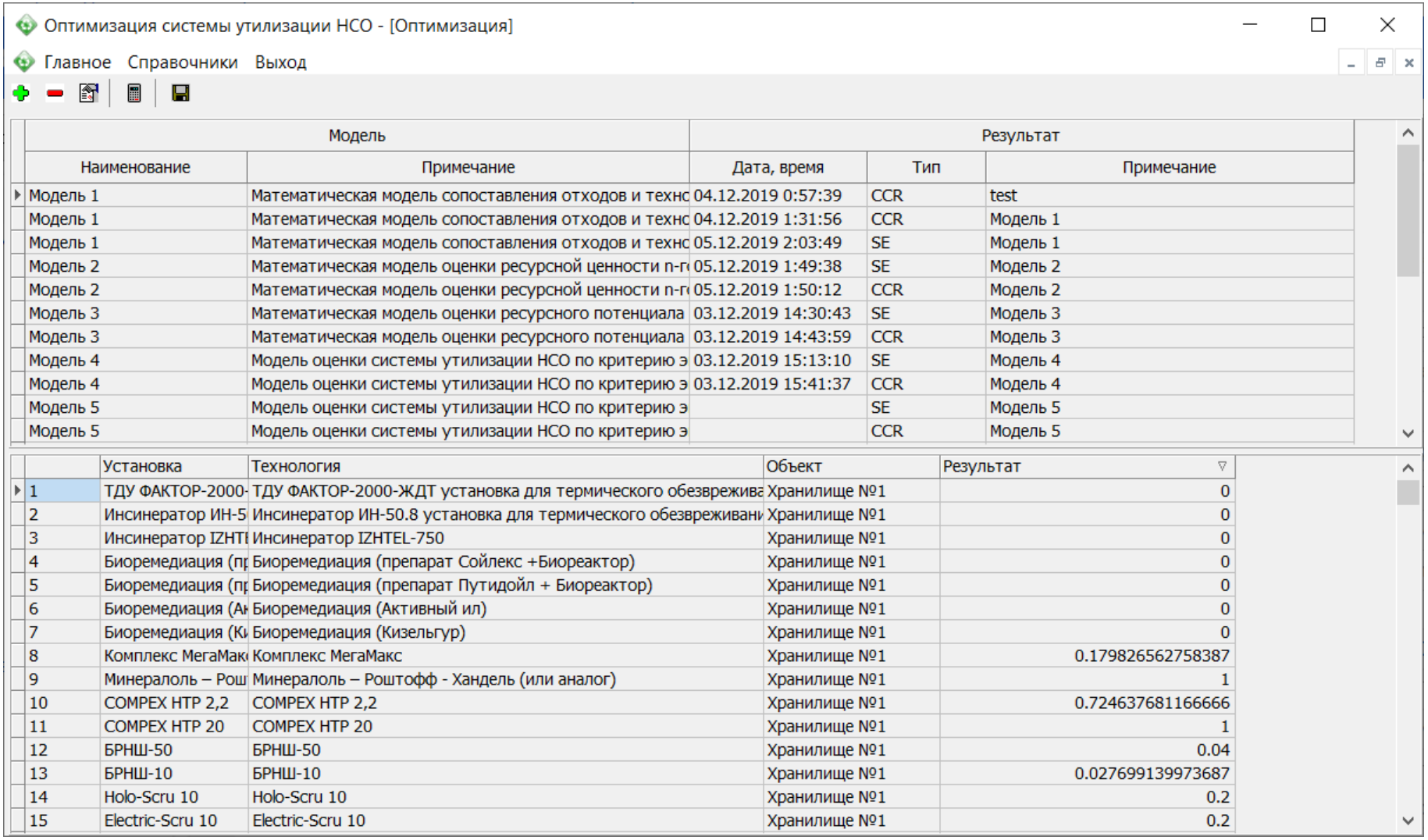


Рисунок 4.26 – Окно для работы с моделями оценки эффективности переработки НСО



Модель		Результат		
Наименование	Примечание	Дата, время	Тип	Примечание
Модель 1	Математическая модель сопоставления отходов и технс	04.12.2019 0:57:39	CCR	test
Модель 1	Математическая модель сопоставления отходов и технс	04.12.2019 1:31:56	CCR	Модель 1
Модель 1	Математическая модель сопоставления отходов и технс	05.12.2019 2:03:49	SE	Модель 1
Модель 2	Математическая модель оценки ресурсной ценности n-г	05.12.2019 1:49:38	SE	Модель 2
Модель 2	Математическая модель оценки ресурсной ценности n-г	05.12.2019 1:50:12	CCR	Модель 2
Модель 3	Математическая модель оценки ресурсного потенциала	03.12.2019 14:30:43	SE	Модель 3
Модель 3	Математическая модель оценки ресурсного потенциала	03.12.2019 14:43:59	CCR	Модель 3
Модель 4	Модель оценки системы утилизации НСО по критерию э	03.12.2019 15:13:10	SE	Модель 4
Модель 4	Модель оценки системы утилизации НСО по критерию э	03.12.2019 15:41:37	CCR	Модель 4
Модель 5	Модель оценки системы утилизации НСО по критерию э		SE	Модель 5
Модель 5	Модель оценки системы утилизации НСО по критерию э		CCR	Модель 5

	Установка	Технология	Объект	Результат
1	ТДУ ФАКТОР-2000-	ТДУ ФАКТОР-2000-ЖДТ установка для термического обезвреживa	Хранилище №1	0
2	Инсинератор ИН-5	Инсинератор ИН-50.8 установка для термического обезвреживани	Хранилище №1	0
3	Инсинератор IZHTI	Инсинератор IZHTEL-750	Хранилище №1	0
4	Биоремедиация (пр	Биоремедиация (препарат Сойлекс +Биореактор)	Хранилище №1	0
5	Биоремедиация (пр	Биоремедиация (препарат Путидойл + Биореактор)	Хранилище №1	0
6	Биоремедиация (Ак	Биоремедиация (Активный ил)	Хранилище №1	0
7	Биоремедиация (Ки	Биоремедиация (Кизельгур)	Хранилище №1	0
8	Комплекс МегаМак	Комплекс МегаМакс	Хранилище №1	0.179826562758387
9	Минераloль – Рош	Минераloль – Роштофф - Хандель (или аналог)	Хранилище №1	1
10	COMPEX HTP 2,2	COMPEX HTP 2,2	Хранилище №1	0.724637681166666
11	COMPEX HTP 20	COMPEX HTP 20	Хранилище №1	1
12	БРНШ-50	БРНШ-50	Хранилище №1	0.04
13	БРНШ-10	БРНШ-10	Хранилище №1	0.027699139973687
14	Holo-Scru 10	Holo-Scru 10	Хранилище №1	0.2
15	Electric-Scru 10	Electric-Scru 10	Хранилище №1	0.2

Рисунок 4.27 – Диалоговое окно для работы с модулем «Оптимизация систем утилизации НСО»

4.4 Апробация алгоритма и процедуры оптимизации

В данном разделе представлены результаты апробации алгоритма и процедур решения задачи оптимизации КП НСО (раздел 4.2), полученные с помощью разработанного специализированного ПО (раздел 4.3). Сформулированы и решены задачи однокритериальной оптимизации для комплексной переработки N=90 хранилищ НСО по следующим базовым критериям: максимального ресурсного потенциала с учётом постоянного (Таблица 4.3) и переменного эффектов масштаба (Таблица 4.4); максимальной экологической безопасности с учётом постоянного (Таблица 4.5) и переменного эффектов масштаба (Таблица 4.6); максимальной ресурсной и энергетической эффективности с учётом постоянного (Таблица 4.7) и переменного эффектов масштаба (Таблица 4.8); максимальной комплексной эффективности с учётом постоянного (Таблица 4.9) и переменного эффектов масштаба (Таблица 4.10).

Анализ полученных результатов решения однокритериальных оптимизационных задач по базовому критерию максимального ресурсного потенциала показал, что при постоянном эффекте масштаба (Таблица 4.3) только 3 технологии (m=2,11,13) задействованы в переработке НСО. При этом чаще других используется технология №13 (Eco-TechRecOil Oy, Таблица 3.2), применение которой для переработки НСО в 57-ми хранилищах обеспечивает максимальную массу полезных продуктов рециклинга – 19191,11 т. При переменном эффекте масштаба (Таблица 4.4) аналогично только 3 технологии (m=2,11,13) задействованы в переработке НСО и наиболее часто используется также технология №13, применение которой для переработки отходов в 69-ти хранилищах обеспечивает получение максимальной массы полезных продуктов рециклинга 20515,46 т.

Таблица 4.3 – Результаты решения задачи оптимизации КП НСО по базовому критерию максимального ресурсного потенциала с учётом постоянного эффекта масштаба

		Параметры переработки					**Оценка ресурсного потенциала комбинаций «хранилище НСО – технология**
Наименование параметра		Длительность переработки, [ч]	Масса реагентов, [т]	Расход топлива (энергии), [т]	Масса полезных продуктов рециклинга (углеводороды), [т]	Оценка ресурсной ценности НСО в хранилищах	
Обозначение в задачах многофакторного анализа (глава 3)		x_{1p}^2	x_{2p}^2	x_{3p}^2	y_{1p}^2	SR_n^1	SCP_p^2
Статистические данные							
Минимальное значение		14,96	0	0,01	6,11	0,18	**0,42**
Максимальное значение		2555,00	932,25	2,72	1789,38	2,48	**1,37**
Среднее значение		127,44	35,39	0,46	257,52	0,58	**0,63**
Стандартное отклонение		322,40	120,08	0,43	255,15	0,34	**0,16**
Суммарные данные		**11470,01**	**3184,94**	**41,41**	**23177**	**52,36**	**56,56**
Номер технологии ***m***	Количество хранилищ НСО	*Суммарные данные по технологиям*					
2	1	14,96	0	0,65	274,10	0,59	**1,21**
11	32	8968,52	3172,21	6,82	3711,80	11,97	**17,46**
13	57	2486,52	12,73	33,94	19191,11	39,81	**37,90**

Сравнительный анализ результатов расчёта по двум представленным наборам технологий (Таблицы 4.3 и 4.4) показал, что, используя стратегический подход с переменным эффектом масштаба, можно получить наибольшую массу полезных продуктов рециклинга 26129,91 т (больше на 12,7% по сравнению с операционным подходом), сократить длительность переработки (на 25,6%) и расход реагентов (на 41,8%) при увеличении расхода топлива (энергии) на 57,4%.

Таблица 4.4 – Результаты решения задачи оптимизации КП НСО по базовому критерию максимального ресурсного потенциала с учётом переменного эффекта масштаба

		Параметры переработки					**Оценка ресурсного потенциала комбинаций «хранилище НСО – технология переработки»**
Наименование параметра		Длительность переработки, [ч]	Масса реагентов, [т]	Расход топлива (энергии), [т]	Масса полезных продуктов рециклинга (углеводороды), [т]	Оценка ресурсной ценности НСО в хранилищах	
Обозначение в задачах многофакторного анализа (глава 3)		x_{1p}^2	x_{2p}^2	x_{3p}^2	y_{1p}^2	SR_n^1	SBP_p^2
Статистические данные							
Минимальное значение		13,12	0	0,01	6,11	0,18	**0,46**
Максимальное значение		1606,40	584,83	22,27	2852,29	2,48	**6,79**
Среднее значение		94,87	20,59	0,73	290,33	0,58	**0,82**
Стандартное отклонение		198,08	72,77	2,33	355,56	0,34	**0,93**
Суммарные данные		**8537,97**	**1852,68**	**65,28**	**26129,91**	**52,36**	**73,81**
Номер технологии ***m***	Количество хранилищ НСО	*Суммарные данные по технологиям*					
2	3	548,07	0	23,98	3490,15	3,40	**14,81**
11	18	5193,07	1838,67	3,95	2124,30	6,03	**10,81**
13	69	2796,82	14,01	37,35	20515,46	42,94	**48,20**

Анализ полученных результатов решения однокритериальных оптимизационных задач по базовому критерию максимальной экологической безопасности показал, что при постоянном эффекте масштаба (Таблица 4.5) 5 технологий (m=2,3,4,9,10) задействованы в переработке НСО. При этом чаще других используется технология №9 (Фортан ТМ 200, Таблица 3.2), применение которой для переработки НСО в 79-ти хранилищах обеспечивает максимальную массу полезных продуктов рециклинга 13868 т. При переменном эффекте масштаба (Таблица 4.6) 7 технологий (m=3,4,5,8,9,10,12) задействованы в переработке НСО, а наиболее часто используется технология №8 (Фортан-20, Таблица 3.2), применение которой для переработки отходов в 47-ми хранилищах обеспечивает получение максимальной массы полезных продуктов рециклинга 7619,5 т.

Таблица 4.5 – Результаты решения задачи оптимизации КП НСО по базовому критерию максимальной экологической безопасности с учётом постоянного эффекта масштаба

		Параметры переработки						**Оценка экологической безопасности комбинаций «хранилище НСО – технология переработки»**
Наименование параметра		Выбросы парниковых газов, [т]	Выбросы сернистого ангидрида, [т]	Выбросы в атмосферу сажи, [т]	Масса образовавшейся золы, [т]	Масса образовавшейся загрязненной воды, [т]	Масса полезных продуктов рециклинга (углеводороды), [т]	
Обозначение в задачах многофакторного анализа (глава 3)		x_{1p}^{3}	x_{2p}^{3}	x_{3p}^{3}	x_{4p}^{3}	x_{5p}^{3}	y_{1p}^{2}	SCE_{p}^{3}
Статистические данные								
Минимальное значение		0	0	0	17,76	4,14	8,58	**0,59**
Максимальное значение		3669,61	0,45	1,65	2571,09	2393,48	1789,38	**1,41**
Среднее значение		339,61	0,01	0,07	265,38	176,08	208,72	**0,93**
Стандартное отклонение		403,17	0,05	0,29	336,02	371,86	261,07	**0,10**
Суммарные данные		**30565,2**	**0,70**	**6,19**	**23884,3**	**15847**	**18785**	**83,65**
Номер технологии ***m***	Количество хранилищ НСО	*Суммарные данные по технологиям*						
2	1	536,2	0	0	646,7	566,6	416,8	**1,4**
3	5	619,5	0	6,2	767,1	4595,1	1324,1	**5,3**
4	4	73,3	0,7	0	784,6	3609,7	3133,6	**4,0**
9	79	29336,2	0	0	21595,3	6497,9	13868	**71,8**
10	1	0	0	0	90,5	577,7	42,5	**1,2**

Сравнительный анализ результатов расчёта по двум представленным наборам технологий (Таблицы 4.5 и 4.6) показал, что, используя операционный подход с постоянным эффектом масштаба, можно получить наибольшую массу полезных продуктов рециклинга 18785 т (больше на 1,03% по сравнению со стратегическим подходом), при этом загрязненной воды будет образовываться на 24,47 % меньше, но выбросы сажи и парниковых газов возрастут на 19,07% и 1,2%, соответственно. Очевидно, что в данной ситуации предпочтительным оказывается стратегический подход, так как он соответствует цели достижения максимальной экологической безопасности переработки НСО, обеспечивая снижение выбросов в атмосферу вредных веществ в общем на 20,27%; при

этом объем полезных продуктов рециклинга сокращается всего на 192,77 т, что в долгосрочной перспективе для функционирования КП НСО является менее значимым.

Таблица 4.6 – Результаты решения задачи оптимизации КП НСО по базовому критерию максимальной экологической безопасности с учётом переменного эффекта масштаба

		Параметры переработки						**Оценка экологической безопасности комбинаций «хранилище НСО – технология переработки»**
Наименование параметра		Выбросы парниковых газов, [т]	Выбросы сернистого ангидрида, [т]	Выбросы в атмосферу сажи, [т]	Масса образовавшейся золы, [т]	Масса образовавшейся загрязненной воды, [т]	Масса полезных продуктов рециклинга (углеводороды), [т]	
Обозначение в задачах многофакторного анализа (глава 3)		x_{1p}^3	x_{2p}^3	x_{3p}^3	x_{4p}^3	x_{5p}^3	y_{1p}^2	SBE_p^3
Статистические данные								
Минимальное значение		0	0	0,00	17,76	4,14	8,58	**0,60**
Максимальное значение		3669,61	0,45	1,65	2571,09	6360,98	1789,38	**1,48**
Среднее значение		335,58	0,01	0,06	265,38	233,13	206,58	**0,94**
Стандартное отклонение		403,48	0,05	0,27	336,02	748,75	260,48	**0,09**
Суммарные данные		**30202,6**	**0,7**	**5,2**	**23884,3**	**20981,8**	**18592,2**	**84,44**
Номер технологии ***m***	Количество хранилищ НСО	*Суммарные данные по технологиям*						
3	4	520,3	0	5,2	613,6	3923,9	1112,0	**4,41**
4	3	31,4	0,24	0	436,0	1216,2	1344,2	**3**
5	1	41,9	0,45	0	348,6	2393,5	1789,4	**1**
8	47	16118,2	0	0	13609,5	4027,9	7619,5	**42,38**
9	33	13490,8	0	0	8139,4	2481,7	6377,5	**31,56**
10	1	0	0	0	90,5	577,7	42,5	**1,22**
12	1	0	0	0	646,7	6361,0	307,1	**0,87**

Анализ полученных результатов решения однокритериальных оптимизационных задач по базовому критерию максимальной ресурсо- и энергоэффективности показал, что при постоянном эффекте масштаба (Таблица 4.7) 5 технологий (m=1,8,11,12,13) задействованы в переработке

НСО. При этом чаще других используется технология №11 (УПБШ-10С/УПБШ-10СД, Таблица 3.2), применение которой для переработки НСО в 58-ми хранилищах обеспечивает максимальную массу полезных продуктов рециклинга 5841,64 т. При переменном эффекте масштаба (Таблица 4.8) 6 технологий (m=2,8,11,12,13,14) задействованы в переработке НСО, а наиболее часто используется технология №13 (Eco-TechRecOil Oy, Таблица 3.2), применение которой для переработки отходов в 35-ти хранилищах обеспечивает получение максимальной массы полезных продуктов рециклинга 12412,6 т.

Сравнительный анализ результатов расчёта по двум представленным наборам технологий (Таблицы 4.7 и 4.8) показал, что, применяя стратегический подход с переменным эффектом масштаба, можно получить наибольшую массу полезных продуктов рециклинга 22868,7 т (больше на 68,7% по сравнению с операционным подходом), при этом произойдет сокращение следующих характеристик функционирования КП НСО: времени переработки - на 39,19%, расхода реагентов - на 59,9%, массы загрязненной воды - на 29,14% и удельных затрат на переработку - на 49,83%. Однако, при этом увеличатся следующие характеристики: длительность транспортирования установок - на 320,94%; расход топлива (энергии) - на 10,5%; выбросы в атмосферу парниковых газов - на 1,37% и сернистого ангидрида - на 238,76%; масса сажи - на 358,14%.

Анализ полученных результатов решения однокритериальных оптимизационных задач по базовому критерию максимальной комплексной эффективности показал, что при постоянном эффекте масштаба (Таблица 4.9) только 6 технологий (m=1,3,8,11-13) задействованы в переработке НСО. При этом чаще других используется технология №11 (УПБШ-10С/УПБШ-10СД, табл. 3.2), применение которой для переработки НСО в 51-ом хранилище обеспечивает максимальную массу полезных продуктов рециклинга - 4404,8 т. При переменном эффекте масштаба (Таблица 4.10) 8 технологий (m=2,3,8,10-14) задействованы в переработке НСО и наиболее часто используется

технология №13 (Eco-TechRecOil Oy, Таблица 3.2), применение которой для переработки отходов в 34-х хранилищах обеспечивает получение максимальной массы полезных продуктов рециклинга 9560,3 т.

Сравнительный анализ результатов расчёта по двум представленным оптимальным последовательностям технологий (Таблицы 4.9 и 4.10) показал, что наибольшую массу полезных продуктов можно получить, используя стратегический подход к управлению системой комплексной переработки НСО с переменным эффектом масштаба - 20622,8 т. против 15213,1 т. в операционном подходе с постоянным эффектом масштаба. Однако, по ряду других технологических параметров в краткосрочной перспективе операционный подход оказывается лучше стратегического: длительность переработки меньше на 2581,49 ч., масса используемых реагентов меньше на 5110,26 т., выбросы сернистого ангидрида и сажи в атмосферу меньше на 773,78 т. и 2102,66 т., соответственно, и др.

Представленные в таблице 4.11 результаты сравнения свидетельствуют о неоднозначности выбора операционного (таблица 4.9) или стратегического подхода (таблица 4.10) к управлению переработкой НСО. Если на основе полученных результатов решения оптимизационных задач однозначный выбор комбинаций «хранилище НСО – технологическая установка» и последовательности переработки не очевиден, необходимо использовать разработанный и описанный в разделе 5.1 алгоритм выбора и принятия управленческих решений в составе предлагаемой экспертной системы (глава 5).

Таблица 4.7 – Результаты решения задачи оптимизации КП НСО по базовому критерию максимальной ресурсо- и энергоэффективности с учётом постоянного эффекта масштаба

		Параметры переработки											**Оценки эффективности по критериям**			
Наименование параметра		Длительность переработки, [ч]	Масса реагентов, [т]	Расход топлива (энергии), [т]	Выбросы парниковых газов, [т]	Выбросы сернистого ангидрида, [т]	Выбросы в атмосферу сажи, [т]	Масса образовавшейся золы, [т]	Масса образовавшейся загрязненной воды, [т]	Удельные энергетические затраты на доставку, [руб./т]	Длительность доставки отходов или технологий, [ч]	Масса полезных продуктов рециклинга (углеводороды), [т]	Ресурсная ценность НСО	Ресурсный потенциал	Экологическая безопасность	**Ресурсо- и энергоэффективность**
Обозначение в задачах многофакторного анализа (глава 3)		x_{1p}^{2}	x_{2p}^{2}	x_{3p}^{2}	x_{1p}^{3}	x_{2p}^{3}	x_{3p}^{3}	x_{4p}^{3}	x_{5p}^{3}	x_{1p}^{4}	x_{2p}^{4}	y_{1p}^{2}	SR_{n}^{1}	SCP_{p}^{2}	SCE_{p}^{3}	$SCN_{p}^{4\{I\}}$
Статистические данные																
Минимальное значение		12,68	0	0,01	34,66	0	0,00	17,76	6,27	10,45	2,83	6,40	0,18	0,12	0,10	**0,08**
Максимальное значение		2555,00	932,25	19,98	6674,40	44,37	113,09	2571,09	14410,8	7502,81	493,68	1153,17	2,48	1,17	1,00	**2,08**
Среднее значение		194,70	56,84	0,70	734,57	5,34	8,69	265,38	905,49	1532,91	18,44	150,60	0,58	0,49	0,22	**0,41**
Стандартное отклонение		332,88	120,86	2,28	813,77	9,82	20,96	336,02	2022,24	1508,17	51,24	173,67	0,34	0,19	0,13	**0,29**
Суммарные данные		**17523,4**	**5115,6**	**62,6**	**66111,1**	**480,2**	**782,2**	**23884,3**	**81494,4**	**1532,9***	**1659,3**	**13553,6**	**52,36**	**44,4166**	**19,8**	**35,998**
Номер технологии ***m***	Количество хранилищ НСО	*Суммарные данные по технологиям*														
1	2	364,79	95,04	28,51	1334,88	0,85	12,32	789,47	4208,01	52,80*	5,81	831,73	1,00	0,26	0,52	**1,04**
8	1	961,12	0,00	1,43	468,00	0,00	0,00	90,51	6,27	10,45*	493,68	221,24	2,48	0,62	1,00	**2,08**
11	58	14210,8	5000,78	10,75	43687,5	0,02	43,69	17322,5	67117	2194,8*	815,84	5841,64	30,42	32,11	9,82	**21,92**
12	19	1635,12	18,16	17,41	14367	269,12	130,61	3915,57	8823,09	346,8*	159,00	4113,36	11,98	4,75	4,63	**7,21**
13	10	351,60	1,68	4,47	6253,78	210,24	595,60	1766,23	1340,04	395,98*	184,96	2545,64	6,48	6,67	3,86	**4,81**

* - представлены средние данные по параметру.

Таблица 4.8 – Результаты решения задачи оптимизации КП НСО по базовому критерию максимальной ресурсо- и энергоэффективности с учётом переменного эффекта масштаба

		Параметры переработки											**Оценки эффективности по критериям**			
Наименование параметра		Длительность переработки, [ч]	Масса реагентов, [т]	Расход топлива (энергии), [т]	Выбросы парниковых газов, [т]	Выбросы сернистого ангидрида, [т]	Выбросы в атмосферу сажи, [т]	Масса образовавшейся золы, [т]	Масса образовавшейся загрязненной воды, [т]	Удельные энергетические затраты на доставку, [руб./т]	Длительность доставки отходов или технологий, [ч]	Масса полезных продуктов рециклинга (углеводороды), [т]	Ресурсная ценность НСО	Ресурсный потенциал	Экологическая безопасность	**Ресурсо- и энергоэффективность**
Обозначение в задачах многофакторного анализа (глава 3)		x_{1p}^{2}	x_{2p}^{2}	x_{3p}^{2}	x_{1p}^{3}	x_{2p}^{3}	x_{3p}^{3}	x_{4p}^{3}	x_{5p}^{3}	x_{1p}^{4}	x_{2p}^{4}	y_{1p}^{2}	SR_{n}^{1}	SBP_{p}^{2}	SBE_{p}^{3}	$SCN_{p}^{4\{II\}}$
Статистические данные																
Минимальное значение		3,52	0	0,04	34,66	0	0	17,76	10,54	10,09	3,42	14,11	0,18	0,17	0,13	**0,02**
Максимальное значение		1606,40	584,83	8,91	7008,00	334,92	667,44	2571,09	11854,3	7485,23	1508,13	2852,29	2,48	4,44	1,00	**4,08**
Среднее значение		118,39	22,79	0,77	744,62	18,08	39,82	265,38	641,61	769,07	77,61	254,10	0,58	0,62	0,38	**0,25**
Стандартное отклонение		209,70	73,79	1,06	852,66	37,10	85,05	336,02	1447,08	946,39	194,14	351,99	0,34	0,52	0,24	**0,45**
Суммарные данные		**10655,3**	**2051,0**	**69,2**	**67015,8**	**1626,8**	**3583,7**	**23884,3**	**57744,8**	**769,07***	**6984,55**	**22868,7**	**52,36**	**55,78**	**33,86**	**22,44**
Номер технологии ***m***	Количество хранилищ НСО	*Суммарные данные по технологиям*														
2	5	188,34	0	8,24	2543,6	1,7	23,5	1492,9	8418,7	205,88*	1659,56	1672,9	2,83	3,06	1,81	**1,226**
8	2	957,56	0	1,42	299,1	0	0	132,5	31,9	39,50*	1546,67	141,4	1,03	0,78	1,92	**0,786**
11	19	5699,40	2020,60	4,34	13855,2	0	13,9	7284,1	30628,8	1439,1*	188,63	2319,2	10,85	14,31	3,94	**6,673**
12	21	1704,08	18,78	18,01	14461,8	285,6	131,5	4043,7	9247,2	362,8*	180,81	4140,5	12,78	6,18	6,17	**4,778**
13	35	1870,84	10,07	26,86	30495,4	1171,7	2904,4	9146,1	8346,9	888,5*	1102,55	12412,6	19,39	26,33	16,05	**7,956**
14	8	235,04	1,54	10,28	5360,7	167,8	510,6	1785,1	1071,3	256,13*	2306,33	2182,1	5,47	5,11	3,97	**1,024**

* - представлены средние данные по параметру.

Таблица 4.9 – Результаты решения задачи оптимизации КП НСО по базовому критерию максимальной комплексной эффективности с учётом постоянного эффекта масштаба

		Параметры переработки											**Оценки эффективности по критериям**				
Наименование параметра		Длительность переработки, [ч]	Масса реагентов, [т]	Расход топлива (энергии), [т]	Выбросы парниковых газов, [т]	Выбросы сернистого ангидрида, [т]	Выбросы в атмосферу сажи, [т]	Масса образовавшейся золы, [т]	Масса образовавшейся загрязненной воды, [т]	Удельные энергетические затраты на доставку, [руб./т]	Длительность доставки отходов или технологий, [ч]	Масса полезных продуктов рециклинга (углеводороды), [т]	Ресурсная ценность НСО	Ресурсный потенциал	Экологическая безопасность	Ресурсо- и энергоэффективность	**Комплексная эффективность**
Обозначение в задачах многофакторного анализа (глава 3)		x_{1p}^{2}	x_{2p}^{2}	x_{3p}^{2}	x_{1p}^{3}	x_{2p}^{3}	x_{3p}^{3}	x_{4p}^{3}	x_{5p}^{3}	x_{1p}^{4}	x_{2p}^{4}	y_{1p}^{2}	SR_{n}^{1}	SCP_{p}^{2}	SCE_{p}^{3}	$SCN_{p}^{4\{I\}}$	$SCK_{p}^{5\{I\}}$
Статистические данные																	
Минимальное значение		12,68	0	0,01	0,14	34,66	0	0	17,76	10,09	2,83	6,40	0,181	0,117	0,104	0,082	**0,103**
Максимальное значение		20363	584,83	30,29	1,34	4186,46	44,37	113,09	2571,09	7502,81	1508,13	1734,73	2,483	1,169	1	2,077	**2,371**
Среднее значение		457,30	44,68	1,29	0,50	684,23	5,42	8,76	265,38	1381,34	35,67	169,03	0,582	0,461	0,263	0,4	**0,477**
Стандартное отклонение		2205,33	77,39	4,06	0,21	604,25	9,84	20,94	336,02	1495,05	165,19	218,27	0,341	0,192	0,200	0,290	**0,360**
Суммарные данные		**41157**	**4021,3**	**116,2**	**61580,4**	**488,2**	**788,2**	**23884,3**	**71585,9**	**1381,3***	**3210,4**	**15213,1**	**52,36**	**41,52**	**23,701**	**35,998**	**42,975**
Номер технологии ***m***	Количество хранилищ НСО	*Суммарные данные по технологиям*															
1	5	693	171,9	51,6	2842,4	1,5	26,2	991,5	8104,8	326,9*	43,0	1771,0	4,666	0,744	2,6	1,446	**3,511**
3	1	5459,7	0	1,4	131,6	0	1,3	144,9	1196,9	14,8*	71,1	281,3	0,791	0,420	0,916	1,312	**2,371**
8	3	22041,7	0	32,8	4377,3	0	0	2763,5	1378,3	28,3*	2021,5	2069,3	3,386	0,986	2,776	2,600	**3,725**
11	51	10944,9	3829,3	8,2	33511,1	0,02	33,51	14214,7	50649,4	2176,7*	712,4	4404,8	24,668	27,446	8,603	19,283	**20,883**
12	20	1666,1	18,4	17,7	14464,2	276,44	131,50	4003,49	8916,47	380,8*	177,5	4141,2	12,376	5,249	4,937	6,543	**7,657**
13	10	351,6	1,7	4,5	6253,8	210,24	595,60	1766,23	1340,04	396*	185	2545,6	6,477	6,675	3,859	4,815	**4,827**

* - представлены средние данные по параметру.

Таблица 4.10 – Результаты решения задачи оптимизации КП НСО по базовому критерию максимальной комплексной эффективности с учётом переменного эффекта масштаба

		Параметры переработки											**Оценки эффективности по критериям**				
Наименование параметра		Длительность переработки, [ч]	Масса реагентов, [т]	Расход топлива (энергии), [т]	Выбросы парниковых газов, [т]	Выбросы сернистого ангидрида, [т]	Выбросы в атмосферу сажи, [т]	Масса образовавшейся золы, [т]	Масса образовавшейся загрязненной воды, [т]	Удельные энергетические затраты на доставку, [руб./т]	Длительность доставки отходов или технологий, [ч]	Масса полезных продуктов рециклинга (углеводороды), [т]	Ресурсная ценность НСО	Ресурсный потенциал	Экологическая безопасность	Ресурсо- и энергоэффективность	**Комплексная эффективность**
Обозначение в задачах многофакторного анализа (глава 3)		x_{1p}^{2}	x_{2p}^{2}	x_{3p}^{2}	x_{1p}^{3}	x_{2p}^{3}	x_{3p}^{3}	x_{4p}^{3}	x_{5p}^{3}	x_{1p}^{4}	x_{2p}^{4}	y_{1p}^{2}	SR_{n}^{1}	SBP_{p}^{2}	SBE_{p}^{3}	$SCN_{p}^{4\{II\}}$	$SCK_{p}^{5\{II\}}$
Статистические данные																	
Минимальное значение		3,52	0	0,04	0,06	0	0	0	17,76	10,09	4,13	14,11	0,181	0,055	0,134	0,019	0,0233
Максимальное значение		16969,3	7636,20	19,00	4,44	4395,74	90,35	418,65	2571,09	7485,23	2445,07	1789,38	2,483	4,444	Макс.**	4,075	4,0754
Среднее значение		485,98	101,46	0,99	0,59	652,17	14,02	32,12	265,38	779,85	104,08	229,14	0,582	0,589	-	0,240	0,2637
Стандартное отклонение		2278,44	804,31	2,30	0,49	529,63	15,58	52,77	336,02	961,32	315,82	223,33	0,341	0,488	-	0,451	0,4676
Суммарные данные		**43738,5**	**9131,5**	**89,0**	**58695,0**	**1262,0**	**2890,8**	**23884,3**	**63890,5**	**779,9***	**9367,5**	**20622,8**	**52,36**	**53,01**	**-**	**21,566**	**23,738**
Номер технологии ***m***	Количество хранилищ НСО	*Суммарные данные по технологиям*															
2	5	188,3	0	8,2	2543,6	1,7	23,5	1492,9	8418,7	205,9*	1659,6	1672,9	2,835	3,059	1,811	1,226	1,228
3	1	5459,7	0	1,4	131,6	0	1,3	144,9	1196,9	14,8*	71,1	281,3	0,791	0,420	0,926	1,126	1,294
8	3	13732	0	20,4	1167,2	0	0,0	1902,8	1192,4	30,8*	3991,7	551,8	1,268	0,835	2,514	0,853	1,325
10	1	16969,3	7636,2	11,1	0	0	0,0	2571,1	18027,4	477,0*	60,9	864,9	0,328	0,109	Макс.	0,019	1,258
11	19	4194	1469,2	3,2	12463,8	0	12,5	5720,3	19247,3	1503,6*	195,3	1656,6	10,918	14,048	3,720	6,564	6,682
12	20	1626,2	17,9	17,2	13738,0	271,7	124,9	3898,8	8813,8	380,2*	177,4	3933,2	11,992	5,910	5,875	3,650	3,767
13	34	1352,2	6,7	18,0	23487,4	836,7	2236,9	6575,0	5977,5	900,1*	1082,3	9560,3	19,060	23,857	15,045	7,165	7,206
14	7	216,8	1,4	9,5	5163,3	151,8	491,7	1578,5	1016,5	256,9*	2129,2	2101,8	5,172	4,776	3,706	0,964	0,979

* - представлены средние данные по параметру.

** - «Макс.» означает, что объект сравнения останется эффективным при любом изменении входных параметров в соответствующей ЗМП.

Таблица 4.11 – Сравнительный анализ параметров КП НСО по критерию максимальной комплексной эффективности

Наименование параметра	**Суммарное значение параметра**		**Отклонение**	
	Оптимальная последовательность с учётом постоянного эффекта масштаба (Таблица 4.9)	**Оптимальная последовательность с учётом переменного эффекта масштаба (Таблица 4.10)**	**абсолютные ед.**	**%**
Длительность переработки, [ч]	41156.97	43738.46	-2581.49	-6.27
Масса реагентов, [т]	4021.27	9131.53	-5110.26	-127.08
Расход топлива (энергии), [т]	116.17	89.02	27.15	23.37
Выбросы парниковых газов, [т]	61580.38	58695.01	2885.37	4.69
Выбросы сернистого ангидрида, [т]	488.19	1261.97	-773.78	-158.50
Выбросы в атмосферу сажи, [т]	788.16	2890.82	-2102.66	-266.78
Масса образовавшейся золы, [т]	23884.26	23884.26	0	0
Масса образовавшейся загрязненной воды, [т]	71585.88	63890.50	7695.38	10.75
Удельные энергетические затраты на доставку, [руб./т]	1381.34	779.85	601.48	43.54
Длительность доставки отходов или технологий, [ч]	3210.40	9367.53	-6157.13	-191.79
Масса полезных продуктов рециклинга (углеводороды), [т]	**15213.15**	**20622.78**	**5409.63**	**35.56**

Сформулирована и решена задача многокритериальной оптимизации для КП НСО, включающего N=16 хранилищ НСО и M=5 технологических установок, по базовому критерию максимальной комплексной эффективности $W_{nm}^{4} = SCK_{nm}^{5\{I\}}$ в (4.6) и дополнительному критерию быстродействия (4.19) с учётом дополнительного ограничения (4.11) на максимальное суммарное время работы всех технологических установок ($\tilde{B} = 13500$ ч.) совместно с ограничениями (4.10) на максимальные длительности работы каждой $m = \overline{1,5}$ технологической установки ($b_1 = 2700$ ч., $b_2 = 850$ ч., $b_3 = 15000$ ч., $b_4 = 12500$ ч., $b_5 = 2700$ ч.).

В результате решения задач многокритериальной оптимизации получено Парето-оптимальное множество, включающее $\tilde{\Theta} = 75$ решений представленных на плоскости «комплексная эффективность α - длительность переработки β_{Σ}» (Рисунок 4.28)

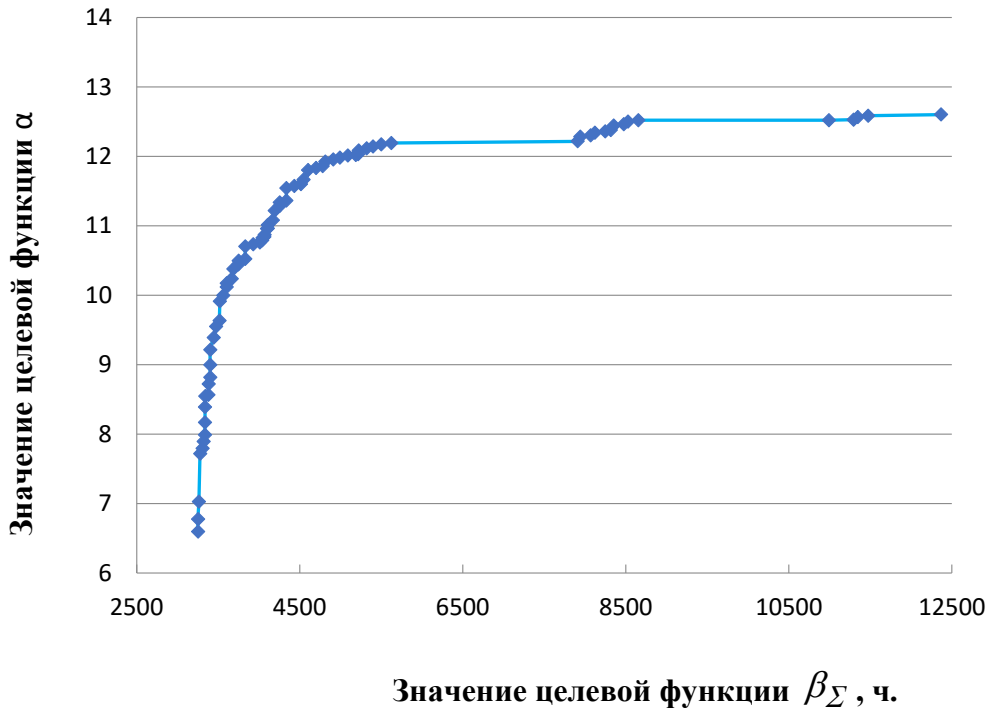


Рисунок 4.28 - Зависимость комплексной эффективности α от длительности переработки β_{Σ} в задаче оптимизации КП НСО

Анализ результатов решения показывает, что с уменьшением суммарной длительности работы системы β_{Σ} (4.19) нелинейно снижается максимальная комплексная эффективность переработки α (4.6).

Выбор единственного решения из Парето-оптимального множества является нетривиальной задачей, решение которой представляет дополнительные вычислительные трудности и часто сопровождается влиянием субъективных факторов. Поскольку в диссертации множество Парето включает достаточно ограниченное число решений, для их анализа предлагается оригинальный подход, основанный на использовании дополнительных оценок эффективности оптимальных решений. Для получения этих оценок формулируется дополнительная ЗМП, аналогичная (3.6)-(3.7), в которой объектами сравнения являются решения входящие в множество Парето $\tilde{\Theta}$, каждое из которых характеризуется комбинацией «комплексная эффективность α - длительность переработки β_{Σ}»:

$$WM_{\theta} = w_{1\theta} y_{1\theta} \to \max_{\bar{W},H} \tag{4.26}$$

при условиях

$$h_{1\theta} x_{1\theta} = 1,\ w_{1\nu} y_{1\nu} - h_{1\nu} x_{1\nu} \le 0, h_{1\nu} \ge 0, w_{1\nu} \ge 0, \nu = \overline{1,\tilde{\Theta}},\ \theta = \overline{1,\tilde{\Theta}}, \tag{4.27}$$

где $WM_{\theta} = WM_{\nu}$ - оценки эффективности ν-ой комбинации; $\theta = \overline{1,\tilde{\Theta}}$ – индекс целевого объекта сравнения из Парето-множества $\tilde{\Theta}$ комбинаций, эффективность которого оценивается; $x_{1\theta}$ – минимальная длительность переработки β_{Σ} для целевой комбинации в анализируемой системе, при уменьшении значения которой оценка эффективности WM_{ν}, $\nu = \overline{1,\tilde{\Theta}}$ увеличивается; $y_{1\theta}$ – максимальная комплексная эффективность α для целевой комбинации в анализируемой системе, при увеличении значения которой оценка эффективности WM_{ν}, $\nu = \overline{1,\tilde{\Theta}}$ увеличивается; $H_{\nu} = \left(h_{1\nu}\right)$ и

$\bar{W} = (w_{1v})$ – весовые коэффициенты для входных $x_{1\theta}$ и выходных $y_{1\theta}$ параметров, соответственно.

В результате решения ЗМП (4.26)-(4.27) получены оценки WM_v, $v = \overline{1,75}$ эффективности оптимальных решений задачи многокритериальной оптимизации КП НСО (Рисунок 4.29), в ходе ранжирования которых определена наилучшая комбинация с максимальной оценкой $WM_{54} = 1$ в анализируемой группе при $x_{1\theta} = 3603{,}18$ ч. и $y_{1\theta} = 10{,}17$.

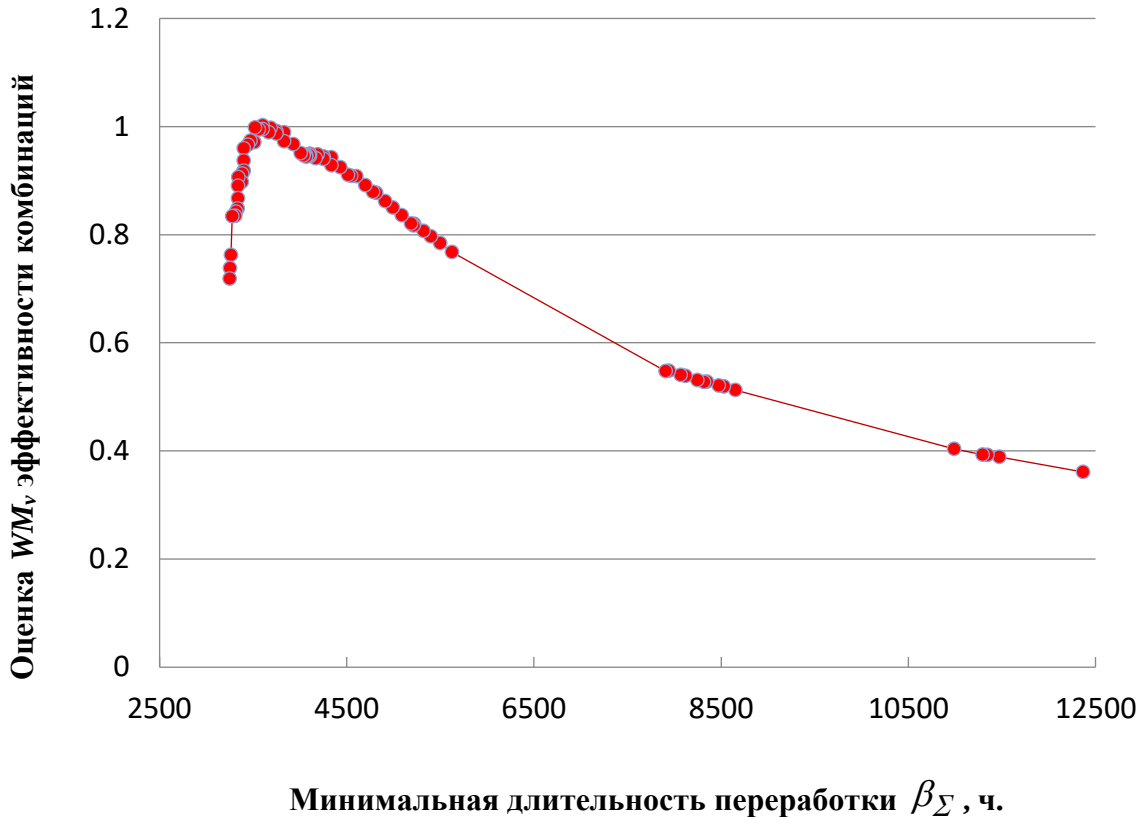


Рисунок 4.29 - Зависимость оценки WM_v эффективности комбинации множества Парето от минимальной длительности переработки β_Σ в задаче оптимизации КП НСО

4.5 Методика определения оценок эффективности на основе искусственных нейронных сетей

Для упрощения вычислительных процедур решения задач многофакторного анализа в диссертации предлагается методика определения

оценок эффективности систем переработки НСО нефтегазовой промышленности с использованием ИНС типа персептрона (Рисунок 4.30). Построение, обучение и тестирование ИНС проводится с использованием находящегося в открытом доступе программного обеспечения Neuroph Studio - фреймворка Java [170].

Рисунок 4.30 – Методика определения оценок эффективности КП НСО на основе ИНС

Методика включает 5 последовательных этапов, которые могут повторяться в случае неудовлетворительных результатов точности определения оценок эффективности:

1) Выбор входных и выходных данных для построения ИНС. В качестве входных данных для построения ИНС рассматриваются входные и выходные параметры проблемно-ориентированных моделей для определения оценок эффективности КП НСО (раздел 3.3), а выходами являются оценки

эффективности объектов системы (рисунок 3.2), полученные в результате решения задач многофакторного анализа, описанных в главе 3.

2) Разработка архитектуры ИНС включает задание количества внутренних слоёв и нейронов, функции активации нейронов.

3) Обучение и тестирование ИНС осуществляется на специальных выборках данных, сформированных по полученным результатам решения задач многофакторного анализа. Обучение проводится методом обратного распространения ошибки (backpropagation) [171].

4) Анализ точности определения оценок эффективности проводится по значениям среднеквадратичных ошибок, средних и максимальных абсолютных и относительных ошибок.

5) Использование ИНС в экспертной системе КП НСО для расчёта оценок эффективности осуществляется при условии соответствия принятым требованиям к качеству определения оценок.

Проведена апробация разработанной методики на примере трех ИНС, предназначенных для определения оценки ресурсной ценности НСО (раздел 3.3.1) в хранилищах с разным количеством слоев и нейронов:

- ИНС №1 - 6 входных параметров, 1 выходной параметр, 2 внутренних слоя (слой 1 – 7 нейронов, слой 2 – 15 нейронов) (Рисунок 4.31);
- ИНС №2 - 6 входных параметров, 1 выходной параметр, 2 внутренних слоя (слой 1 – 7 нейронов, слой 2 – 30 нейронов);
- ИНС №3 - 6 входных параметров, 1 выходной параметр, 4 внутренних слоя (слой 1 – 7 нейронов, слой 2 – 31 нейрон, слой 3 – 34 нейрона, слой 4 – 31 нейрон).

Нейросети имеют следующие входные параметры: массовое содержание асфальтенов и смол, массовое содержание воды, массовое содержание серы, массовое содержание минеральной части и механических примесей, массовое содержание ценных углеводородов, отношение массы ценных углеводородов к массе остальных компонентов НСО. Выходным параметром является значение

ресурсной ценности НСО в хранилищах.

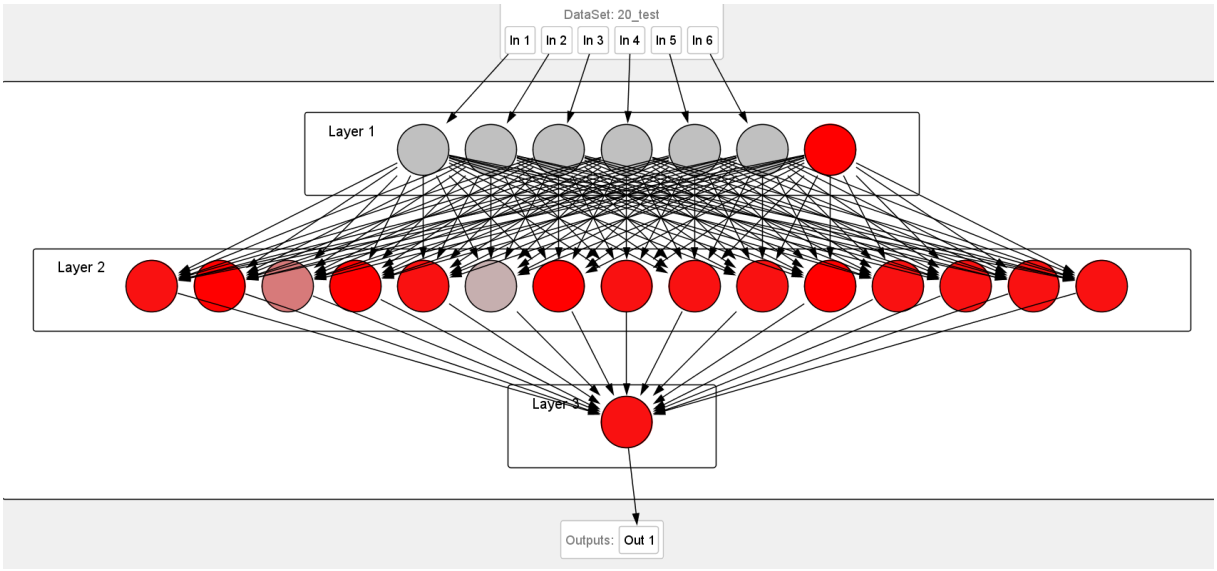


Рисунок 4.31 - Структура ИНС №1 для оценки ресурсной ценности хранилищ НСО в пакете Neuroph Studio

Для сравнительной оценки точности определения оценок используются расчетное значение величины среднеквадратичной ошибки (MSE):

$$MSE = \frac{1}{\tilde{N}} \sum_{n=1}^{\tilde{N}} \left(SR_n^1 - SR_n^1 \right)^2 , \tag{4.29}$$

и значения максимальной абсолютной (MAXAE) и максимальной относительной (MAXRE) ошибок, определяемых следующим образом:

$$MAXAE = \max_{n=\{1,\tilde{N}\}} \left| SR_n^1 - SR_n^1 \right|, \tag{4.29}$$

$$MAXRE = \max_{n=\{1,\tilde{N}\}} \left| SR_n^1 - SR_n^1 \right| \Big/ SR_n^1 , \tag{4.30}$$

а также значения величин средней абсолютной (MAE) и средней относительно ошибок (MRE):

$$MAE = \frac{1}{\tilde{N}} \sum_{n=1}^{\tilde{N}} \left| SR_n^1 - SR_n^1 \right|, \tag{4.31}$$

$$MRE = \frac{1}{\tilde{N}} \sum_{n=1}^{\tilde{N}} \left| SR_n^1 - SR_n^1 \right| \Big/ SR_n^1 , \qquad (4.32)$$

где SR_n^1 - значение ресурсной ценности НСО, определенное нейронной сетью, SR_n^1 - модельное значение ресурсной ценности НСО, полученное на основе метода DEA (раздел 3.3.1), $\tilde{N}$ – количество хранилищ в тестовом наборе данных.

Значения SR_n^1 и SR_n^1 для тестового набора данных ($\tilde{N}$ =*20*), выбираемых из *N*=90 оценок ресурсной ценности хранилищ НСО (Рисунок 3.12), рассчитанных в разделе 3.5, приведены в Таблице 4.12. Соответствующие значения сравнительных показателей качества (4.28)-(4.32) представлены в Таблице 4.13.

Таблица 4.12 - Модельные (полученные методом DEA) и определенные нейросетью значения ресурсной ценности НСО для тестового набора данных

Номер хранилища НСО $n = \overline{1,20}$	ИНС №1		ИНС №2		ИНС №3	
	SR_n^1	SR_n^1	SR_n^1	SR_n^1	SR_n^1	SR_n^1
10	0.291	0.300	0.295	0.300	0.301	0.300
12	0.730	0.731	0.565	0.731	0.701	0.731
….	…	…	…	…	…	…
37	0.268	0.292	0.247	0.292	0.302	0.292
42	0.536	0.527	0.532	0.527	0.548	0.527
53	0.439	0.490	0.538	0.490	0.533	0.490
….	…	…	…	…	…	…
88	0.661	0.648	0.524	0.648	0.644	0.648
90	0.998	1.000	0.999	1.000	0.995	1.000

Анализ влияния структуры показал, что увеличение количества слоев ИНС позволило повысить точность определения оценки ресурсной ценности НСО в хранилищах: снизить среднюю абсолютную ошибку с 0,056 до 0,029; снизить среднюю относительную ошибку с 9,2% до 5,7%; снизить

максимальную абсолютную ошибку с 0,279 до 0,105; снизить максимальную относительную ошибку с 39,6% до 26,0%.

Таблица 4.13 - Результаты сравнительной оценки нейросетей

Показатель качества ИНС	ИНС №1	ИНС №2	ИНС №3
MAE	0.056	0.067	0.029
MRE, %	9.2	10.7	5.7
MSE	0.00814	0.00859	0.00149
MAXAE	0.279	0.222	0.105
MAXRE, %	39.6	31.5	26.0

Предложенная методика определения оценок эффективности комплекса переработки НСО на основе ИНС является универсальной в рамках разработанного подхода и может быть распространена на получение оценок ресурсного потенциала, экологической безопасности, ресурсо- и энергоэффективности, комплексной эффективности комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» в рамках функционирования экспертной системы КП НСО в нефтегазовой промышленности (глава 5).

4.6 Выводы по четвертой главе

1. Представлена постановка задачи оптимизации КП НСО, в которой оценки эффективности, полученные после решения задач многофакторного анализа, составляют основу для формирования целевой функции и формулировки целочисленной задачи линейного программирования. Определены состав исходных данных и сформированы базовые и возможные дополнительные ограничения, а также дополнительные критерии оптимизации для многокритериальной постановки задачи оптимизации.

2. Разработан алгоритм решения задачи оптимизации КП НСО для получения оптимальных последовательностей переработки НСО в хранилищах по разнородным и комплексным критериям эффективности с учётом оперативных и стратегических управленческих решений.

3. Представлены информационная структура, описание основных модулей, процедур и визуальных форм, методическое руководство для разработанного специализированного программного обеспечения, предназначенного для апробации и реализации методик системного анализа, алгоритмов анализа качества данных, многофакторного анализа и оптимизации КП НСО.

4. Проведена апробация алгоритма решения задач оптимизации на примере КП НСО, включающего 90 хранилищ НСО и 14 технологических установок. Сформулированы и решены задачи оптимизации по критерию максимальной комплексной эффективности с учётом постоянного и переменного эффектов масштаба, в результате чего сформированы две оптимальные последовательности переработки НСО в хранилищах, которые позволяют принимать оперативные и стратегические управленческие решения. Анализ полученных результатов показал, что наибольшую массу полезных продуктов можно получить, используя стратегический подход к управлению системой комплексной переработки НСО с переменным эффектом масштаба 20622,8 т. против 15213,1 т. в операционном подходе с постоянным эффектом масштаба.

5. Сформулирована и решена задача многокритериальной оптимизации по базовому критерию максимальной комплексной эффективности и дополнительному критерию быстродействия на примере КП НСО, включающего 16 хранилищ НСО и 5 технологических установок. Предложен и реализован оригинальный подход к выбору единственного решения из полученного Парето множества, который основан на использовании дополнительных оценок эффективности оптимальных решений. В результате решения задачи многокритериальной оптимизации определена наилучшая последовательность комбинаций «хранилище НСО – технология переработки», обеспечивающая минимальное время переработки отходов (3603,18 ч) при максимальной суммарной комплексной эффективности (10,17).

6. Представлено описание методики определения оценок эффективности на основе искусственных нейронных сетей, которая позволяет упростить вычислительные процедуры решения задач многофакторного анализа и использовать получаемые оценки эффективности в экспертной системе поддержки принятия решений. Методика апробирована на примере определения оценок ресурсной ценности НСО в хранилищах для ИНС с различной архитектурой. Наилучшие результаты получены для ИНС, которая обеспечивает среднюю относительную ошибку (5,7%) и максимальную относительную ошибку (26,0%).

5 Выбор и принятие управленческих решений в сложно-структурированном комплексе переработки нефтесодержащих отходов

В данной главе представлен разработанный алгоритм выбора и принятия управленческих решений в сложно-структурированной системе переработки НСО, который в отличие от известных позволяет всесторонне анализировать оперативную ситуацию, прогнозировать последствия различных управленческих действий и выбирать оптимальные стратегии управления на основе комплексной оценки текущего состояния производственных процессов и доступных ресурсов. Описывается предложенная архитектура экспертной системы (ЭС) в общем виде по управлению КП НСО в нефтегазовой промышленности, проводится технико-экономическое обоснование результатов решения задач оптимизации. Приводятся рекомендации по практическому использованию полученных результатов в промышленности. Предлагаемые и рассмотренные в главе подходы представлены в работах [9; 18; 19].

5.1 Алгоритм выбора и принятия управленческих решений

Для повышения эффективности управления КП НСО в нефтегазовой промышленности на оперативном и стратегическом уровнях разработан алгоритм выбора и принятия решений, включающий три этапа (Рисунки 5.1, 5.2).

На первом этапе осуществляется сбор и подготовка исходной информации, содержащейся в базах данных хранилищ НСО, технологий переработки и результатов многофакторного анализа (Рисунок 5.1).

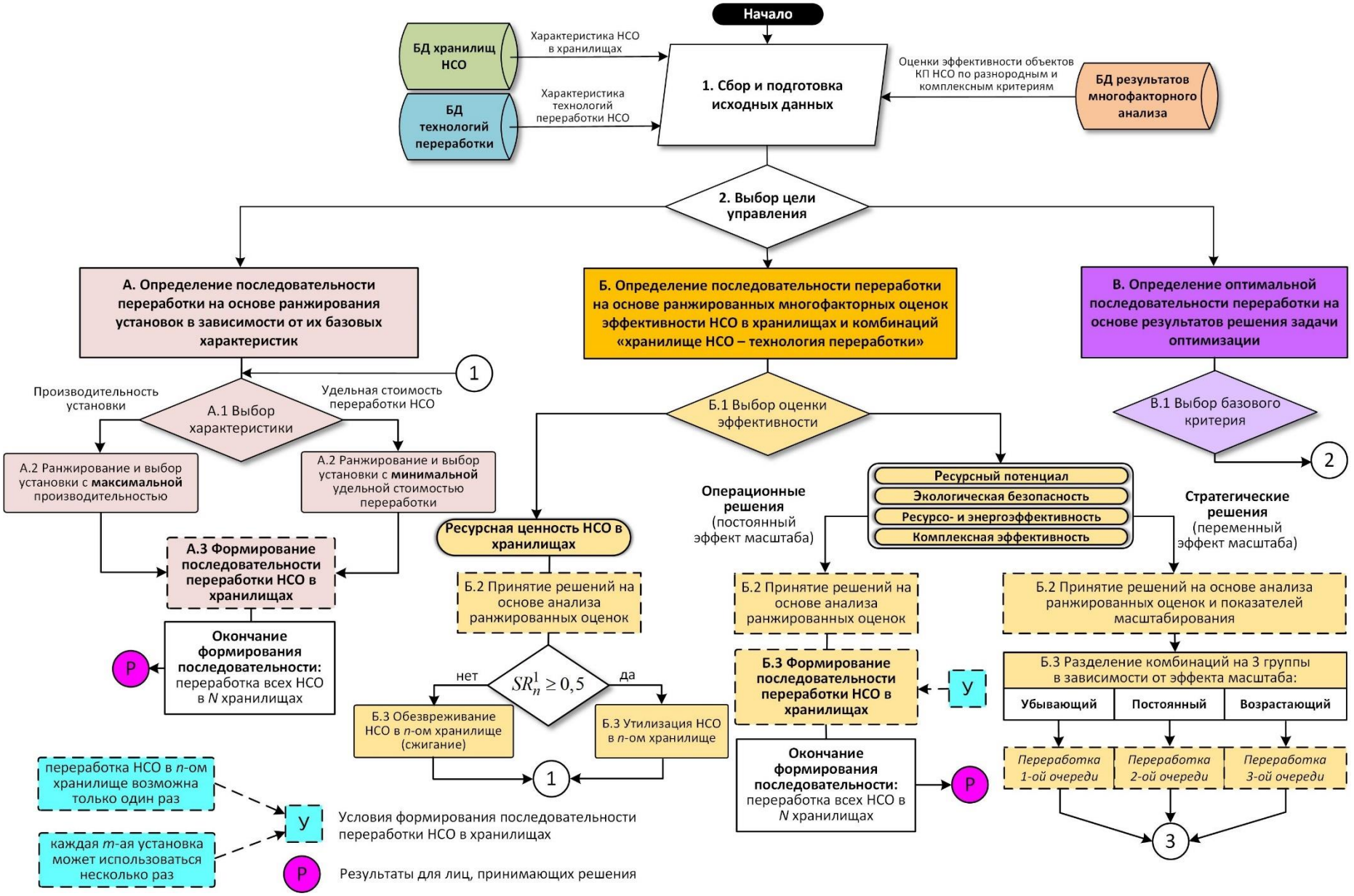


Рисунок 5.1 -Алгоритм выбора и принятия управленческих решений в КП НСО

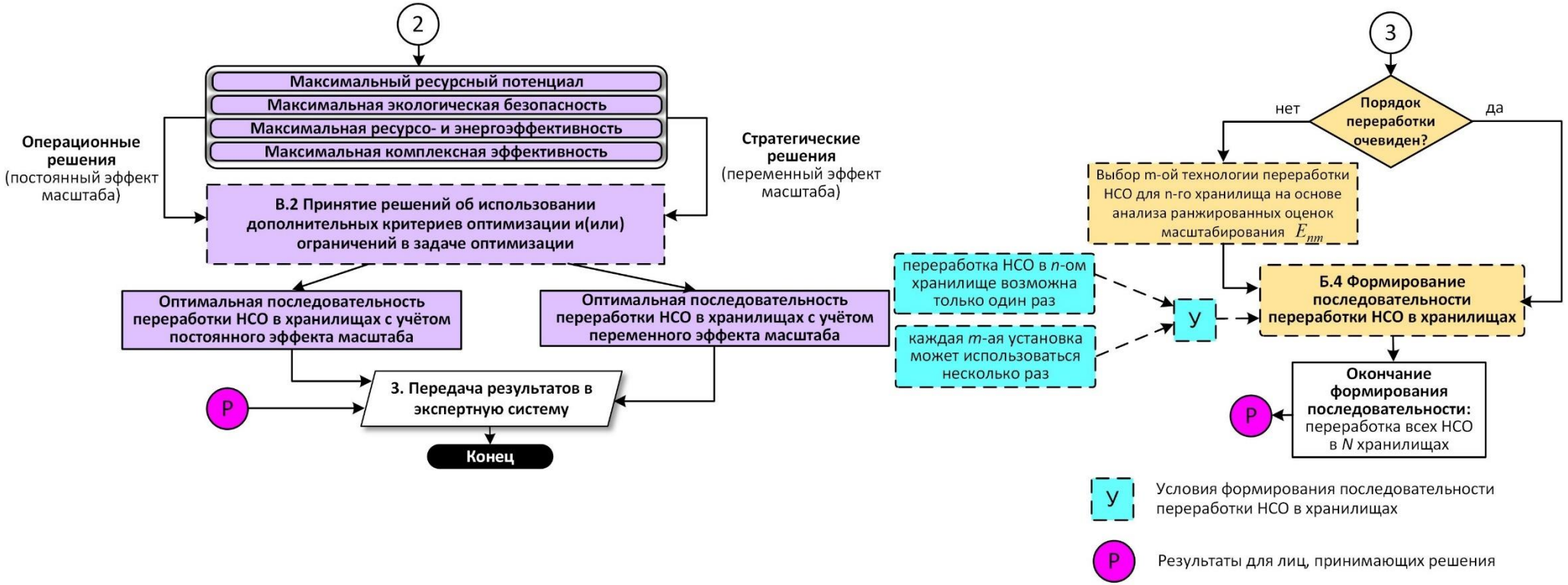


Рисунок 5.2 -Алгоритм выбора и принятия управленческих решений в КП НСО (продолжение)

На втором этапе осуществляется выбор одной из трёх целей управления последовательностью переработки в КП НСО, что приводит к выполнению алгоритма по одной из трёх его ветвей (**А**, **Б** или **В**), каждая из которых включает определенное количество шагов выбора и принятия решений.

А. ***Определение последовательности переработки на основе ранжирования установок в зависимости от их базовых характеристик.***

На шаге А.1 осуществляется выбор характеристики технологической установки КП НСО, которая принимается за базовую при расчёте: производительность установок или удельная стоимость переработки (включая расходы на топливо (энергии), заработную плату, реагенты, доставку установок или отходов). Информация для выполнения шага А.1 извлекается из баз данных хранилищ НСО и технологий переработки.

На шаге А.2 осуществляется ранжирование установок по выбранной характеристике, в результате чего осуществляется выбор установки с максимальной производительностью или минимальной стоимостью переработки. Оба варианта принятия решений предполагают последовательную переработку НСО во всех хранилищах на основе одной выбранной технологии. В этом случае общий объем полезных продуктов рециклинга и общее время переработки НСО не зависят от того, в каком порядке перерабатываются отходы из хранилищ.

На шаге А.3 последовательность переработки НСО в хранилищах определяется на основе логистических факторов; информация о сформированной последовательности передается лицу, принимающему решение (ЛПР).

Б. ***Определение последовательности переработки на основе ранжированных многофакторных оценок эффективности НСО в хранилищах и комбинаций «хранилище НСО – технология переработки».***

На шаге Б.1 осуществляется выбор одной из оценок эффективности для принятия решений, определяемой по результатам решения задач многофакторного анализа по разнородным и комплексным критериям (раздел 3.3).

На шаге Б.2 в зависимости от выбранной оценки на предыдущем шаге осуществляется принятие решения по результатам ранжирования хранилищ НСО или комбинаций «хранилище НСО – технология переработки».

Принятие решений на основе ранжирования хранилищ НСО в соответствии с оценками SR_n^1 их ресурсной ценности (**левая часть** ветви **Б**) зависит от заданного предельного значения оценки (Рисунок 3.12). Если $SR_n^1 \geq 0{,}5$, то НСО в *n*-ом хранилище необходимо переработать с помощью наименее затратной технологии (шаг Б.3 на рисунке 5.1). При $SR_n^1 < 0{,}5$ необходимо использовать технологию переработки, обеспечивающую наиболее высокую производительность и малые временные затраты (шаг Б.3 на рисунке 5.1). В этом случае после шага Б.3 осуществляется переход к шагу А.1 и далее принятие решений по ветке **А** алгоритма.

Принятие решений на основе ранжирования комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» в соответствии с оценками ресурсного потенциала, экологической безопасности, ресурсо- и энергоэффективности и комплексной эффективности осуществляется в зависимости от выбранной стратегии управления переработкой отходами в системе. Операционные решения (схема **I** на Рисунке 3.8), основанные на ранжировании оценок эффективности с постоянным эффектом масштаба (Рисунки 3.13–3.16), принимаются в случае необходимости оперативной переработки отходов в хранилищах (**центральная часть** ветви **Б**). В этом случае алгоритм выполняется до шага Б.3, на котором формируется последовательность переработки НСО в хранилищах, и эта информация далее передается ЛПР. Стратегические решения (схема **II** на Рисунке 3.8), основанные на ранжировании оценок эффективности с переменным эффектом масштаба (Рисунки 3.17–3.20), принимаются в случае необходимости увеличения объема извлекаемых полезных углеводородов (**правая часть** ветви **Б**). На шаге Б.3 комбинации «хранилище НСО – технология переработки» разделяются на 3 группы в зависимости от эффекта масштаба (постоянный, убывающий или возрастающий), тем самым формируются три возможные очередности переработки. В случае, если

очередность по ранжированию оценок эффективности является неочевидной (Рисунок 5.2), то рассматривается дополнительное ранжирование оценок масштабирования E_{nm}, $n=\overline{1,N}$, $m=\overline{1,M}$, определяемых по формуле (3.20) с учётом правила сопоставления индексов (3.15). На последнем шаге Б.4 формируется последовательность переработки НСО в хранилищах, и эта информация далее передается ЛПР.

Для обеих стратегий (центральная и правая часть ветви **Б**) последовательность переработки отходов в хранилищах устанавливается при следующих условиях: переработка НСО в *n*-ом хранилище производится один раз, каждая *m*-ая технология может быть использована несколько раз.

В. ***Определение оптимальной последовательности переработки на основе результатов решения задачи оптимизации*****.**

Шаги по ветви **В** алгоритма аналогичны этапам в алгоритме оптимизации (Рисунки 4.1, 4.2) в части принятия решений: на шаге В.1 в зависимости от типа управленческих решений (этап 3 на рисунке 4.1) осуществляется выбор базового критерия оптимизации (этап 4 на рисунке 4.1); на шаге В.2 принимаются решения об использовании дополнительных критериев оптимизации (этап 5 на рисунке 4.1), базовых (этап 6 на рисунке 4.2) и дополнительных ограничений (этап 7 на рисунке 4.2). В результате решения соответствующих оптимизационных задач формируются оптимальные последовательности переработки НСО в хранилищах, информация о которых передается ЛПР с помощью ЭС (раздел 5.2) на третьем этапе алгоритма (Рисунок 5.2).

5.2 Экспертная система поддержки принятия решений

На основе предлагаемых в диссертации подходов и полученных результатов, разработана архитектура ЭС в общем виде по управлению КП НСО нефтегазовой промышленности, основу которой составляют разработанные: методика определения оценок эффективности с использованием ИНС (раздел 4.5, Рисунок 4.30), алгоритмы и процедуры оптимизации (разделы 4.2, 4.3, Рисунки 4.1, 4.2),

алгоритм выбора и принятия управленческих решений (раздел 5.1, Рисунки 5.1, 5.2).

ЭС включает четыре программно-алгоритмических модуля (Рисунок 5.3): базу знаний НСО и технологий их переработки (Модуль 1), модуль многофакторного анализа и оптимизации КП НСО (Модуль 2), систему информационной поддержки принятия управленческих решений (Модуль 3) и интерфейс пользователя ЭС (Модуль 4).

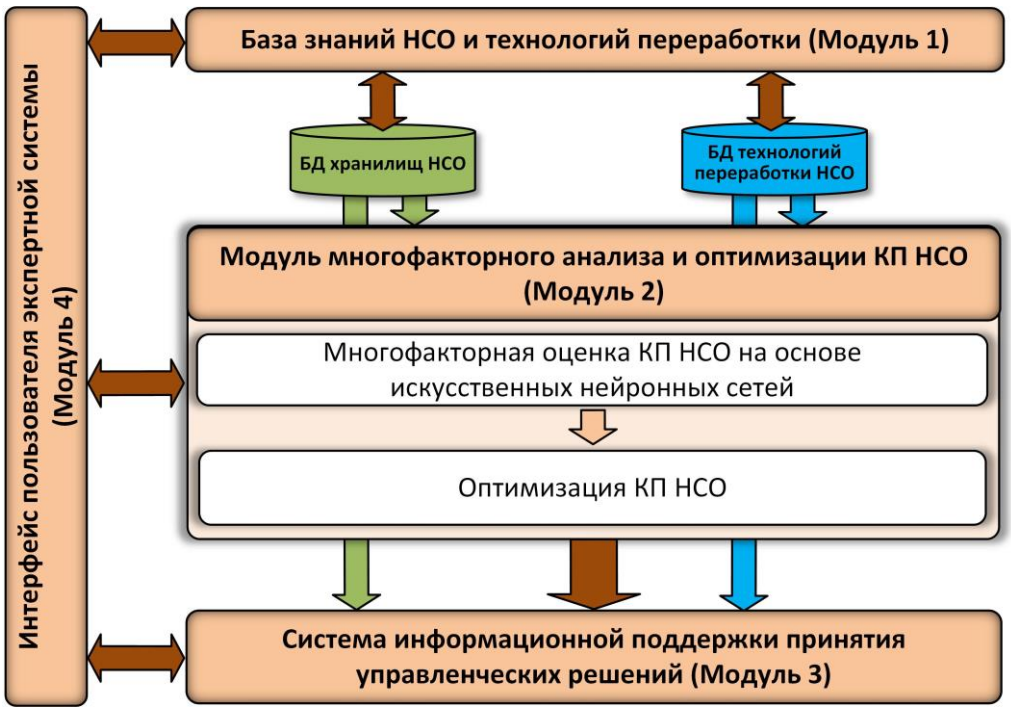


Рисунок 5.3 - Информационная модель ЭС КП НСО

База знаний интегрирована в ЭС, которая реализует модель поведения экспертов в заданной области знаний, построенную с использованием процедур логического вывода и принятия решений на основе запросов на естественном языке. База знаний включает наиболее полную информацию о содержащихся и возможных НСО в системе, о технологических установках, технологиях переработки, утилизации и обезвреживания, правила обращения с отходами и использования технологических установок, различные справочники, сценарии действий пользователя ЭС в зависимости от выбранной цели управления КП НСО (Рисунки 5.1, 5.2) и т.п.

Получение многофакторных оценок эффективности функционирования КП НСО предлагается реализовать с помощью ИНС (Рисунок 4.30), подход к использованию которой описан в разделе 4.5.

Оптимизацию КП НСО в рамках ЭС предлагается проводить аналогично алгоритму оптимизации (Рисунки 4.1, 4.2), описанному в разделе 4.2, за исключением источника информации по многофакторным оценкам эффективности. Предполагается, что оценки эффективности объектов КП НСО будут определяться в ЭС на основе ИНС (раздел 4.5).

Основной целью разработки ЭС является создание эффективного инструмента, который должен помочь пользователям, не являющимся экспертами в рассматриваемой предметной области, принимать обоснованные решения при поиске оптимальных способов переработки НСО. Для достижения поставленной цели и решения соответствующих задач предусмотрена система информационной поддержки принятия управленческих решений, основным компонентом которой является разработанный алгоритм выбора и принятия управленческих решений (раздел 5.1, рисунки 5.1 и 5.2). Система включает механизм поиска и извлечения информации из базы знаний и баз данных хранилищ НСО и технологий переработки, а также пользовательский интерфейс - инструмент взаимодействия пользователя с ЭС.

5.3 Алгоритм технико-экономического обоснования результатов оптимизации

Разработан алгоритм (Рисунок 5.4), позволяющий провести технико-экономическое обоснование использования оптимальных комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» в КП НСО, полученных в результате решения оптимизационных задач (глава 4). Алгоритм включает следующие этапы:

1. Сбор и подготовка исходных данных осуществляется на основе информации из БД технологий переработки (раздел 2.3), БД хранилищ НСО (раздел 2.3) и результатов решения задач оптимизации, полученных из системы информационной поддержки принятия управленческих решений в составе ЭС (раздел 5.2).

2. Определяются векторы параметров $k^i_{nm_0}$ и $k^i_{nm_\mu}$, $i=\overline{1,11}$, $\mu=\overline{1,\Theta}$, $n=\overline{1,N}$, $m_0=\overline{1,M}$ $m_\mu=\overline{1,M}$ технологической переработки существующей и оптимальной последовательностей комбинаций «хранилище НСО – технология переработки», соответственно, где каждая μ-ая оптимальная последовательность является результатом решения оптимизационной задачи (Рисунки 4.1, 4.2). При этом общее количество оптимальных последовательностей Θ эквивалентно общему количеству решенных оптимизационных задач. Векторы $k^i_{nm_0}$ и $k^i_{nm_\mu}$ представляют наборы входных и выходных параметров *p*-ых комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» в ЗМП 2.1 – 5.4 (Глава 3), сформированных по правилу (3.15) сопоставления индексов *p*, *n* и *m*.

3. Значения параметров $c^i, i=1,...,9,11$ задаются в зависимости от текущей стоимости углеводородов, реагентов, моторного топлива или электрической энергии; стоимости трудозатрат; установленной платы за негативное воздействие на окружающую среду.

4. Стоимостной эффект технологической переработки НСО C_{nm_0} для существующей и C_{nm_μ} для оптимальной последовательностей комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» определяется как стоимость полезных продуктов рециклинга за вычетом всех затрат на переработку (Рисунок 5.4, этап 3).

5. Удельный стоимостной эффект технологической переработки НСО s_{nm_0} для существующей и s_{nm_μ} для оптимальной последовательностей комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» определяется как отношение стоимостного эффекта переработки к массе отходов в соответствующем *n*-ом хранилище, $n=\overline{1,N}$ (Рисунок 5.4, этап 4). Удельный стоимостной эффект технологической переработки НСО для *N* хранилищ в существующей последовательности комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» определяется по соотношению:

$$\overline{s}_{N\,m_0} = \frac{\sum_{n=1}^{N} s_{n\,m_0} \cdot Q_n}{\sum_{n=1}^{N} Q_n}. \qquad (5.1)$$

Аналогично (5.1) определяется удельный стоимостной эффект технологической переработки НСО $\overline{s}_{N\,m_\mu}$ для N хранилищ в μ-ой оптимальной последовательности комбинаций «хранилище НСО – технология переработки».

6. Эффективность технологической переработки НСО существующей и оптимальной последовательностей комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» определяется по формулам (Рисунок 5.4, этап 5) в абсолютных Δs_n и относительных δs_n единицах для каждого n-го хранилища НСО.

7. Средняя эффективность технологической переработки НСО в абсолютных $\overline{\Delta s}$ и относительных $\overline{\delta s}$ единицах определяется по соответствующим формулам (Рисунок 5.4, этап 6).

8. Анализируются рассчитанные показатели и принимается обоснованное решение о необходимости использования в программе комплексной переработки НСО μ-ой оптимальной последовательности.

При необходимости этапы с 2-го по 8-й алгоритма повторяются для последующих (μ+1)-ой оптимальной последовательности комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» со своим набором оптимизационных критериев и(или) ограничений в соответствующей задаче оптимизации (разделы 4.1 и 4.2).

9. Передача результатов технико-экономического обоснования в ЭС (раздел 5.2) осуществляется в случае, если эти результаты определены для всех необходимых оптимальных последовательностей переработки НСО в системе.

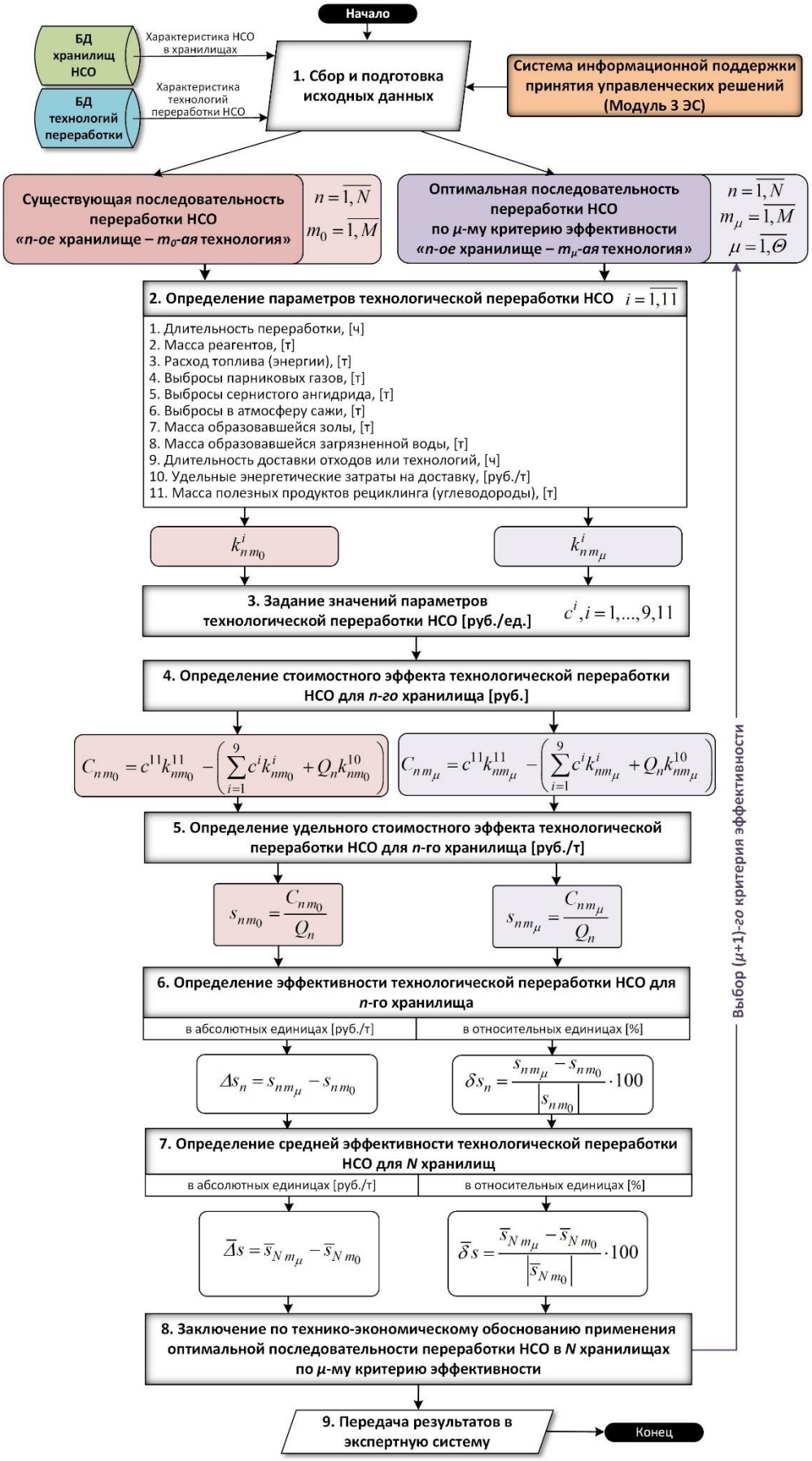


Рисунок 5.4 – Алгоритм технико-экономического обоснования предлагаемых оптимальных решений в КП НСО

Проведена апробация алгоритма технико-экономического обоснования для двух оптимальных последовательностей по критерию максимальной комплексной эффективности с постоянным (Таблица 4.9) и переменным (Таблица 4.10) эффектами масштаба, которые далее обозначаются как оптимальные последовательности №1 и №2, соответственно.

В таблице 5.1 в качестве примера представлены некоторые комбинации «хранилище НСО – технология переработки» существующей и оптимальных последовательностей, в которой индексы хранилищ (n) и установок (m) указаны в соответствии с принятыми в таблице 3.2 обозначениями.

Таблица 5.1 – Технологические установки переработки НСО в хранилищах

Номер хранилища НСО ***n***	Номер существующей установки для переработки m_0	Номер установки, входящей в оптимальную последовательность №1 с учётом постоянного эффекта масштаба m_1	Номер установки, входящей в оптимальную последовательность №2 с учётом переменного эффекта масштаба m_2
1	9	11	11
2	5	11	11
3	12	11	13
4	1	11	8
5	6	13	13
6	11	8	10
7	8	11	8
8	8	11	11
9	10	11	13
10	11	11	11
…	…	…	…
80	13	13	13
81	14	13	13
82	11	12	12
83	6	12	12
84	6	11	13
85	8	11	13
86	2	11	13
87	9	11	13
88	9	11	11
89	9	8	8
90	3	8	11

В таблице 5.2 представлены статистические данные для существующей последовательности переработки НСО в хранилищах.

Таблица 5.2 – Характеристики существующей последовательности переработки НСО в хранилищах

	Параметры переработки										
Наименование характеристики	Длительность переработки, [ч]	Масса реагентов, [г]	Расход топлива (энергии), [г]	Выбросы парниковых газов, [т]	Выбросы сернистого ангидрида, [т]	Выбросы в атмосферу сажи, [т]	Масса образовавшейся золы, [т]	Масса образовавшейся загрязненной воды, [т]	Удельные энергетические затраты на доставку, [руб./т]	Длительность доставки отходов или технологий, [ч]	Масса полезных продуктов рециклинга (углеводороды), [т]
Обозначение в задачах многофакторного анализа (глава 3)	x_{1p}^{2}	x_{2p}^{2}	x_{3p}^{2}	x_{1p}^{3}	x_{2p}^{3}	x_{3p}^{3}	x_{4p}^{3}	x_{5p}^{3}	x_{1p}^{4}	x_{2p}^{4}	y_{1p}^{2}
Минимальное значение	13,49	0	0,12	0	0	0	17,76	4,14	13,37	6,82	9,34
Максимальное значение	16088	932,25	192,10	6674	54,21	113,1	2571,1	14411	3014	7325	1318,5
Среднее значение	1673,7	60,92	8,04	461,78	3,02	5,37	265,38	868,98	933,67	881,21	215,19
Стандартное отклонение	3022,7	172,1	26,07	868,46	10,12	16,76	336,02	1609	520,32	1002	202,19
Суммарные данные, тыс. ед.	**150,63**	**5,48**	**0,72**	**41,56**	**0,27**	**0,48**	**23,88**	**78,21**	**-**	**79,31**	**19,37**

В Таблице 5.3 представлены результаты расчёта стоимостного эффекта и эффективности технологической переработки в соответствии с алгоритмом (Рисунок 5.4).

Таблица 5.3 - Результаты расчёта стоимостных параметров технологической переработки в КП НСО

Номер хранилища НСО *n*	**Стоимостной эффект технологической переработки НСО, тыс. руб.**			**Удельный эффект технологической переработки НСО, тыс. руб./т**			**Эффективность технологической переработки НСО**			
							тыс. руб./т		**%**	
	Существ.	**Опт. №1**	**Опт. №2**	**Существ.**	**Опт. №1**	**Опт. №2**	**Опт. №1**	**Опт. №2**	**Опт. №1**	**Опт. №2**
	C_{nm_0}	C_{nm_1}	C_{nm_2}	s_{nm_0}	s_{nm_1}	s_{nm_2}	Δs_{n1}	Δs_{n2}	δs_{n1}	δs_{n2}
1	-5998	-13364	-13364	-0,77	-1,72	-1,72	-0,95	-0,95	-122,8	-122,8
2	-5274	-3440	-3440	-3,03	-1,98	-1,98	1,05	1,05	34,8	34,8
3	57517	-9522	84068	7,40	-1,22	10,81	-8,62	3,41	-116,6	46,2
4	1375	-433	788	4,54	-1,43	2,60	-5,96	-1,94	-131,5	-42,7
5	-3387	-284	-284	-2,82	-0,24	-0,24	2,58	2,58	91,6	91,6
6	19245	41641	-398890	1,25	2,70	-25,90	1,45	-27,15	116,4	-2172,7
7	-12500	-36073	-12500	-0,51	-1,48	-0,51	-0,96	0	-188,6	0
8	-27490	-60284	-60284	-3,62	-7,95	-7,95	-4,32	-4,32	-119,3	-119,3
9	-42116	-19108	4463	-8,15	-3,70	0,86	4,45	9,01	54,6	110,6
10	3492	-2748	-2748	1,79	-1,41	-1,41	-3,20	-3,20	-178,7	-178,7
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
80	23265	23251	23251	14,11	14,10	14,10	-4,96	-4,96	-229,5	-229,5
81	2745	7656	7656	1,24	3,45	3,45	-0,97	-0,38	-14,5	-5,7
82	-2981	7647	7647	-3,51	9,00	9,00	1,31	1,31	14,7	14,7
83	12851	11868	11868	8,18	7,56	7,56	-0,01	-0,01	-0,1	-0,1
84	3391	-3821	5863	1,73	-1,95	2,99	2,21	2,21	178,9	178,9
85	3852	-2026	9667	3,45	-1,81	8,66	12,51	12,51	356,5	356,5
86	4975	-1314	7443	4,55	-1,20	6,81	-0,63	-0,63	-7,6	-7,6
87	2188	-1948	9394	2,59	-2,30	11,12	-3,67	1,26	-212,7	72,9
88	11374	-2403	-2403	9,50	-2,01	-2,01	-5,26	5,21	-152,6	150,9
89	-11012	1087	1087	-4,51	0,44	0,44	-5,75	2,26	-126,4	49,6
90	3152	8011	-826	3,66	9,30	-0,96	-4,89	8,53	-189,0	329,4
Итого	**43808**	**95529**	**213484**	**0,23***	**0,50***	**1,12***	**0,27**	**0,89**	**118,1**	**387,3**

* - средневзвешенные значения по (5.1).

Результаты расчета технико-экономической эффективности показали, что по всем сравниваемым последовательностям наблюдается положительный стоимостной эффект технологической переработки НСО в хранилищах (43,808 млн. руб. - для существующей последовательности, 95,529 млн. руб. - для оптимальной последовательности №1 и 213,484 млн. руб. - для оптимальной последовательности №2). При сравнении удельного эффекта видно, что его средневзвешенное значение для оптимальной последовательности №2 больше существующей и оптимальной последовательности №1 в 4,9 и 2,2 раза, соответственно. Анализ средней эффективности технологической переработки НСО в хранилищах показал, что при сравнении существующей последовательности с оптимальными последовательностями №1 и №2 значение показателя в относительном выражении больше на 118,1% и 387,3%, соответственно. Представленные результаты свидетельствуют о значительной экономической эффективности предлагаемых оптимальных решений: при сравнении существующей последовательности переработки НСО с оптимальными по критерию максимальной комплексной эффективности с постоянным и переменным эффектами масштаба, общая эффективность технологической переработки НСО увеличилась на 57,72 и 169,68 млн руб., соответственно.

5.4 Практические рекомендации по использованию полученных результатов в промышленности

Направленность разработанных в диссертации подходов и решений входит в научно-технологические российские и мировые приоритеты. Заявленная цель работы по разработке теоретических и системно-методических основ для решения актуальных проблем повышения эффективности по комплексным критериям качества функционирования КП НСО в нефтегазовой промышленности соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, модернизации и технологического развития экономики

страны по рациональному природопользованию, энергоэффективности и энергосбережению.

Учитывая доминирующую позицию нефтегазовой отрасли в экономике Российской Федерации и значимость вопросов энерго- и ресурсосбережения, экологической безопасности при хранении и переработке НСО, потенциальные возможности применения результатов диссертации в промышленности при решении прикладных задач достаточно широки, их воздействие на развитие отрасли можно оценить, как значительное.

Потенциальными потребителями практических результатов диссертационного исследования являются предприятия нефтегазовой промышленности Российской Федерации, в первую очередь:

- производители и заказчики оборудования для добычи и переработки нефти;
- учреждения, предприятия и организации, отвечающие за транспортировку, размещение, накопление, хранение и захоронение отходов нефтегазовой промышленности;
- экологические службы, центры и организации регионального и федерального уровней;
- службы контроля состояния природных объектов РФ;
- учреждения и организации регионального и федерального уровней, отвечающие за принятие управленческих решений и формирование стратегических программ социально-экономического развития нефтедобывающих регионов и нефтегазовой промышленности РФ в целом;
- отделы стратегического развития корпораций, входящих в нефтегазовый комплекс.

Практическая значимость полученных в диссертации научных результатов заключается в следующем:

- Методика системного анализа и оптимизации КП НСО может быть использована для решения задач переработки НСО и других прикладных задач в различных отраслях промышленности: для выбора оптимальных режимов работы

установок первичной переработки нефти, для оптимизации технологий производства дорожного битума, водорода и продуктов на его основе, для переработки техногенных отходов, что подтверждается соответствующими работами [4; 7–12; 14; 20; 30] и актами внедрения (Приложение А);

- Построенные на основе DEA метода проблемно-ориентированные модели для определения оценок эффективности сложно-структурированного комплекса переработки НСО используются на практике для определения и ранжировки относительных оценок ресурсной ценности НСО в хранилищах, ресурсного потенциала, экологической безопасности, ресурсо- и энергосбережения, комплексной эффективности комбинаций «хранилище НСО – техно-логия переработки» и определения эффективной последовательности переработки на предприятиях нефтегазового комплекса, что подтверждается опубликованными работами [2; 3; 5; 6; 9; 13; 21; 23] и актами внедрения (Приложение А);
- Методы и алгоритмы решения задач многофакторного анализа сложно-структурированной системы переработки НСО используются непосредственно для решения конкретных задач многофакторного анализа сложно-структурированной системы переработки НСО с учётом оперативных и стратегических решений в системе управления переработкой НСО на предприятиях Ханты-Мансийского автономного округа, Нижегородской и Самарской областей, что подтверждается актами внедрения с установленным технико-экономическим эффектом (Приложение А). Полученные в ходе апробации подхода оценки эффективности могут быть использованы для принятия обоснованных решений по управлению системой переработки отходами в нефтегазовой промышленности рассматриваемого региона;
- Разработанные алгоритмы и процедуры используются непосредственно для решения конкретных задач оптимизации по критериям максимального ресурсного потенциала, максимальной экологической безопасности, максимального ресурсо- и энергосбережения, максимальной комплексной эффективности переработки НСО на предприятиях нефтегазовой

промышленности Ханты-Мансийского автономного округа, Нижегородской и Самарской областей, что подтверждается соответствующими актами внедрения (Приложение А). Полученные в ходе апробации предложенного подхода оптимальные последовательности переработки НСО в хранилищах по критерию максимальной комплексной эффективности могут быть использованы для принятия обоснованных стратегических решений по управлению системой переработки отходами в нефтегазовой промышленности рассматриваемого региона;

- Специализированное ПО для апробации и реализации разработанных методик системного анализа, методов и алгоритмов многофакторного анализа и оптимизации КП НСО в нефтегазовой промышленности может применяться на конкретных объектах нефтегазовой промышленности для организации системы эффективной переработки НСО, что подтверждается актами внедрения (Приложение А). ПО передано по 8-ми лицензионным договорам и используется ИПУСС РАН - СамНЦ РАН и ООО «Технологические покрытия» (Приложение Б);
- Алгоритм выбора и принятия управленческих решений в сложно-структурированной системе переработки НСО может применяться на конкретных производственных объектах нефтегазовой промышленности для принятия обоснованных управленческих решений по переработке НСО и непосредственно использоваться для принятия решений в других технических системах, в которых необходимо прогнозировать последствия различных управленческих действий и выбирать оптимальные стратегии управления на основе разнородных и комплексных оценок текущего состояния производственных процессов и доступных ресурсов.

Далее приводятся рекомендации по практическому применению результатов диссертации при решении прикладных задач нефтегазовой отрасли промышленности в Самарском регионе и по множественному применению результатов исследования в нефтегазовом комплексе Российской Федерации.

Применение полученных результатов в Самарском регионе.

Решение основных задач диссертационного исследования существенно осложняется необходимостью их решения с учетом реальных особенностей нефтегазовой промышленности в рассматриваемом регионе. Региональные особенности промышленного применения результатов работы связаны, прежде всего, с необходимостью рассмотрения разнородных по своей физической основе процессов переработки нефтяных ресурсов и использования отходов, неопределенностями ключевых параметрических характеристик технологических процессов, нестабильностью состава исходного сырья и отходов, жесткими требованиями, предъявляемыми к показателям качества выходного продукта, особенностями экологической и экономической ситуаций в рассматриваемом регионе.

Учитывая одну из лидирующих позиций по производству нефтегазовой отрасли Самарской области и значимость вопросов энерго- и ресурсосбережения, экологической безопасности при переработке НСО нефтегазовой промышленности, потенциальные возможности использования результатов исследования при решении прикладных задач в регионе достаточно широки.

Нефтегазовая отрасль в Самарской области занимает одну из лидирующих позиций по объемам промышленного производства. На территории региона расположены 379 нефтяных и 18 газонефтяных месторождений, 1 газовое, 1 газоконденсатное и 12 газонефтяных месторождений. В регионе действуют 63 нефтедобывающих, 11 нефтеперерабатывающих предприятий и 5 предприятий магистрального трубопроводного транспорта нефте- и нефтепродуктов. Наиболее крупными являются АО «Самаранефтегаз», ООО «РИТЭК», АО «Самаранефть», АО «Новокуйбышевский нефтеперерабатывающий завод», АО «Куйбышевский нефтеперерабатывающий завод», АО «Сызранский нефтеперерабатывающий завод», ООО «Новокуйбышевский завод масел и присадок», ОАО «Приволжские магистральные нефтепроводы».

Только предприятия нефтедобывающей промышленности Самарской области ежегодно вырабатывают около 300 тысяч тонн отходов нефти и нефтяных

продуктов, которые являются небезопасными для окружающей природной среды и поэтому их нужно соответствующим образом обезопасить. К данным отходам относят различные отработанные масла, грунты с содержанием мазута, нефтешламы и другие виды отходов. Источниками отходов являются разрабатываемые нефтяные и газовые месторождения со всей сопутствующей инфраструктурой: скважины; сеть технологических, межпромысловых, промысловых и транзитных трубопроводов и коллекторов, водоводов и продуктопроводов; нефтеочистительные и нефтеперекачивающие станции; нефтебазы; ремонтные базы; автотранспортные предприятия и пр. Подобные отходы нецелесообразно и даже опасно хранить в течение длительного периода времени, а необходимо или утилизировать, или пускать в переработку.

На территории Самарской области действуют несколько десятков предприятий по утилизации и обезвреживанию отходов нефтегазовой промышленности. Применяемые технологические процессы переработки отходов характеризуются высоким уровнем энергетических затрат и потреблением ресурсов, что препятствует стабильному развитию существующих предприятий и появлению в этой области новых. Кроме этого, непостоянный состав отходов нефтегазовой промышленности накладывает ограничения на использование однотипных технологий переработки, из-за чего некоторые предприятия оказываются не задействованными, так как не располагают подходящими технологическими комплексами для переработки. Поэтому решаемые в диссертации практические проблемы энерго- и ресурсосбережения, экологической безопасности при переработке отходов нефтегазовой промышленности являются особенно актуальными и значимыми для Самарского региона.

Возможности использования результатов диссертационного исследования в целом при решении прикладных задач в Самарском регионе заключаются:

– в выявлении основных системных проблем сложно-структурированного КП НСО в нефтегазовой промышленности Самарского региона;

– в определении эффективности функционирования КП НСО Самарского региона с оценкой степени реализации доступных системе возможностей согласно применяемым технологическим, технико-экономическим, логистическим, энергетическим и экологическим критериям;

– в выявлении неэффективно функционирующих технологических цепочек в системе переработки НСО нефтегазовой промышленности Самарского региона и выработке рекомендаций по их многокритериальной оптимизации по критериям максимального ресурсного потенциала, максимальной экологической безопасности, максимальной ресурсо- и энергоэффективности, максимальной комплексной эффективности и др. (раздел 4.1);

– в повышении эффективности функционирования КП НСО нефтегазовой промышленности Самарского региона за счет снижения потерь материальных ресурсов, внедрения мер повышения энергетической эффективности и обеспечения экологической безопасности технологий.

Таким образом, промышленное применение полученных в диссертации результатов позволит обеспечить максимальный ресурсный потенциал, максимальную ресурсо- и энергоэффективность, максимальную комплексную эффективность сложно-структурированного КП НСО Самарского региона при гарантии максимальной экологической безопасности процесса переработки НСО.

Применение полученных результатов в нефтегазовой промышленности Российской Федерации.

В Российской Федерации потери нефти и нефтепродуктов ежегодно достигают 26 млн и 12 млн т, соответственно; при этом совокупный уровень сбора и переработки этих потерь составляет менее 10%, тогда как в развитых странах Европы, Среднего Востока, Юго-Восточной Азии и Южной Америки собираются и перерабатываются более 30% нефтесодержащих отходов. В большинстве нефтеносных регионов РФ, к которым, прежде всего, относятся Западная Сибирь, Башкортостан, Татарстан, Самарская и Оренбургская области, главным способом переработки НСО является не комплексная их переработка, а сжигание или захоронение в специальных хранилищах.

В этой связи особенно актуальной оказывается направленность результатов диссертации на приоритетный учет экологической и энергосберегающей составляющих за счет применения высокотехнологичных и ресурсосберегающих процессов комплексной переработки отходов во вторичные продукты, например, в моторные масла, котельно-печное топливо, нефтехимические полуфабрикаты.

Поскольку количество нефтесодержащих отходов фактически удваивается каждые 5–7 лет, проблема улучшения критической экологической обстановки требует срочного решения. При этом оборудование по переработке нефтяных отходов в РФ существенно проигрывает по показателям технико-экономической эффективности по сравнению с аналогичным оборудованием, используемым в странах Европейского Союза. Например, импортируемое оборудование нацелено на получение из НСО максимального объема мазута и не предполагает внедрения замкнутого цикла, поскольку проекты более глубокой переработки нефти с обязательным соблюдением экологических стандартов пока не стали приоритетными для российского нефтегазового бизнеса.

В диссертации разработан инновационный наукоемкий подход к решению задачи вовлечения НСО в хозяйственный оборот в качестве вторичных материальных ресурсов при обеспечении максимального ресурсного потенциала, максимальной ресурсо- и энергоэффективности, максимальной комплексной эффективности производственного цикла и его безусловной максимальной экологической безопасности.

В этой связи можно выделить следующие основные направления применения разработанных результатов для решения глобальных проблем функционирования системы переработки отходов нефтегазовой промышленности в целом в РФ:

- создание консолидированной базы данных по имеющимся отходам нефтегазовой промышленности, позволяющей производить анализ и подбор отходов для их последующей переработки;
- создание консолидированной базы знаний по имеющимся технологиям переработки отходов, позволяющей подбирать оптимальную по критериям максимального ресурсного потенциала, максимальной экологической

безопасности, максимальной ресурсо- и энергоэффективности, максимальной комплексной эффективности технологию переработки для конкретного вида НСО;

- создание математического, алгоритмического и прикладного программного обеспечения, позволяющего контролировать качество данных о НСО и технологиях их переработки, определять оценки эффективности объектов системы переработки отходов по разнородным и комплексным показателям, проводить оптимизацию КП НСО по базовым и дополнительным критериям оптимизации, принимать обоснованные управленческие операционные и стратегические решения с учетом качественного и количественного состава отходов, места расположения НСО и технологий переработки, экономических, экологических, логистических факторов и других особенностей нефтеносных регионов РФ.

Все указанные направления имеют безусловную практическую значимость при решении актуальных проблем переработки НСО и дальнейшего повторного использования получаемых после переработки отходов полезных продуктов в нефтегазовой промышленности Российской Федерации в целом.

5.5 Выводы по пятой главе

1. Разработан и описан алгоритм выбора и принятия управленческих решений в сложно-структурированной системе переработки НСО для повышения эффективности управления в нефтегазовой промышленности на оперативном и стратегическом уровнях.

2. Представлено описание разработанной концепции ЭС по управлению КП НСО нефтегазовой промышленности, основу которой составляют разработанные методы и алгоритмы решения задач многофакторного анализа на основе метода DEA, анализа эффективности переработки с использованием ИНС, оптимизации, выбора и принятия управленческих решений.

3. Разработан и апробирован алгоритм технико-экономического обоснования предлагаемых оптимальных решений по переработке НСО в системе, позволяющий определить их экономический эффект и эффективность. Анализ

средней эффективности технологической переработки НСО в хранилищах показал, что при сравнении существующей последовательности с оптимальными последовательностями №1 и №2 значение показателя в относительном выражении больше на 118,1% и 387,3%, соответственно.

4. Представлены рекомендации по практическому использованию полученных в диссертации результатов на предприятиях нефтегазовой промышленности Самарского региона и Российской Федерации.

Заключение

В результате проведённых в диссертации исследований получены следующие основные результаты:

1. Проведен системный анализ проблем переработки НСО нефтегазовой промышленности, предложены классификации НСО по источникам образования, методам и технологиям переработки НСО. Показано, что хранилища НСО и технологии их переработки могут рассматриваться в качестве элементов подсистем размещения и переработки сложно-структурированного КП НСО, который представляет собой единую систему, обладающую основными системообразующими свойствами. Определены характеристики элементов подсистем и установлены связи между ними, которые позволили сформировать набор параметров для многофакторного анализа и критерии оптимизации системы, разработать алгоритм анализа качества информации, базы данных НСО хранилищ и технологий переработки.

2. Предложена и апробирована методика системного анализа и оптимизации КП НСО в нефтегазовой промышленности, которая позволяет определять ключевые свойства и структурные закономерности функционирования системы. Методика включает теоретически обоснованные последовательные этапы разработки моделей для определения оценок эффективности, решения задач многофакторного анализа и оптимизации, принятия оперативных и стратегических управленческих решений, на каждом из которых математический аппарат DEA метода впервые используется в задачах управления переработкой отходов в нефтегазовой промышленности.

3. Разработаны и обоснованы проблемно-ориентированные модели для определения относительных оценок ресурсной ценности НСО в хранилищах, ресурсного потенциала, экологической безопасности, ресурсо- и энергоэффективности, комплексной эффективности комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» с постоянным и переменным эффектами масштаба, которые позволяют ранжировать объекты КП НСО и определять очередность переработки отходов. Эти модели обеспечивают объективный анализ сложных многостадийных процессов переработки отходов, учитывая многообразные

взаимосвязи между технико-экономическими, технологическими, ресурсными, логистическими, энергетическими и экологическими параметрами.

4. Разработаны и обоснованы методы и алгоритмы решения задач многофакторного анализа, которые позволяют качественно и количественно оценить её функциональные и масштабные характеристики на основе ряда ключевых критериев: ресурсной ценности и потенциала, экологической безопасности, эффективности использования ресурсов и энергии, а также общей эффективности системы. Методы и алгоритмы многофакторного анализа апробированы на примере системы комплексной переработки НСО, включающей 90 хранилищ НСО и 14 технологий переработки. Ранжировка полученных оценок эффективности позволила принять управленческие решения по выбору наилучших технологий для переработки НСО в хранилищах. Анализ результатов апробации показал, что доля комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» с максимальными оценками комплексной эффективности при постоянном эффекте масштаба составляет 0,48%, а при переменном – 0,56%. При этом большая доля неэффективных или мало эффективных комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» с оценками эффективности в диапазоне от 0 до 0,21 при постоянном (86,03%) и переменном (96,12%) эффектах масштаба свидетельствуют о необходимости решения оптимизационных задач по соответствующим критериям эффективности с учётом существующих и заданных ограничений.

5. Рассмотрение «хранилище НСО — технология переработки» в качестве центрального объекта сравнения позволило разработать и теоретически обосновать алгоритмы и процедуры решения задач оптимизации КП НСО, направленные на достижение максимальной эффективности и экологической безопасности технологических процессов переработки отходов с учетом оперативных и стратегических управленческих решений. Апробация алгоритма и процедуры решения задачи однокритериальной оптимизации по критерию максимальной комплексной эффективности проведена на примере системы комплексной переработки НСО, включающей 90 хранилищ НСО и 14 технологий переработки. Анализ результатов решения показал, что наибольшую массу полезных продуктов переработки (20622,8 т.) можно получить, используя стратегический подход к управлению системой с переменным эффектом масштаба. Апробация алгоритма и

процедуры решения задачи многокритериальной оптимизации проведена на примере оптимизации по базовому критерию максимальной комплексной эффективности и дополнительному критерию быстродействия комплекса переработки НСО, включающего 16 хранилищ НСО и 5 технологических установок. Анализ результатов решения показал, что наилучшая последовательность комбинаций «хранилище НСО – технология переработки» обеспечивает минимальное время переработки отходов (3603,18 ч) при максимальной суммарной комплексной эффективности (10,17).

6. Разработан алгоритм выбора и принятия управленческих решений в КП НСО, включающий три вида целей принятия решений: оценка текущего состояния системы на основе анализа ранжированных базовых параметров технологий переработки, определение последовательности переработки на основе ранжирования оценок эффективности многофакторного анализа и определение оптимальной последовательности переработки на основе результатов решения оптимизационных задач в зависимости от выбранной стратегии управления переработкой отходами в системе.

7. Для упрощения вычислительных процедур многофакторного анализа в процессе функционирования экспертной системы поддержки принятия решений разработана и обоснована методика определения оценок эффективности комплексной переработки НСО на основе искусственных нейронных сетей. Методика апробирована на примере определения оценок ресурсной ценности НСО в хранилищах для ИНС с различной архитектурой. Наилучшие результаты обеспечивают среднюю относительную ошибку (5,7%) и максимальную относительную ошибку (26,0%).

8. Предложена архитектура экспертной системы поддержки принятия управленческих решений в КП НСО нефтегазовой промышленности, позволяющей пользователям, не являющимся экспертами в рассматриваемой предметной области, принимать обоснованные решения при поиске оптимальных способов переработки НСО в системе.

9. Разработан алгоритм технико-экономического обоснования предлагаемых оптимальных решений КП НСО, позволяющий определить экономическую эффективность оптимальных управленческих решений с учётом

стратегии функционирования системы. Апробация алгоритма выявила, что значение средней эффективности технологической переработки НСО в хранилищах при сравнении существующей последовательности с оптимальными последовательностями №1 и №2 по критерию максимальной комплексной эффективности в относительном выражении больше на 118,1% и 387,3%, соответственно. Представленные результаты апробации свидетельствуют о значительной экономической эффективности предлагаемых оптимальных решений, которые обеспечили увеличение общей эффективности технологической переработки НСО на 57,72 и 169,68 млн руб., соответственно.

10. Разработано специализированное программное обеспечение для апробации и реализации разработанных методик системного и многофакторного анализа, оптимизационных алгоритмов и процедур для комплексной переработки НСО в нефтегазовой промышленности.

Главным научным результатом работы является разработка новой методологии решения актуальной проблемы переработки нефтесодержащих отходов, основанную на интеграции методов системного анализа и оптимизации, которая, в отличие от известных, обеспечивает значительное улучшение показателей качества работы промышленных комплексов в нефтегазовой отрасли и снижение их экологического воздействия на окружающую среду. Таким образом, можно считать, что основная цель диссертационного исследования, заключающаяся в разработке теоретических и системно-методических основ для решения актуальных проблем повышения эффективности по комплексным критериям качества функционирования КП НСО в нефтегазовой промышленности, достигнута.

Список литературы

1. Деревянов М.Ю. Системный анализ сложно-структурированного комплекса переработки нефтесодержащих отходов//Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки», 2024, N 32(1), С. 15-30.

2. Деревянов М.Ю. Анализ показателей масштабирования при оценке ресурсного потенциала объектов системы переработки нефтесодержащих отходов на основе метода DEA//Системы анализа и обработки данных, 2023, N 3(91), С. 47-68.

3. Деревянов М.Ю. Анализ ресурсного потенциала объектов системы переработки нефтесодержащих отходов с учетом переменного эффекта масштаба//Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика, 2023, N 3, С. 65-75.

4. Казаринов А.В., Деревянов М.Ю., Плешивцева Ю.Э. Системный анализ развития низкоуглеродных технологий производства водорода//Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки, 2023, N 4, С. 19-32.

5. Деревянов М.Ю., Плешивцева Ю.Э. Анализ ресурсной ценности и ресурсного потенциала объектов системы переработки нефтесодержащих отходов на основе DEA-метода//Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки, 2022, N 4, С. 27-34.

6. Деревянов М.Ю., Плешивцева Ю.Э., Афиногентов А.А., Мандра А.Г., Пименов А.А. Многокритериальная оптимизация комплексной переработки нефтесодержащих отходов по системным критериям качества//Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки», 2022, N 30(3), С. 15-30.

7. Казаринов А.В., Деревянов М.Ю., Плешивцева Ю.Э. Классификация и анализ локализации проектов по производству водорода//Системы анализа и обработки данных, 2022, N 4(88), С. 31-48.

8. Плешивцева Ю.Э., Казаринов А.В., Деревянов М.Ю. Многофакторный анализ процессов производства дорожных битумов путем окисления продуктов

нефтепереработки//Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки», 2021, Т. 29, N 3(71), С. 52-66.

9. Деревянов М.Ю., Плешивцева Ю.Э., Афиногентов А.А. Многофакторный анализ ресурсо- и энергосбережения в системе переработки техногенных отходов предприятий нефтегазового комплекса//Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки», 2021, N 29(1), С. 19-35.

10. Pleshivtseva Y., Derevyanov M., Pimenov A., Rapoport A. Comparative analysis of global trends in low carbon hydrogen production towards the decarbonization pathway//International Journal of Hydrogen Energy, 2023, Vol. 48, No. 83, P. 32191-32240.

11. Pleshivtseva Y., Derevyanov M., Pimenov A., Rapoport A. Comprehensive review of low carbon hydrogen projects towards the decarbonization pathway//International Journal of Hydrogen Energy, 2023, Vol. 48, No. 10, P. 3703-3724.

12. Tyukilina P.M., Krasnikov P.E., Derevyanov M.Yu., Pimenov A.A., Pleshivtseva Yu.E. Assessment of Resource Potential of Heavy Petroleum Residues by Data Envelopment Analysis//Petroleum Chemistry, 2019, Vol. 59, No. 11, P. 1207-1212.

13. Pleshivtseva Yu.E., Derevyanov M.Yu., Kashirskikh D.V., Pimenov A.A., Kerov A.V., Tyan V.K. Comparative evaluation of the reuse value of storage for oil-contaminated waste based on DEA method//Neftyanoe khozyaystvo - Oil Industry, 2018, No. 11, P. 139-144.

14. Pleshivtseva Y.U.E., Derevyanov M.Y., Setin S.P. System analysis of quality management of primary refining process//Neftyanoe khozyaystvo - Oil Industry, 2014, No. 8, P. 124-128.

15. Afinogentov A., Derevyanov M., Pleshivtseva Yu., Mandra A. Multi-criteria optimization of the system for processing of technogenic waste of oil and gas enterprises//AIP Conf. Proc. – 2023. – Vol. 2910 (1). – P. 020118.

16. Derevyanov M., Pleshivtseva Yu., Afinogentov A. Multi-factorial Analysis of Environmental Safety and Optimization of Oily Waste Recycling System//Advances in

Automation IV : Lecture Notes in Electrical Engineering/ eds. A.A. Radionov, V.R. Gasiyarov. – Cham: Springer International Publishing, 2023. – Vol. 986. – P. 186-193.

17. Afinogentov A.A., Bagdasarova Y.A., Derevyanov M.Y., Pleshivtseva Y.E. Application of Neural Networks to Assess the Resource Value of Oil-Contaminated Waste Storage Facilities//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, Vol. 988, No. 2, P. 022073.

18. Afinogentov A.A., Derevyanov M.Y., Pleshivtseva Y.E. Evaluation of the Technical and Economic Efficiency of Oil-Contaminated Wastes Recycling System Based on DEA-Method//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, Vol. 666, No. 3, P. 032032.

19. Derevyanov M.Yu., Pleshivtseva Y.E., Afinogentov A.A. Development Approach to an Expert System for Efficiency Assessment of Waste Recycling in the Oil Industry Based on DEA Models//2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). – Lipetsk, Russian Federation: IEEE, 2021. – P. 817-822.

20. Derevyanov M.Y., Pleshivtseva Y.E., Afinogentov A.A., Kirpichenkov S.A., Mandra A.G., Pimenov A.A. Application of data envelopment analysis for multi-criteria evaluation of system for technogenic waste recycling in oil refining industry//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, Vol. 1089, No. 1, P. 012023.

21. Кирпиченков С.А., Деревянов М.Ю. Анализ экономической эффективности и экологической безопасности технологического комплекса по переработке нефтесодержащих отходов на основе метода DEA//Сетевое издание научный журнал «НАУКОСФЕРА», 2021, N 4-2, С. 135-144.

22. Derevyanov M.Y., Pleshivtseva Y.E., Afinogentov A.A. Simulation and Evaluation of the Efficiency of Oil-contaminated Wastes Recycling System//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, Vol. 459, No. 4, P. 042058.

23. Деревянов М.Ю., Плешивцева Ю.Э., Афиногентов А.А., Мандра А.Г., Пименов А.А. Оценка экологической безопасности сложно-структурированной

системы переработки техногенных отходов//Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – 2020. – Т. 5. – С. 57-63.

24. Деревянов М.Ю., Плешивцева Ю.Э., Афиногентов А.А., Мандра А.Г., Пименов А.А. Многокритериальная оценка сложно-структурированной системы комплексной переработки техногенных отходов нефтеперерабатывающей промышленности//Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – 2020. – Т. 4. – С. 37-44.

25. Derevyanov M., Pleshivtseva Y., Afinogentov A., Mandra A., Pimenov A. Simulation and Multi-Objective Evaluation of Reuse Potential of Waste Recycling System for Oil And Gas Industry//2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP). – Samara, Russia: IEEE, 2019. – P. 429-434.

26. Derevyanov M.Y., Pleshivtseva Y.E., Kordyukova L.S., Rapoport A.V. Using DEA models to measure the efficiency of energy saving projects//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, Vol. 552, No. 1, P. 012020.

27. Деревянов М.Ю., Каширских Д.В. Алгоритм контроля качества данных об отходах нефтегазового комплекса//Инновации и «зеленые» технологии : Региональная научно-практическая конференция: сборник материалов и докладов, Самара, 29 ноября 2017 года. – Самара: Вектор, 2018. – С. 116-122.

28. Derevyanov M.Yu., Pleshivtseva Yu.E., Afinogentov A.A., Pimenov A.A., Krasnikov P.E., Derevyanov M.Yu. Optimization of the Disposal System of Oily Waste According to the Criterion of Environmental Safety//Proceedings of the International Symposium “Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research” dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). – Grozny, Russia: Atlantis Press, 2019. – Vol. 1. – P. 33-38.

29. Плешивцева Ю.Э., Деревянов М.Ю., Каширских Д.В. Анализ ресурсной ценности объектов хранения нефтешламов Самарского региона//Инновации и «зеленые» технологии : Региональная научно-практическая конференция: сборник материалов и докладов, Самара, 29 ноября 2017 года. – Самара: Вектор, 2018. – С. 137-144.

30. Лившиц М.Ю., Плешивцева Ю.Э., Деревянов М.Ю. Системный анализ уровня автоматизации и качества управления процессом первичной переработки нефти//Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию высшего нефтегазового образования в Республике Татарстан, Альметьевск, 28–29 октября 2016 года. – Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт, 2016. – Т. 2. – С. 166-169.

31. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022669216 Российская Федерация. Многокритериальная оптимизация комплексной переработки нефтесодержащих отходов по системным критериям качества : № 2022669013 : заявл. 18.10.2022 : опубл. 18.10.2022: / Ю.Э. Плешивцева и др.

32. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021622779 Российская Федерация. База данных для оптимизации сложно-структурированной системы комплексной переработки техногенных отходов нефтегазового комплекса : № 2021621717 : заявл. 20.08.2021 : опубл. 03.12.2021: / Ю.Э. Плешивцева и др. ; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет».

33. Свидетельство № 2021664227 Российская Федерация. Оптимизация сложно-структурированной системы комплексной переработки техногенных отходов предприятий нефтегазового комплекса: / Ю.Э. Плешивцева и др. ; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Самарский гос. техн. универс. - № 2021663386 ; заявл. 24.08.2021 ; зарегистр. 01.09.2021. - 1 с.

34. Свидетельство № 2019621436 Российская Федерация. База данных по отходам нефтегазового комплекса: свидетельство о государственной регистрации базы данных: / Ю.Э. Плешивцева, М.Ю. Деревянов, А.Г. Мандра ; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Самарский гос. техн. универс. - № 2019621312 ; заявл. 29.07.2019 ; зарегистр. 08.08.2019. - 1 с.

35. Свидетельство № 2019621435 Российская Федерация. База данных по технологиям утилизации отходов нефтегазового комплекса: свидетельство о государственной регистрации базы данных: / Ю.Э. Плешивцева, М.Ю. Деревянов, А.Г. Мандра ; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Самарский гос. техн. универс. - № 2019621313 ; заявл. 29.07.2019 ; зарегистр. 08.08.2019. - 1 с.

36. Свидетельство №2018662226 Российская Федерация. Контроль качества данных о нефтесодержащих отходах: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: / Ю.Э. Плешивцева, М.Ю. Деревянов, А.Г. Мандра ; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Самарский гос. техн. универс. - №2018619186 ; заявл. 29.08.2018 ; зарегистр. 02.10.2018. - 1 с.

37. Свидетельство №2018663621 Российская Федерация. Многофакторная оценка ресурсного потенциала нефтесодержащих отходов: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: / Ю.Э. Плешивцева, М.Ю. Деревянов, А.Г. Мандра ; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Самарский гос. техн. универс. - № 2018619315 ; заявл. 30.08.2018 ; зарегистр. 01.11.2018. - 1 с.

38. Падение добычи газа в России замедлилось. — Текст : электронный // Ведомости : [сайт]. — URL: Падение добычи газа в России замедлилось (дата обращения: 10.10.2023).

39. Национальные счета. Валовой внутренний продукт. Нефтегазовый сектор // Федеральная служба государственной статистики РФ. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/NG_sektor_4kv-2023.xls (дата обращения: 21.04.2024).

40. Мухтаров, Я. С. Анализ источников образования нефтесодержащих отходов / Я. С. Мухтаров, Р. Ш. Суфиянов, В. А. Лашков // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15, № 17. – С. 220-223.

41. ГОСТ Р 56828.43-2018. Наилучшие доступные технологии. Утилизация и обезвреживание нефтесодержащих отходов. Показатели для идентификации (2018) // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Москва: Стандартинформ.

42. Окружающая среда. Отходы производства и потребления // Федеральная служба государственной статистики РФ. URL: https://rosstat.gov.ru/folder/11194 (дата обращения: 21.04.2024).

43. Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 (ред. от 02.11.2018) «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» (с изм. и доп., вступ. в силу с 04.10.2021).

44. Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления».

45. Chen H., Wang X., Liang H., Chen B., Liu Y., Ma Z., Wang Z. Characterization and treatment of oily sludge: A systematic review//Environmental Pollution, 2024, Vol. 344, Characterization and treatment of oily sludge, P. 123245.

46. Мазлова Е.А., Мещеряков С.В. Проблемы утилизации нефтешламов и способы их переработки. – Москва: Ноосфера, 2001. – 56 с.

47. Bulatov V., Igenbaeva N., Nanishvili O. Oil and Gas Complex Waste Products as Technological Indicator of Geoecological Condition of Russia Regions//Bulletin of Science and Practice, 2021, T. 7, N 8, C. 46-55.

48. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году. Государствен-ный доклад. — М.: Минприроды России; МГУ имени М.В.Ломоносова, 2023. — 686 с.

49. Крапивский Е.И. Нефтешламы: уничтожение, утилизация, дезактивация. – Москва: Вологда: Инфра Инженерия, 2021. – 432 с.

50. Федеральный закон от 10 января 2002 г. N 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».

51. Ермаков, В.В. Классификация нефтешламонакопителей и прогнозирование процесса биодеструкции отходов при их ликвидации: Дис. канд. техн. наук: 03.00.16. – Самара, 2010. – 132 с.

52. Исмаилов, Н.М. Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем / Н.М. Исмаилов, А.Г. Ахмедов, В.А. Ахмедов. – М.: Наука, 1988. – 222 с.

53. Киреева, Н.А., Новоселова Е.И., Хазиев Ф.Х. Изменение свойств серолесной почвы при загрязнении нефтью и в процессе рекультивации / Н.А.

Киреева, Е.И. Новоселова, Ф.Х. Хазиев // Башкирский экологический вестник. – 1998. – № 3. –С. 3-7.

54. Патент № 2522317 C1 Российская Федерация, МПК B09C 1/10, B09B 1/00. Грунтошламовая смесь : № 2013107249/13 : заявл. 20.02.2013 : опубл. 10.07.2014 / Ю. Е. Гурьевский, Я. Ю. Бухтоярова ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Гидромеханизированные работы».

55. Самедова, Ф.И., Мир-Бабаев М.Ф. Разделение асфальтенов способом физического воздействия / Ф.И. Самедова, М.Ф. Мир-Бабаев // Химия и технология топлив и масел. — 1995. — №5. — С.41.

56. Садехи, К. Извлечение битума из битуминозных песков с помощью ультразвука и силиката натрия / К. Садехи, М.-А. Садехи, Д.В. Чилингарян // Химия и технология топлив и масел. — 1988. — №8. —С.24—28.

57. Lin Z., Xu F., Wang L., Hu L., Zhu L., Tan J., Li Z., Zhang T. Characterization of oil component and solid particle of oily sludge treated by surfactant-assisted ultrasonication//Chinese Journal of Chemical Engineering, 2021, T. 34, C. 53-60.

58. Литвинова, Т.А. Современные способы обезвреживания и утилизации нефтесодержащих отходов для ликвидации загрязнения окружающей среды / Т.А. Литвинова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 123. С. 902-916.

59. Лагутенко, М.А. Направления совершенствования технологии термического обезвреживания нефтесодержащих отходов / М.А. Лагутенко, Т.А. Литвинова, Т.П. Косулина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) . -Краснодар: КубГАУ, 2013. - №9. - С. 190-200.

60. Установка утилизации нефтешламов УУН-08. Паспорт, совмещенный с технологическим регламентом. - Брянск, 2011. - 15 с.

61. Ткач, Н.С. Способ обезвоживания водосодержащих нефтяных отходов / Н.С. Ткач, А.А. Еськин, Г.А. Захаров // Экология и промышленность России. - 2017. - № 1. - С. 8-11.

62. Таранцев К.В. Переработка нефтешламов с использованием электродиспергирования / К.В. Таранцев, А.В. Коростелева // Безопасность в техносфере. - 2012. - № 5. - С. 60-63.

63. Ахметов, А.Ф. Технология утилизации нефтяных шламов / А.Ф. Ахметов, А.Р. Гайсина, И.А. Мустафин // Нефтегазовое дело. 2011. Т. 9. № 4. С. 95-97.

64. Московец, А.В. Малогабаритная установка по переработке нефтешламов / А.В. Московец, И.Г. Лапшин, А.Т. Гильмутдинов // Нефтегазовое дело. - 2015. - Т. 13. - №1.- С. 101-105.

65. Siberian Federal University, Petrovsky E.A., Kolenchukov O.A., Siberian Federal University, Smirnov N.A., Siberian State University of Science and Technology named after academician M.F. Reshetnev Process reactor line for increasing the efficiency of oil-containing waste pyrolysis//Equipment and Technologies for Oil and Gas Complex, 2021, N 4, C. 16-20.

66. Кисельников, Е.А. Малоотходная утилизация жидких нефтесодержащих отходов / Е.А. Кисельников [и др.] // Экология и промышленность России. - 2011. - №3. - С.45-47.

67. Пивсаев, В.Ю. Рекуперация дизельной фракции нефтешламов путем вовлечения в процесс глубокой гидроочистки для получения ультрачистых дизельных топлив / В.Ю. Пивсаев [и др.] // Нефтехимия. - 2013. - Т. 53. - № 3. - С. 185.

68. Пивсаев, В.Ю. Поисковые исследования в области разработки новых методов получения битумов из нефтесодержащих отходов / В.Ю. Пивсаев [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2012. - Т. 14. - № 5-3. - С. 831-834.

69. Гаврилов М.М. Перспективные способы применения застарелых нефтесодержащих отходов для получения компонентов асфальтобетона / М.М. Гаврилов [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 3-6. С. 1749-1752.

70. Воробьева С.Ю. Переработка нефтешламов, буровых шламов, нефтезагрязненных грунтов методом реагентного капсулирования / С.Ю.

Воробьева, М.С. Шпинькова, И.А. Мерициди // Территория Нефтегаз. - 2011. - № 2. - С. 68-71.

71. Косулина Т.П. Утилизация нефтяных шламов реагентным методом и использование продуктов утилизации в качестве вторичных материальных ресурсов / Т.П. Косулина, Е.А. Кононенко, О.С. Цокур //Альтернативная энергетика и экология. - 2012. - № 2. - С.187-192.

72. Ларионов К.С. Уточнение рецептуры обезвреживания нефтесодержащих отходов методом реагентного капсулирования / К.С. Ларионов, В.В. Меркулов, Е.Г. Холкин // Омский научный вестник. - 2015. - № 144. - С. 269-273.

73. Цокур, О. С. Повышение ресурсосбережения утилизацией нефтесодержащих отходов реагент-ным способом с получением экологически безопасных продуктов : специальность 03.02.08 «Экология (по отраслям)» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Цокур Ольга Сергеевна. – Краснодар, 2015. – 22 с. – EDN ZPOYPL.

74. Литвинова Т.А. Решение проблемы утилизации нефтесодержащих отходов с вовлечением их в ресурсооборот / Т.А. Литвинова [и др.] // Современные проблемы науки и образования. - 2012. - № 6. - С. 67.

75. Косулина Т.П. Использование обезвреживающей композиции для утилизации нефтешламов и отработанного сорбента одм-2ф / Т.П. Косулина, О.С. Цокур, Т.А. Литвинова // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. - 2013. - № 3. - С. 77-84.

76. Ишков А.Г. Новые технологические решения для переработки нефтешламов в нефтегазовом секторе России / А.Г. Ишков [и др.] // Экология и промышленность России. - 2012. - № 9. - С. 14-17.

77. Косулина Т.П. Химический метод утилизации нефтешламов на основе отходов стадий винтеризации растительных масел / Т.П. Косулина, О.С. Цокур / Экология и промышленность России. - 2014. - № 9. - С. 10-13.

78. Гарабаджиу А.В. Кластер технологических установок переработки многотоннажных накоплений кислых гудронов и нефтешламов / А.В. Гарабаджиу

[и др.] // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. - 2012. - № 9. - С. 37-48.

79. Флисюк О.М. Переработка нефтесодержащих отходов с получением гидрофобной гранулированной добавки в асфальтобетон / О.М. Флисюк, Т.Н. Шининов, В.А. Константинов // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета).- 2015.-№ 29 (55).- С. 80-82.

80. Ксенофонтов Б.С. Интенсификация процесса переработки нефтешламов / Б.С. Ксенофонтов [и др.] // Сантехника. - 2015. - № 2. - С. 58-60.

81. Сеник Е.В. Проблемы и методы переработки шламов / Е.В. Сеник [и др.], // Безопасность в техносфере. - 2016. - Т. 5. - № 6. - С. 24-29.

82. Доломатов М.Ю. О разрушении углеводородных эмульсий под действием электромагнитных полей / М.Ю. Доломатов [и др.] // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. - 2017. - № 2 (108). - С. 39-51.

83. Мустафин И.А. Влияние импульсного магнитного поля на электромеханические процессы в нефтешламах / И.А. Мустафин [и др.] // Башкирский химический журнал. - 2011. - Т. 18. - № 2. - С. 137-139.

84. Гронь В.А. Проблема образования, переработки и утилизации нефтешламов / В.А. Гронь [и др.] // Успехи современного естествознания. 2013. № 9. 160 с.

85. Соловьянов А.А. Переработка нефтешламов с использованием химических и биологических методов / А.А. Соловьянов //Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2012. - № 5. - С.30-39.

86. Алтунина Л.К. Композиции на основе поверхностно-активных веществ для рекультивации нефтешламов / Л.К. Алтунина, Л.И. Сваровская // Нефтехимия. - 2012. - Т. 52. - № 2. - С. 150.

87. Hu G., Li J., Zeng G. Recent development in the treatment of oily sludge from petroleum industry: A review//Journal of Hazardous Materials, 2013, Vol. 261, Recent development in the treatment of oily sludge from petroleum industry, P. 470-490.

88. Johnson O.A., Affam A.C. Petroleum sludge treatment and disposal: A review//Environmental Engineering Research, 2018, Vol. 24, Petroleum sludge treatment and disposal, No. 2, P. 191-201.

89. Hui K., Tang J., Lu H., Xi B., Qu C., Li J. Status and prospect of oil recovery from oily sludge:A review//Arabian Journal of Chemistry, 2020, Vol. 13, Status and prospect of oil recovery from oily sludge, No. 8, P. 6523-6543.

90. Thong O., Ibrahim A., Abdul Rahim H., Yong W.J., Ismail N. Review of Crude Oil Extraction Methods from Petroleum Sludge//International Journal of Engineering Technology and Sciences, 2021, T. 8, N 1, C. 40-50.

91. Nurlankyzy C.A., Kalmanbayevna N.R., Al Azzam K.M., Mukhambetovich M.G., Zhanatovna A.R., Negim E.-S., Mira S. An Overview of the Current State and Prospects for Oil Recovery from Oily Sludge//Indonesian Journal of Chemistry, 2022, T. 23, N 1, C. 268.

92. Алтунина Л.К. Комплексный метод рекультивации нефтешламов с целью восстановления нарушенной природной среды нефтедобывающих территорий / Л.К. Алтунина, Л.И. Сваровская, Д.А. Филатов // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. - 2011. - № 2. - С. 38-41.

93. Мещеряков С.В. О необходимости комплексного подхода к переработке нефтяных отходов / С.В. Мещеряков [и др.] // Безопасность жизнедеятельности. - 2012. - № 3. - С. 31-33.

94. Литвинова Т.А. Инновационный подход на основе принципов ндт к разработке технологий утилизаци и нефтесодержащих отходов / Т.А. Литвинова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2016. - № 115. - С. 320-332.

95. Тимошин А.Ф. Анализ способов утилизации нефтесодержащих отходов и разработка нового комплексного способа утилизации нефтешламов резервуарного типа / А.Ф. Тимошин [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - № 6-2. - С. 209-213.

96. Пименов, А.А., Быков Д.Е., Васильев А.В. О подходах к классификации отходов нефтегазовой отрасли и побочных продуктов нефтепереработки//Вестник

Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки., 2014, N 4(44), С. 183-190.

97. Десяткин А.А. Разработка технологии утилизации нефтяных шламов: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.17.07. –Уфа, 2004. – 24 с.

98. Наркевич И.П. Классификация промышленных отходов // Химическая промышленность. – 1987. – № 4. – С. 51-54.

99. Kang, D.Y., Lin, H., Niu, D.P., Tian, G., Xu, R., Zhang, Z.Y., Luo, Y.J., Zhang, Z.Z., 2023. Research progress of processing technology and characteristics of oily sludge. China Environ. Sci. 43, 4106-4120. https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.2023.0132.

100. Mazlova E.A., Merisidi I.A. Oil and Petroleum Spill Waste Management Problems//Ecology and Industry of Russia, 2020, T. 24, N 12, С. 66-71.

101. Zhang, J., Jia, Y., Liu, B., Zhang, Z.J., An, J., Cai, X.M., 2020. Oily sludge reduction in oil and gas gathering process. Chem. Ind. Eng. Prog. 39, 372–378. https://doi.org/10.16085/j.issn.1000-6613.2020-1317.

102. Feng W., Yin Y., De Lourdes Mendoza M., Wang L., Chen X., Liu Y., Cai L., Zhang L. Freeze-thaw method for oil recovery from waste cutting fluid without chemical additions//Journal of Cleaner Production, 2017, Vol. 148, P. 84-89.

103. Cao, R., Han, D., Cao, Z., 2022. Study on the solidification and forming mechanism of oily sludge. J. Petrochem. Univ. 35, 9. https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-396X.2022.02.002.

104. Aguelmous A., El Fels L., Souabi S., Zamama M., Hafidi M. The fate of total petroleum hydrocarbons during oily sludge composting: a critical review//Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 2019, Vol. 18, The fate of total petroleum hydrocarbons during oily sludge composting, No. 3, P. 473-493.

105. Bao, Q.H., Huang, L.X., Xiu, J.L., Yu, L., Cui, Q.F., Ma, Y.D., Yi, L.N., 2021. Development in the biological treatment of oily sludge in oil and gas fields. Chem. Ind. Eng. Prog. 40, 2762–2773. https://doi.org/10.16085/j.issn.1000-6613.2020-1299.

106. Утилизация и обезвреживание отходов (кроме термических способов): информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 15-2021. М.: Бюро НДТ. - 2021. - 238 с.

107. Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами: информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 9-2020. М.: Бюро НДТ. - 2020. - 208 с.

108. Мхитаров, Р.А. Технологии и оборудование для переработки отходов нефтепереработки, нефтешламов и загрязненных углеводородами грунтов. / Р.А. Мхитаров // Нефть. Газ. Новации. – 2013. – №10. – С. 72-76.

109. Алтунина Л.К. Микробиологический метод глубокой очистки нефтешлама, загрязненного вязкой нефтью месторождения Цаган-Элс (Монголия) / Л.К. Алтунина, Л.И. Сваровская // Нефть. Газ. Новации. - 2016. - № 6. - С. 50-54.

110. Пивсаев, В.Ю. Исследование возможности применения кубовых остатков выделения дизельных фракций нефтешламов в составе мелкозернистых асфальтобетонов / В.Ю. Пивсаев [и др.] // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. - 2012. - № 4. - С. 285-292.

111. Parameswaran H. “The resource-based paradigm – a special emphasis on work-force capital as a competitive strategy in businesses”//Advances in Social Sciences Research Journal, 2020, T. 7, N 9, C. 251-261.

112. Пименов А.А. Управление отходами и остатками предприятий химии и нефтехимии с использованием их ресурсного потенциала : дис. ... докт. тех. наук: 03.02.08/А.А. Пименов. – ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» - Уфа, 2018. – 265 с.

113. Park J.Y., Chertow M.R. Establishing and testing the “reuse potential” indicator for managing wastes as resources//Journal of Environmental Management, 2014, Vol. 137, P. 45-53.

114. Кузнецова М.С. Дифференциация нефтешламонакопителей на основании их ресурсного потенциала. / М.С. Кузнецова [и др.] // Экология и промышленность России. - 2011. - № 12. - С. 30-33.

115. Калинина Е.В. Методические подходы к вовлечению остатков после термообезвреживания нефтесодержащих отходов в производство товарных продуктов / Е.В. Калинина, А.Г. Кочкина // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. - 2014. - № 1 (13). - С. 29-42.

116. Арзамасова Г.С. Обезвреживание углеводородсодержащих отходов газотранспортных предприятий биотехнологическим методом. / Г.С. Арзамасова [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. - 2017. - № 2 (26). - С. 74-86.

117. Арзамасова Г.С. Выбор направлений переработки и обезвреживания нефтесодержащих отходов на основании результатов синхронного термического анализа / Г.С. Арзамасова, В.В. Карманов / Вестник Казанского технологического университета. - 2017. - Т. 20. - № 1. - С. 145-150.

118. Velikanova, T.V. Ecological-and-economic placement's substantiation of the oil slime recycling enterprises on the basis of mathematical models / T.V. Velikanova, M.S. Gridina M.S., A.A. Pimenov A.A. // В книге: Наукоемкие химические технологии - 2014. Материалы XV Международной научно-технической конференции Abstracts of XV International Scientific Conference. - 2014. - С. S2.

119. Ossai I.C., Ahmed A., Hassan A., Hamid F.S. Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review//Environmental Technology & Innovation, 2020, Vol. 17, Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon, P. 100526.

120. Ghisellini P., Cialani C., Ulgiati S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems//Journal of Cleaner Production, 2016, Vol. 114, A review on circular economy, P. 11-32.

121. Jerez S., Ventura M., Molina R., Pariente M.I., Martínez F., Melero J.A. Comprehensive characterization of an oily sludge from a petrol refinery: A step forward for its valorization within the circular economy strategy//Journal of Environmental Management, 2021, Vol. 285, Comprehensive characterization of an oily sludge from a petrol refinery, P. 112124.

122. Jagaba A.H., Kutty S.R.M., Lawal I.M., Birniwa A.H., Affam A.C., Yaro N.S.A., Usman A.K., Umaru I., Abubakar S., Noor A., Soja U.B., Yakubu A.S. Circular economy potential and contributions of petroleum industry sludge utilization to environmental sustainability through engineered processes - A review//Cleaner and Circular Bioeconomy, 2022, Vol. 3, P. 100029.

123. Отходы нефтегазового комплекса в дорожном строительстве / Г. Г. Ягафарова, А. Х. Сафаров, А. В. Московец [и др.] // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2014. – № 8. – С. 9-11. – EDN SJMXVV.

124. Memon A.M., Sutanto M.H., Yusoff N.I.M., Memon R.A., Khan M.I., Al-Sabaeei A.M. Rheological modeling and microstructural evaluation of oily sludge modified bitumen//Case Studies in Construction Materials, 2023, Vol. 18, P. e02039.

125. Тимрот, С. Д. Использование нефтесодержащих отходов в производстве керамзита / С. Д. Тим-рот, Н. Л. Гурылева, Н. С. Яманина // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2010. – Т. 53, № 5. – С. 117-118. – EDN OWYJTV.

126. Asim N., Badiei M., Torkashvand M., Mohammad M., Alghoul M.A., Gasaymeh S.S., Sopian K. Wastes from the petroleum industries as sustainable resource materials in construction sectors: Opportunities, limitations, and directions//Journal of Cleaner Production, 2021, Vol. 284, Wastes from the petroleum industries as sustainable resource materials in construction sectors, P. 125459.

127. Department of Civil and Environmental Engineering, Universiti Teknologi Petronas, Seri Iskandar, Malaysia, Et Al. K. Review of petroleum sludge thermal treatment and utilization of ash as a construction material, a way to environmental sustainability//International Journal of ADVANCED AND APPLIED SCIENCES, 2020, Т. 7, N 12, С. 68-81.

128. Яковлев, С. И. Создание экотехнопарка по безотходной утилизации нефтесодержащих отходов с получением технического грунта и котельных (печных) топлив / С. И. Яковлев // Экологический вестник России. – 2020. – № 4. – С. 18-20. – EDN IKWCNK.

129. Ефимова, С. Б. Оценка возможности использования остатков после пиролиза нефтесодержащих отходов в производстве керамических изделий / С. Б. Ефимова, Е. В. Калинина // Химия. Эколо-гия. Урбанистика. – 2020. – Т. 1. – С. 83-87. – EDN BXEEKW.

130. Soltani A., Hewage K., Reza B., Sadiq R. Multiple stakeholders in multi-criteria decision-making in the context of Municipal Solid Waste Management: A review//Waste Management, 2015, Vol. 35, Multiple stakeholders in multi-criteria decision-making in the context of Municipal Solid Waste Management, P. 318-328.

131. Achillas C., Moussiopoulos N., Karagiannidis A., Banias G., Perkoulidis G. The use of multi-criteria decision analysis to tackle waste management problems: a literature review//Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy, 2013, Vol. 31, The use of multi-criteria decision analysis to tackle waste management problems, No. 2, P. 115-129.

132. Demesouka O., Vavatsikos A., Anagnostopoulos K. GIS-based multicriteria municipal solid waste landfill suitability analysis: A review of the methodologies performed and criteria implemented//Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy, 2014, Vol. 32, GIS-based multicriteria municipal solid waste landfill suitability analysis, No. 4, P. 270-296.

133. Goulart Coelho L.M., Lange L.C., Coelho H.M. Multi-criteria decision making to support waste management: A critical review of current practices and methods//Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy, 2017, Vol. 35, Multi-criteria decision making to support waste management, No. 1, P. 3-28.

134. Vlachokostas Ch., Michailidou A.V., Achillas Ch. Multi-Criteria Decision Analysis towards promoting Waste-to-Energy Management Strategies: A critical review//Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2021, Vol. 138, Multi-Criteria Decision Analysis towards promoting Waste-to-Energy Management Strategies, P. 110563.

135. Olson D.L. The Analytic Hierarchy Process//Decision Aids for Selection Problems. – New York, NY: Springer New York, 1996. – С. 49-68.

136. Morrissey A.J., Browne J. Waste management models and their application to sustainable waste management//Waste Management, 2004, Vol. 24, No. 3, P. 297-308.

137. Liu H.-C., Wu J., Li P. Assessment of health-care waste disposal methods using a VIKOR-based fuzzy multi-criteria decision making method//Waste Management, 2013, Vol. 33, No. 12, P. 2744-2751.

138. Figueira J., Greco S., Ehrogott M. Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys : International Series in Operations Research & Management Science. Vol. 78. Multiple Criteria Decision Analysis. – New York, NY: Springer New York, 2005.

139. Morero B., Paladino G.L., Montagna A.F., Cafaro D.C. Integrated Waste Management: Adding Value to Oil and Gas Industry Residues Through Co-processing//Waste and Biomass Valorization, 2023, Vol. 14, Integrated Waste Management, No. 4, P. 1391-1412.

140. Charnes A., Cooper W.W., Lewin A.Y., Seiford L.M. Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Applications. Data Envelopment Analysis. – Dordrecht: Springer Netherlands, 1994. – 513 p.

141. Cooper W.W., Seiford L.M., Tone K. Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software. Data Envelopment Analysis. – New York, NY: Springer US, 2007.

142. Моделирование и анализ деятельности сложных систем [Текст] : [монография] / В. Е. Кривоножко, А. В. Лычев ; Российская акад. наук, Ин-т системного анализа. - Москва : URSS : Ин-т системного анализа РАН, 2013. - 255с. : ил., табл.; 22 см.; ISBN 978-5-9710-0581-0.

143. Kim V.J.H., França S.A.D.S., Barros R.T.D.V. DATA ENVELOPMENT ANALYSIS APPLIED TO SOLID WASTE MANAGEMENT IN THE 21ST CENTURY: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS//Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica, 2023, DATA ENVELOPMENT ANALYSIS APPLIED TO SOLID WASTE MANAGEMENT IN THE 21ST CENTURY, C. 711-729.

144. Zhou H., Yang Y., Chen Y., Zhu J. Data envelopment analysis application in sustainability: The origins, development and future directions//European Journal of

Operational Research, 2018, Vol. 264, Data envelopment analysis application in sustainability, No. 1, P. 1-16.

145. Saeidi S., Jouybanpour P., Mirvakilli A., Iranshahi D., Klemeš J.J. A comparative study between Modified Data Envelopment Analysis and Response Surface Methodology for optimisation of heterogeneous biodiesel production from waste cooking palm oil//Journal of Cleaner Production, 2016, Vol. 136, P. 23-30.

146. Rodríguez-Lozano G., Cifuentes-Yate M. Efficiency assessment of electricity generation from renewable and non-renewable energy sources using Data Envelopment Analysis//International Journal of Energy Research, 2021, Vol. 45, No. 13, P. 19597-19610.

147. Li H., Ma Z., Sun J. Efficiency Evaluation of Energy in Northeastern China Based on Data Envelopment Analysis//Discrete Dynamics in Nature and Society, 2021, Vol. 2021, P. 1-9.

148. Shakouri R., Salahi M. Stochastic P-Robust Approach to a Centralized Two-Stage DEA System with Resource Waste//Advances in Operations Research, 2022, Vol. 2022, P. 1-14.

149. Kutyshkin A.V. Evaluation of the effectiveness of the functioning of production and consumption waste management systems in the Arctic regions of Russia based on Data Envelopment Analysis//Yugra State University Bulletin, 2023, T. 19, N 3, C. 26-34.

150. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».

151. Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 (ред. от 02.11.2018) «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» (с изм. и доп., вступ. в силу с 04.10.2021).

152. Оптимизация по критериям ресурсной ценности, энергосбережения и экологической безопасности организационно-технической системы утилизации отходов нефтегазового комплекса: Промежуточный отчет по НИР № АААА-А17-117030310127-4 // СамГТУ; Рук. Плешивцева Ю.Э. Самара, 2018. - 574 с.

153. Оптимизация по критериям ресурсной ценности, энергосбережения и экологической безопасности организационно-технической системы утилизации отходов нефтегазового комплекса: Промежуточный отчет по НИР № АААА-А17-117030310127-4 // СамГТУ; Рук. Плешивцева Ю.Э. Самара, 2017. – 488 с.

154. ГОСТ Р 8.563-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений. (утв. и введен в действие Приказом Ростехрегулирования от 15.12.2009 N 1253-ст).

155. Zhu J. Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking : International Series in Operations Research & Management Science. T. 213. – Cham: Springer International Publishing, 2014.

156. Бордаченко, Н. С. Формирование показателей для оценки эффективности функционирования сельскохозяйственной организации в рамках метода DEA / Н. С. Бордаченко // Инновационные тенденции развития российской науки : материалы X Международной научно-практической конференция молодых ученых, посвященной Году экологии и 65-летию Красноярского ГАУ, Красноярск, 22–23 марта 2017 года. Том Часть I. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2017. – С. 201-203.

157. Федотов, Ю. В. Измерение эффективности деятельности организации: особенности метода DEA (анализа свертки данных) / Ю. В. Федотов // Российский журнал менеджмента. – 2012. – Т. 10, № 2. – С. 51-62.

158. Кривоножко, В. Е. Взаимосвязь между свойствами эффекта масштаба во внутренних точках и вершинах граней в моделях методологии анализа среды функционирования / В. Е. Кривоножко, Ф. Р. Форсунд // Доклады Академии наук. – 2010. – Т. 430, № 5. – С. 606-611.

159. Сазонов, С. Н. Оценка технической эффективности фермерских хозяйств / С. Н. Сазонов, Д. Д. Сазонова // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. – 2014. – Т. 69. – С. 117-125.

160. Abankina I., Aleskerov F., Belousova V., Zinkovsky K., Petrushchenko S. Оценка результативности университетов с помощью оболочечного анализа данных//Voprosy Obrazovaniya / Educational Studies Moscow, 2013, N 2, C. 15-48.

161. Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units//European Journal of Operational Research, 1978, Vol. 2, No. 6, P. 429-444.

162. Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. Management Science, 30(9), 1078–1092. http://www.jstor.org/stable/2631725.

163. Chen Y., Du J. Super-Efficiency in Data Envelopment Analysis//Data Envelopment Analysis : International Series in Operations Research & Management Science/ ред. J. Zhu. – Boston, MA: Springer US, 2015. – Т. 221. – С. 381-414.

164. Horst R., Tuy H. Global Optimization. – Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1996.

165. Floudas C.A., Pardalos P.,eds. Frontiers in Global Optimization : Nonconvex Optimization and Its Applications. Vol. 74. – Boston, MA: Springer US, 2004.

166. Постановление Правительства РФ от 14 июня 2013 г. N 504 «О взимании платы в счет возмещения вреда, причиняемого автомобильным дорогам общего пользования федерального значения транспортными средствами, имеющими разрешенную максимальную массу свыше 12 тонн».

167. MATLAB: [Электронный ресурс]. URL: https://www.mathworks.com/products/matlab.html (Дата обращения: 27.04.2024).

168. RAD Studio: Software Overview - Embarcadero: [Электронный ресурс]. URL: https://www.embarcadero.com/ru/products/rad-studio (Дата обращения: 27.04.2024).

169. Álvarez I.C., Barbero J., Zofío J.L. A Data Envelopment Analysis Toolbox for MATLAB//Journal of Statistical Software, 2020, Vol. 95, No. 3.

170. Neuroph: Java Neural Network Framework [Электронный ресурс]. URL: https://neuroph.sourceforge.net/download.html (Дата обращения: 27.04.2024).

171. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning//Nature, 2015, Vol. 521, No. 7553, P. 436-444.

ПРИЛОЖЕНИЕ А – Акты внедрения

Общество с ограниченной ответственностью
«Экоинтех»

ИНН 8604061226
Мкр.2, дом 4, кв. 11 «Б»,
г. Нефтеюганск, ХМАО-Югра
РФ, 628301.
Эл.адр.: ekointeh86@yandex.ru.
Тел: +7-922-76-777-43

КПП 860401001
р/счет 40702810002500001195
в ф-л Точка Публичного АО банка
«Финансовая Корпорация Открытие»
к/счет 30101810845250000999
БИК 044525999

АКТ О ВНЕДРЕНИИ

результатов диссертационной работы Деревянова Максима Юрьевича на тему «Методология системного анализа и оптимизации сложно-структурированного комплекса переработки нефтесодержащих отходов в нефтегазовой промышленности»

По результатам рассмотрения диссертационной работы Деревянова Максима Юрьевича на тему «*Методология системного анализа и оптимизации сложно-структурированного комплекса переработки нефтесодержащих отходов в нефтегазовой промышленности*», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук, составлен настоящий акт о том, что предложенные в научной работе:

- методы и алгоритмы решения задач многофакторного анализа системы комплексной переработки нефтесодержащих отходов;
- алгоритмы и процедуры решения задачи оптимизации по разнородным критериям переработки нефтесодержащих отходов;

использованы в ООО «Экоинтех» при принятии решений по переработке нефтесодержащих отходов, образующихся в ходе производственной деятельности на нефтяных и газовых месторождениях Ханты-Мансийского автономного округа.

Предложенные в диссертации Деревянова М.Ю. решения по переработке нефтесодержащих отходов на установках, применяемых организацией, позволяют уменьшить общие затраты на утилизацию и обезвреживание отходов на 1,1 млн. рублей в год.

Директор М.А. Майранов

М.П.

Общество с ограниченной ответственностью «Отрадное»

ИНН/КПП 6340008625/631801001
ОГРН 1046301620034

р/счет 40702810154030100876
Поволжский банк ОАО «Сбербанк России» г. Самара

Дата: 05.03.2024

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора ООО «УК «Ресурс»
Управляющей компании ООО «Отрадное»
М.Б. Шаихов

АКТ
о внедрении результатов
диссертационной работы на соискание ученой степени
доктора технических наук
Деревянова Максима Юрьевича
на тему «Методология системного анализа и оптимизации сложно-структурированного комплекса переработки нефтесодержащих отходов в нефтегазовой промышленности»

Настоящим актом подтверждается внедрение результатов диссертационного исследования Деревянова Максима Юрьевича на тему «Методология системного анализа и оптимизации сложно-структурированного комплекса переработки нефтесодержащих отходов в нефтегазовой промышленности» в ООО «Отрадное» для утилизации и обезвреживания нефтесодержащих отходов, образующихся в ходе бурения нефтяных и газовых скважин, капитального ремонта скважин и обслуживания различного оборудования для нефтегазовой промышленности.

Разработанные Деревяновым М.Ю. и использованные научные результаты в виде алгоритмов многофакторного анализа, оптимизации, выбора и принятия управленческих решений, специализированного программного обеспечения позволили:

- повысить экологическую безопасность предприятия, уменьшив вредные выбросы в атмосферу в среднем на 9%,
- увеличить экономическую и энергетическую эффективность применяемых технологий переработки нефтесодержащих отходов, что привело к сокращению расходов на 1,7 млн руб. в год и снижению средней длительности переработки на 12%.

Заместитель директора ООО «УК «Ресурс»
Управляющей компании
ООО «Отрадное»
М. Б. Шаихов

443083, г. Самара, ул. Победы, д. 4А, офис 11
Тел.8/84661/993-54-64, 8/84661/4-07-36

Общество с ограниченной ответственностью
«ТрансОйл»

603116, гор. Нижний Новгород, ул. Генерала Зимина, д.32, кв.60
ИНН 5257202488, КПП 525701001, ОГРН 1215200013929, ОКПО 49373770
р/с 40702810600040000198 в филиале АКБ «СЛАВИЯ» (АО) в г. Н. Новгороде,
к/с 30101810000000000891 БИК 042202891

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
_____В.И. Невмержицкий

М.П.

Акт о внедрении

результатов диссертационной работы Деревянова Максима Юрьевича на тему «Методология системного анализа и оптимизации сложно-структурированного комплекса переработки нефтесодержащих отходов в нефтегазовой промышленности»

Рассмотрев результаты диссертационной работы Деревянова Максима Юрьевича на соискание ученой степени доктора технических наук на тему «Методология системного анализа и оптимизации сложно-структурированного комплекса переработки нефтесодержащих отходов в нефтегазовой промышленности» составлен настоящий акт о том, что предложенные в научной работе:

- методы и алгоритмы решения задач многофакторного анализа системы комплексной переработки нефтесодержащих отходов;
- алгоритмы и процедуры решения задачи оптимизации по разнородным критериям переработки нефтесодержащих отходов;
- специализированное программное обеспечение;

внедрены и используются в ООО «ТрансОйл» для повышения эффективности комплексной переработки нефтесодержащих отходов. Предлагаемые оптимальные решения приводят к снижению выбросов вредных веществ в атмосферу в среднем на 5%, увеличению скорости утилизации и обезвреживания нефтесодержащих отходов на 14%, уменьшению затрат

энергии и ресурсов при переработке отходов на 2,2 млн. рублей в год, увеличению объема извлекаемой нефти из отходов на 6%.

Генеральный директор В.И. Невмержицкий

Главный бухгалтер В.И. Невмержицкий

Самарская Битумная Компания

ООО «Самарская Битумная Компания»
446201, Самарская область,
г. Новокуйбышевск, пр. Победы, д. 47а
Тел: +7 (846) 205-65-72, 205-66-26
E-mail: SamaraBitumCompany@gmail.com
www.bitumsamara.ru

от 11.03.2024 года № 102
на № _____ от _____

Акт о внедрении

результатов диссертационного исследования Деревянова М.Ю. на тему «Методология системного анализа и оптимизации сложно-структурированного комплекса переработки нефтесодержащих отходов в нефтегазовой промышленности»

Результаты диссертационного исследования Деревянова Максима Юрьевича, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук, внедрены в ООО «Самарская Битумная Компания» и используются при анализе и принятии управленческих решений по переработке нефтесодержащих отходов III и IV класса опасности, а также для повышения ресурсо- и энергосбережения, экологической безопасности существующего комплекса по утилизации и обезвреживанию отходов.

Предложенные Деревяновым М. Ю. методы и алгоритмы решения задач многофакторного анализа и оптимизации по разнородным критериям переработки позволяют увеличить объем извлекаемых из нефтесодержащих отходов нефтяных углеводородов на 5%, сократить среднее время переработки на 7% и уменьшить стоимость переработки на 9%.

Директор
ООО «Самарская Битумная Компания» _____ Пасюнин Э. В.

Исп.:
Тел.: 8(846)205-65-83

ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Лицензионные соглашения о предоставлении права использования результатов интеллектуальной деятельности

Лицензионный договор № 02/18
о предоставлении права использования результатов интеллектуальной деятельности

г. Самара «28» декабря 2018 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет» в лице первого проректора-прорректора по научно работе Ненашева Максима Владимировича, действующего на основании доверенности 63 А А 3717401 от 06.06.2016г., именуемое в дальнейшем «Лицензиар» с одной стороны и Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук (ИПУСС РАН) в лице директора Боровика Сергея Юрьевича, действующего на основании Устава, именуемое в дальнейшем «Лицензиат», с другой стороны, договорились о нижеследующем:

1. ПРЕДМЕТ ДОГОВОРА

1.1. Предметом настоящего лицензионного договора является безвозмездная передача Лицензиаром простой (неисключительной) лицензии на программу для ЭВМ № 2018663621 «Многофакторная оценка ресурсного потенциала нефтесодержащих отходов» сроком на 10 лет.

Лицензиат не имеет права передавать третьим лицам права, принадлежащие ему на основании настоящего лицензионного договора.

1.2. Программа является результатом интеллектуальной деятельности (далее РИД) Правообладателя и защищается законодательством Российской Федерации об авторском праве, а также соответствующим свидетельством о государственной регистрации. .

1.3. Лицензиар сохраняет за собой право самому использовать РИД и предоставлять неисключительные лицензии на право его использования третьим лицам.

2. УСЛОВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РИД

2.1. Лицензиат имеет право использовать РИД на рабочих местах (или серверах) в соответствии с объемом и типом приобретенных Лицензий, назначением и правилами пользования, изложенными в эксплуатационной документации.

2.2. Лицензиат обязуется не распространять РИД третьим лицам путем продажи, проката, сдачи внаем, предоставления взаймы или иными другими способами отчуждения.

3. ГАРАНТИИ И ОБЯЗАТЕЛЬСТВА СТОРОН

3.1. Лицензиар заявляет, что он вправе предоставлять лицензию на РИД, и что на момент подписания настоящего Договора ему ничего не известно о правах третьих лиц, которые могли бы быть нарушены предоставлением данных лицензий.

3.2. Лицензиат обязуется применять предмет лицензий в соответствии инструкциями Лицензиара.

4. ЗАЩИТА ПЕРЕДАВАЕМЫХ ПРАВ

4.1. В случае противоправного использования третьими лицами РИД, ставшем известным Лицензиату, а также в случае предъявления к Лицензиату претензий или исков по поводу нарушения им прав третьих лиц в связи с использованием лицензий по настоящему Договору, он незамедлительно уведомит об этом Лицензиара. В обоих случаях Лицензиар обязуется урегулировать такие претензии или предпринять иные действия, исключающие возникновение убытков и расходов для Лицензиата.

4.2. В течение всего срока настоящего Договора Лицензиат признает и будет признавать действительность прав Лицензиара.

5. КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТЬ

5.1. Стороны обязуются сохранять конфиденциальность полученной от Лицензиара информации, касающейся РИД.

5.2. Стороны предпримут все меры для того, чтобы предотвратить полное или частичное разглашение указанных сведений или ознакомление с ними третьих лиц без взаимной договоренности.

5.3. В случае разглашения Лицензиатом указанных сведений Лицензиат возместит Лицензиару понесенные в связи с этим убытки.

6. РАЗРЕШЕНИЕ СПОРОВ

6.1. В случае возникновения споров между Лицензиаром и Лицензиатом по вопросам, предусмотренным настоящим Договором, стороны примут все меры к разрешению их путем переговоров между собой либо в установленном законодательством порядке.

7. СРОК ДЕЙСТВИЯ ДОГОВОРА

7.1 Настоящий Договор вступает в силу с момента его подписания сторонами и действует в течение 10 лет.

8. ФОРС-МАЖОР

8.1. При наступлении обстоятельств невозможности полного или частичного исполнения любой из сторон обязательств по настоящему договору, а именно: при пожаре, стихийном бедствии и других не зависящих от сторон обстоятельствах, ни одна из сторон не будет нести ответственности.

9.. РЕКВИЗИТЫ И ПОДПИСИ СТОРОН

Лицензиар

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Самарский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «СамГТУ»)
Юридический адрес: 443100, г. Самара., ул. Молодогвардейская, д.244
Фактический адрес: 443100, г. Самара., ул. Молодогвардейская, д.244
ИНН 6315800040
КПП 631631001
ОГРН 1026301167683
Банковские реквизиты:
УФК по Самарской области (НИЧ ФГБОУ ВО «СамГТУ» л/с 20426Х73200) р/с 40555018888108360120000002 в ОТДЕЛЕНИЕ САМАРА
БИК 043601001
ОКОПО 02068396
ОКВЭД 73.10., 73.20
ОКТМО 36701000

Лицензиат

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук (ИПУСС РАН)
Адрес: 443020, г. Самара, ул. Садовая, 61
ИНН 6317028447 / КПП 631701001,
р/сч 40501810836012000002,
БИК 043601001,
Отделение Самара г. Самара
УФК по Самарской области
(ИПУСС РАН, л/сч 20426У86640)
ОКАТО 36401388000
ОКОНХ 95110
ОКПО 04874434
ОКТМО 36701000

Пронумеровано,
Скреплено печатью
листа

Первый проректор - проректор по научной работе

М.В.Ненашев
М.П

Директор

О.С. Боровик
М.П

Лицензионный договор № 03/18
о предоставлении права использования результатов интеллектуальной деятельности

г. Самара «20» декабря 2018 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет» в лице первого проректора-проректора по научно работе Ненашева Максима Владимировича, действующего на основании доверенности 63 А А 3717401 от 06.06.2016г., именуемое в дальнейшем «Лицензиар» с одной стороны и Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук (ИПУСС РАН) в лице директора Боровика Сергея Юрьевича, действующего на основании Устава, именуемое в дальнейшем «Лицензиат», с другой стороны, договорились о нижеследующем:

1. ПРЕДМЕТ ДОГОВОРА

1.1. Предметом настоящего лицензионного договора является безвозмездная передача Лицензиаром простой (неисключительной) лицензии на программу для ЭВМ № 2018662226 «Контроль качества данных нефтесодержащих отходов» сроком на 10 лет.

Лицензиат не имеет права передавать третьим лицам права, принадлежащие ему на основании настоящего лицензионного договора.

1.2. Программа является результатом интеллектуальной деятельности (далее РИД) Правообладателя и защищается законодательством Российской Федерации об авторском праве, а также соответствующим свидетельством о государственной регистрации. .

1.3. Лицензиар сохраняет за собой право самому использовать РИД и предоставлять неисключительные лицензии на право его использования третьим лицам.

2. УСЛОВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РИД

2.1. Лицензиат имеет право использовать РИД на рабочих местах (или серверах) в соответствии с объемом и типом приобретенных Лицензий, назначением и правилами пользования, изложенными в эксплуатационной документации.

2.2. Лицензиат обязуется не распространять РИД третьим лицам путем продажи, проката, сдачи внаем, предоставления взаймы или иными другими способами отчуждения.

3. ГАРАНТИИ И ОБЯЗАТЕЛЬСТВА СТОРОН

3.1. Лицензиар заявляет, что он вправе предоставлять лицензию на РИД, и что на момент подписания настоящего Договора ему ничего не известно о правах третьих лиц, которые могли бы быть нарушены предоставлением данных лицензий.

3.2. Лицензиат обязуется применять предмет лицензий в соответствии инструкциями Лицензиара.

3.2. Лицензиат обязуется применять предмет лицензий в соответствии инструкциями Лицензиара.

4. ЗАЩИТА ПЕРЕДАВАЕМЫХ ПРАВ

4.1. В случае противоправного использования третьими лицами РИД, ставшем известным Лицензиату, а также в случае предъявления к Лицензиату претензий или исков по поводу нарушения им прав третьих лиц в связи с использованием лицензий по настоящему Договору, он незамедлительно уведомит об этом Лицензиара. В обоих случаях Лицензиар обязуется урегулировать такие претензии или предпринять иные действия, исключающие возникновение убытков и расходов для Лицензиата.

4.2. В течение всего срока настоящего Договора Лицензиат признает и будет признавать действительность прав Лицензиара.

5. КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТЬ

5.1. Стороны обязуются сохранять конфиденциальность полученной от Лицензиара информации, касающейся РИД.

5.2. Стороны предпримут все меры для того, чтобы предотвратить полное или частичное разглашение указанных сведений или ознакомление с ними третьих лиц без взаимной договоренности.

5.3. В случае разглашения Лицензиатом указанных сведений Лицензиат возместит Лицензиару понесенные в связи с этим убытки.

6. РАЗРЕШЕНИЕ СПОРОВ

6.1. В случае возникновения споров между Лицензиаром и Лицензиатом по вопросам, предусмотренным настоящим Договором, стороны примут все меры к разрешению их путем переговоров между собой либо в установленном законодательством порядке.

7. СРОК ДЕЙСТВИЯ ДОГОВОРА

7.1 Настоящий Договор вступает в силу с момента его подписания сторонами и действует в течение 10 лет.

8. ФОРС-МАЖОР

8.1. При наступлении обстоятельств невозможности полного или частичного исполнения любой из сторон обязательств по настоящему договору, а именно: при пожаре, стихийном бедствии и других не зависящих от сторон обстоятельствах, ни одна из сторон не будет нести ответственности.

9.. РЕКВИЗИТЫ И ПОДПИСИ СТОРОН

Лицензиар	Лицензиат
Федеральное государственное бюджетное образоватсльное учреждение высшего образования "Самарский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «СамГТУ») Юридический адрес: 443100, г. Самара., ул. Молодогвардейская, д.244 Фактический адрес: 443100, г. Самара., ул. Молодогвардейская, д.244 ИНН 6315800040 КПП 631631001 ОГРН 1026301167683 Банковские реквизиты: УФК по Самарской области (НИЧ ФГБОУ ВО «СамГТУ» л/с 20426Х73200) р/с 40555018888108360120000002 в ОТДЕЛЕНИЕ САМАРА БИК 043601001 ОКОПО 02068396 ОКВЭД 73.10., 73.20 ОКТМО 36701000	Федеральное государственнос бюджетное учреждение науки Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук (ИПУСС РАН) Адрес: 443020, г. Самара, ул. Садовая, 61 ИНН 6317028447 / КПП 631701001, р/сч 40501810836012000002, БИК 043601001, Отделение Самара г. Самара УФК по Самарской области (ИПУСС РАН, л/сч 20426У86640) ОКАТО 36401388000 ОКОНХ 95110 ОКПО 04874434 ОКТМО 36701000
Первый проректор - проректор по научной работе	Директор
_____ Т.В. Ненашев М.П	_____ С.Ю. Б рови с М.П

Скреплено печатью 2 листа

Лицензионный договор № 04/18
о предоставлении права использования результатов интеллектуальной деятельности

г. Самара «26» декабря 2018 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет» в лице первого проректора-проректора по научно работе Ненашева Максима Владимировича, действующего на основании доверенности 63 А А 3717401 от 06.06.2016г., именуемое в дальнейшем «Лицензиар» с одной стороны и общество с ограниченной ответственностью «Технологические покрытия» в лице директора Нечаева Ильи Владимировича, действующего на основании Устава, именуемое в дальнейшем «Лицензиат», с другой стороны, договорились о нижеследующем:

1. ПРЕДМЕТ ДОГОВОРА

1.1. Предметом настоящего Лицензионного договора является безвозмездная передача Лицензиаром простой (неисключительной) лицензии на программу для ЭВМ № 2018663621 «Многофакторная оценка ресурсного потенциала нефтесодержащих отходов» сроком на 10 лет.

Лицензиат не имеет права передавать третьим лицам права, принадлежащие ему на основании настоящего Лицензионного договора.

1.2. Программа является результатом интеллектуальной деятельности (далее РИД) Правообладателя и защищается законодательством Российской Федерации об авторском праве, а также соответствующим свидетельством о государственной регистрации.

1.3. Лицензиар сохраняет за собой право самому использовать РИД и предоставлять неисключительные лицензии на право его использования третьим лицам.

2. УСЛОВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РИД

2.1. Лицензиат имеет право использовать РИД на рабочих местах (или серверах) в соответствии с объемом и типом приобретенных Лицензий, назначением и правилами пользования, изложенными в эксплуатационной документации.

2.2. Лицензиат обязуется не распространять РИД третьим лицам путем продажи, проката, сдачи внаем, предоставления взаймы или иными другими способами отчуждения.

3. ГАРАНТИИ И ОБЯЗАТЕЛЬСТВА СТОРОН

3.1. Лицензиар заявляет, что он вправе предоставлять лицензию на РИД, и что на момент подписания настоящего Договора ему ничего не известно о правах третьих лиц, которые могли бы быть нарушены предоставлением данных лицензий.

3.2. Лицензиат обязуется применять предмет лицензий в соответствии инструкциями Лицензиара.

4. ЗАЩИТА ПЕРЕДАВАЕМЫХ ПРАВ

4.1. В случае противоправного использования третьими лицами РИД, ставшем известным Лицензиату, а также в случае предъявления к Лицензиату претензий или исков по поводу нарушения им прав третьих лиц в связи с использованием лицензий по настоящему Договору, он незамедлительно уведомит об этом Лицензиара. В обоих случаях Лицензиар обязуется урегулировать такие претензии или предпринять иные действия, исключающие возникновение убытков и расходов для Лицензиата.

4.2. В течение всего срока настоящего Договора Лицензиат признает и будет признавать действительность прав Лицензиара.

5. КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТЬ

5.1. Стороны обязуются сохранять конфиденциальность полученной от Лицензиара информации, касающейся РИД.

5.2. Стороны предпримут все меры для того, чтобы предотвратить полное или частичное разглашение указанных сведений или ознакомление с ними третьих лиц без взаимной договоренности.

5.3. В случае разглашения Лицензиатом указанных сведений Лицензиат возместит Лицензиару понесенные в связи с этим убытки.

6. РАЗРЕШЕНИЕ СПОРОВ

6.1. В случае возникновения споров между Лицензиаром и Лицензиатом по вопросам, предусмотренным настоящим Договором, стороны примут все меры к разрешению их путем переговоров между собой либо в установленном законодательством порядке.

7. СРОК ДЕЙСТВИЯ ДОГОВОРА

7.1 Настоящий Договор вступает в силу с момента его подписания сторонами и действует в течение 10 лет.

8. ФОРС-МАЖОР

8.1. При наступлении обстоятельств невозможности полного или частичного исполнения любой из сторон обязательств по настоящему договору, а именно: при пожаре, стихийном бедствии и других не зависящих от сторон обстоятельствах, ни одна из сторон не будет нести ответственности.

10. РЕКВИЗИТЫ И ПОДПИСИ СТОРОН

Лицензиар	Лицензиат
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Самарский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «СамГТУ») Юридический адрес: 443100, г. Самара., ул. Молодогвардейская, д.244 Фактический адрес: 443100, г. Самара., ул. Молодогвардейская, д.244 ИНН 6315800040 КПП 631631001 ОГРН 1026301167683 Банковские реквизиты: УФК по Самарской области (НИЧ ФГБОУ ВО «СамГТУ» л/с 20426Х73200) р/с 40555018888108360120000002 в ОТДЕЛЕНИЕ САМАРА БИК 043601001 ОКОПО 02068396 ОКВЭД 73.10., 73.20 ОКТМО 36701000	ООО «Технологические покрытия» Юридический адрес: 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская,244 Почтовый адрес: 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская,244 ОГРН 1096316015190 ИНН , КПП 6316150934/631601001 р/с 40702810012000000544 в филиале АО Банк "Северный морской путь" в городе Самаре (СМФ АО " СМП Банк" г. Самара) к/с 30101810300000000701 БИК: 043601701 ОКПО 62475481 ОКВЭД 73.10 (72.19)
Первый проректор - проректор по научной работе М.В.Ненашев М.П	Директор И.В. Нечаев М.П

Подпись М.В.Ненашев

Лицензионный договор № 05/18
о предоставлении права использования результатов интеллектуальной деятельности

г. Самара «20» декабря 2018 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет» в лице первого проректора-проректора по научно работе Ненашева Максима Владимировича, действующего на основании доверенности 63 А А 3717401 от 06.06.2016г., именуемое в дальнейшем «Лицензиар» с одной стороны и общество с ограниченной ответственностью «Технологические покрытия» в лице директора Нечаева Ильи Владимировича, действующего на основании Устава, именуемое в дальнейшем «Лицензиат», с другой стороны, договорились о нижеследующем:

1. ПРЕДМЕТ ДОГОВОРА

1.1. Предметом настоящего лицензионного договора является безвозмездная передача Лицензиаром простой (неисключительной)лицензии на программу для ЭВМ № 2018662226 «Контроль качества данных нефтесодержащих отходов» сроком на 10 лет. Лицензиат не имеет права передавать третьим лицам права, принадлежащие ему на основании настоящего Лицензионного договора.

1.2. Программа является результатом интеллектуальной деятельности (далее РИД) Правообладателя и защищается законодательством Российской Федерации об авторском праве, а также соответствующим свидетельством о государственной регистрации.

1.3. Лицензиар сохраняет за собой право самому использовать РИД и предоставлять неисключительные лицензии на право его использования третьим лицам.

2. УСЛОВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РИД

2.1. Лицензиат имеет право использовать РИД на рабочих местах (или серверах) в соответствии с объемом и типом приобретенных Лицензий, назначением и правилами пользования, изложенными в эксплуатационной документации.

2.2. Лицензиат обязуется не распространять РИД третьим лицам путем продажи, проката, сдачи внаем, предоставления взаймы или иными другими способами отчуждения.

3. ГАРАНТИИ И ОБЯЗАТЕЛЬСТВА СТОРОН

3.1. Лицензиар заявляет, что он вправе предоставлять лицензию на РИД, и что на момент подписания настоящего Договора ему ничего не известно о правах третьих лиц, которые могли бы быть нарушены предоставлением данных лицензий.

3.2. Лицензиат обязуется применять предмет лицензий в соответствии инструкциями Лицензиара.

4. ЗАЩИТА ПЕРЕДАВАЕМЫХ ПРАВ

4.1. В случае противоправного использования третьими лицами РИД, ставшем известным Лицензиату, а также в случае предъявления к Лицензиату претензий или исков по поводу нарушения им прав третьих лиц в связи с использованием лицензий по настоящему Договору, он незамедлительно уведомит об этом Лицензиара. В обоих случаях Лицензиар обязуется урегулировать такие претензии или предпринять иные действия, исключающие возникновение убытков и расходов для Лицензиата.

4.2. В течение всего срока настоящего Договора Лицензиат признает и будет признавать действительность прав Лицензиара.

5. КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТЬ

5.1. Стороны обязуются сохранять конфиденциальность полученной от Лицензиара информации, касающейся РИД.

5.2. Стороны предпримут все меры для того, чтобы предотвратить полное или частичное разглашение указанных сведений или ознакомление с ними третьих лиц без взаимной договоренности.

5.3. В случае разглашения Лицензиатом указанных сведений Лицензиат возместит Лицензиару понесенные в связи с этим убытки.

6. РАЗРЕШЕНИЕ СПОРОВ

6.1. В случае возникновения споров между Лицензиаром и Лицензиатом по вопросам, предусмотренным настоящим Договором, стороны примут все меры к разрешению их путем переговоров между собой либо в установленном законодательством порядке.

7. СРОК ДЕЙСТВИЯ ДОГОВОРА

7.1 Настоящий Договор вступает в силу с момента его подписания сторонами и действует в течение 10 лет.

8. ФОРС-МАЖОР

8.1. При наступлении обстоятельств невозможности полного или частичного исполнения любой из сторон обязательств по настоящему договору, а именно: при пожаре, стихийном бедствии и других не зависящих от сторон обстоятельствах, ни одна из сторон не будет нести ответственности.

9. РЕКВИЗИТЫ И ПОДПИСИ СТОРОН

Лицензиар	Лицензиат
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Самарский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «СамГТУ») Юридический адрес: 443100, г. Самара., ул. Молодогвардейская, д.244 Фактический адрес: 443100, г. Самара., ул. Молодогвардейская, д.244 ИНН 6315800040 КПП 631631001 ОГРН 1026301167683 Банковские реквизиты: УФК по Самарской области (НИЧ ФГБОУ ВО «СамГТУ» л/с 20426Х73200) р/с 40555018888108360120000002 в ОТДЕЛЕНИЕ САМАРА БИК 043601001 ОКОПО 02068396 ОКВЭД 73.10., 73.20 ОКТМО 36701000	ООО «Технологические покрытия» Юридический адрес: 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская,244 Почтовый адрес: 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская,244 ОГРН 1096316015190 ИНН , КПП 6316150934/631601001 р/с 40702810012000000544 в филиале АО Банк "Северный морской путь" в городе Самаре (СМФ АО " СМП Банк" г. Самара) к/с 30101810300000000701 БИК: 043601701 ОКПО 62475481 ОКВЭД 73.10 (72.19)
Первый проректор - проректор по научной работе _____ М.В.Ненашев М.П	Директор _____ И.В. Нечаев М.П

_Подпись М.В.Ненашев

Экземпляр СамГТУ

Лицензионный договор № 3/19
о предоставлении права использования результатов интеллектуальной деятельности

г. Самара «18» ноября 2019 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет» в лице первого проректора-проректора по научно работе Ненашева Максима Владимировича, действующего на основании доверенности 63 А А 3717401 от 06.06.2016г., именуемое в дальнейшем «Лицензиар» с одной стороны и Институтом проблем управления сложными системами Российской академии наук – обособленным подразделением Федерального государственного бюджетного учреждения науки Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук в лице директора Боровика Сергея Юрьевича, действующего на основании доверенности от 30.07.2019 г. №63/141-н/63-2019-3-1479, именуемое в дальнейшем «Лицензиат», с другой стороны, договорились о нижеследующем:

1. ПРЕДМЕТ ДОГОВОРА

1.1. Предметом настоящего Лицензионного договора является безвозмездная передача Лицензиаром простой (неисключительной) лицензии на базу данных №2019621435 «База данных по технологиям утилизации отходов нефтегазового комплекса» сроком на 10 лет.

Лицензиат не имеет права передавать третьим лицам права, принадлежащие ему на основании настоящего Лицензионного договора.

1.2. База данных являются результатом интеллектуальной деятельности (далее РИД) Правообладателя и защищается законодательством Российской Федерации об авторском праве, а также соответствующим свидетельством о государственной регистрации (указать название и номера регистрации

1.3. Лицензиар сохраняет за собой право самому использовать РИД и предоставлять неисключительные лицензии на право его использования третьим лицам.

2. УСЛОВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РИД

2.1. Лицензиат имеет право использовать РИД на пяти рабочих местах (или серверах) в соответствии с объемом и типом приобретенных Лицензий, назначением и правилами пользования, изложенными в эксплуатационной документации.

2.2. Лицензиат обязуется не распространять РИД третьим лицам путем продажи, проката, сдачи внаем, предоставления взаймы или иными другими способами отчуждения.

3. ГАРАНТИИ И ОБЯЗАТЕЛЬСТВА СТОРОН

3.1. Лицензиар заявляет, что он вправе предоставлять лицензию на РИД, и что на момент подписания настоящего Договора ему ничего не известно о правах третьих лиц, которые могли бы быть нарушены предоставлением данных лицензий.

3.2. Лицензиат обязуется применять предмет лицензий в соответствии инструкциями Лицензиара.

4. ЗАЩИТА ПЕРЕДАВАЕМЫХ ПРАВ

4.1. В случае противоправного использования третьими лицами РИД, ставшем известным Лицензиату, а также в случае предъявления к Лицензиату претензий или исков по поводу нарушения им прав третьих лиц в связи с использованием лицензий по настоящему Договору, он незамедлительно уведомит об этом Лицензиара. В обоих случаях Лицензиар обязуется урегулировать такие претензии или предпринять иные действия, исключающие возникновение убытков и расходов для Лицензиата.

4.2. В течение всего срока настоящего Договора Лицензиат признает и будет признавать действительность прав Лицензиара.

5. КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТЬ

5.1. Стороны обязуются сохранять конфиденциальность полученной от Лицензиара информации, касающейся РИД.

5.2. Стороны предпримут все меры для того, чтобы предотвратить полное или частичное разглашение указанных сведений или ознакомление с ними третьих лиц без взаимной договоренности.

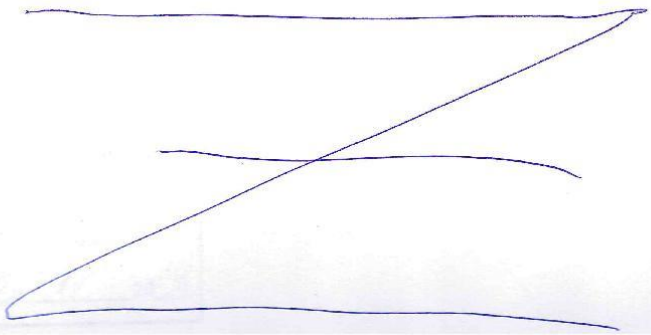
5.3. В случае разглашения Лицензиатом указанных сведений Лицензиат возместит Лицензиару понесенные в связи с этим убытки.

6. РАЗРЕШЕНИЕ СПОРОВ

6.1. В случае возникновения споров между Лицензиаром и Лицензиатом по вопросам, предусмотренным настоящим Договором, стороны примут все меры к разрешению их путем переговоров между собой либо в установленном законодательством порядке.

7. СРОК ДЕЙСТВИЯ ДОГОВОРА

7.1 Настоящий Договор вступает в силу с момента его подписания сторонами и действует в течение 10 лет на территории Российской Федерации.



8. ФОРС-МАЖОР

8.1. При наступлении обстоятельств невозможности полного или частичного исполнения любой из сторон обязательств по настоящему договору, а именно: при пожаре, стихийном бедствии и других не зависящих от сторон обстоятельствах, ни одна из сторон не будет нести ответственности.

9. РЕКВИЗИТЫ И ПОДПИСИ СТОРОН

Лицензиар

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Самарский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «СамГТУ»)
Юридический адрес: 443100, Российская Федерация, г. Самара., ул. Молодогвардейская, д.244
Фактический адрес: 443100, Российская Федерация, г. Самара., ул. Молодогвардейская, д.244
ИНН 6315800040
КПП 631631001
ОГРН 1026301167683
Банковские реквизиты:
УФК по Самарской области (НИЧ ФГБОУ ВО «СамГТУ» л/с 20426Х73200) р/с 4055501888810836012000002 в ОТДЕЛЕНИЕ САМАРА
БИК 043601001
ОКОПО 02068396
ОКВЭД 73.10., 73.20
ОКТМО 36701000

Лицензиат

Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИПУСС РАН – СамНЦ РАН)
Юридический адрес: 443020, Российская Федерация, г. Самара, ул. Садовая, 61
Фактический адрес: 443020, Российская Федерация, г. Самара, ул. Садовая, 61
ИНН 6316032112
КПП 631745001
ОГРН 1036300448898
Банковские реквизиты:
УФК по Самарской области (ИПУСС РАН – СамНЦ РАН л/с 20426Г44370)
р/сч 40501810836012000002
ОТДЕЛЕНИЕ САМАРА Г. САМАРА
БИК 043601001
ОКПО 94655724

Первый проректор - проректор по научной работе
_____ М.В.Ненашев
М.П.

Директор
_____ С.Ю. Боровик
М.П.

Правовое управление
«29» 11 2019 г.
(подпись)

Экземпляр СамГТУ

Лицензионный договор № 5/19
о предоставлении права использования результатов интеллектуальной деятельности

г. Самара «18» ноября 2019 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет» в лице первого проректора-проректора по научно работе Ненашева Максима Владимировича, действующего на основании доверенности 63 А А 3717401 от 06.06.2016г., именуемое в дальнейшем «Лицензиар» с одной стороны и институтом проблем управления сложными системами Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук в лице директора Боровика Сергея Юрьевича, действующего на основании доверенности 30.07.2019 г. №63/141-н/63-2019-3-1479, именуемое в дальнейшем «Лицензиат», с другой стороны, договорились о нижеследующем:

1. ПРЕДМЕТ ДОГОВОРА

1.1. Предметом настоящего Лицензионного договора является безвозмездная передача Лицензиаром простой (неисключительной) лицензии на базу данных №2019621436 «База данных по отходам нефтегазового комплекса» сроком на 10 лет.

Лицензиат не имеет права передавать третьим лицам права, принадлежащие ему на основании настоящего Лицензионного договора.

1.2. База данных являются результатом интеллектуальной деятельности (далее РИД) Правообладателя и защищается законодательством Российской Федерации об авторском праве, а также соответствующим свидетельством о государственной регистрации (указать название и номера регистрации

1.3. Лицензиар сохраняет за собой право самому использовать РИД и предоставлять неисключительные лицензии на право его использования третьим лицам.

2. УСЛОВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РИД

2.1. Лицензиат имеет право использовать РИД на пяти рабочих местах (или серверах) в соответствии с объемом и типом приобретенных Лицензий, назначением и правилами пользования, изложенными в эксплуатационной документации.

2.2. Лицензиат обязуется не распространять РИД третьим лицам путем продажи, проката, сдачи внаем, предоставления взаймы или иными другими способами отчуждения.

3. ГАРАНТИИ И ОБЯЗАТЕЛЬСТВА СТОРОН

3.1. Лицензиар заявляет, что он вправе предоставлять лицензию на РИД, и что на момент подписания настоящего Договора ему ничего не известно о правах третьих лиц, которые могли бы быть нарушены предоставлением данных лицензий.

3.2. Лицензиат обязуется применять предмет лицензий в соответствии инструкциями Лицензиара.

4. ЗАЩИТА ПЕРЕДАВАЕМЫХ ПРАВ

4.1. В случае противоправного использования третьими лицами РИД, ставшем известным Лицензиату, а также в случае предъявления к Лицензиату претензий или исков по поводу нарушения им прав третьих лиц в связи с использованием лицензий по настоящему Договору, он незамедлительно уведомит об этом Лицензиара. В обоих случаях Лицензиар обязуется урегулировать такие претензии или предпринять иные действия, исключающие возникновение убытков и расходов для Лицензиата.

4.2. В течение всего срока настоящего Договора Лицензиат признает и будет признавать действительность прав Лицензиара.

5. КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТЬ

5.1. Стороны обязуются сохранять конфиденциальность полученной от Лицензиара информации, касающейся РИД.

5.2. Стороны предпримут все меры для того, чтобы предотвратить полное или частичное разглашение указанных сведений или ознакомление с ними третьих лиц без взаимной договоренности.

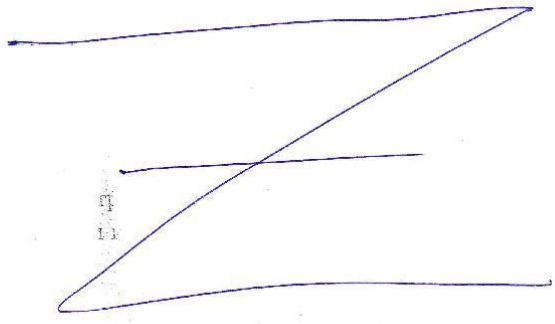
5.3. В случае разглашения Лицензиатом указанных сведений Лицензиат возместит Лицензиару понесенные в связи с этим убытки.

6. РАЗРЕШЕНИЕ СПОРОВ

6.1. В случае возникновения споров между Лицензиаром и Лицензиатом по вопросам, предусмотренным настоящим Договором, стороны примут все меры к разрешению их путем переговоров между собой либо в установленном законодательством порядке.

7. СРОК ДЕЙСТВИЯ ДОГОВОРА

7.1 Настоящий Договор вступает в силу с момента его подписания сторонами и действует в течение 10 лет на территории Российской Федерации.



8. ФОРС-МАЖОР

8.1. При наступлении обстоятельств невозможности полного или частичного исполнения любой из сторон обязательств по настоящему договору, а именно: при пожаре, стихийном бедствии и других не зависящих от сторон обстоятельствах, ни одна из сторон не будет нести ответственности.

9. РЕКВИЗИТЫ И ПОДПИСИ СТОРОН

Лицензиар

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Самарский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «СамГТУ»)
Юридический адрес: 443100, Российская Федерация, г. Самара., ул. Молодогвардейская, д.244
Фактический адрес: 443100, Российская Федерация, г. Самара., ул. Молодогвардейская, д.244
ИНН 6315800040
КПП 631631001
ОГРН 1026301167683
Банковские реквизиты:
УФК по Самарской области (НИЧ ФГБОУ ВО «СамГТУ» л/с 20426Х73200) р/с 4055501888810836012000002 в ОТДЕЛЕНИЕ САМАРА
БИК 043601001
ОКОПО 02068396
ОКВЭД 73.10., 73.20
ОКТМО 36701000

Лицензиат

Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИПУСС РАН – СамНЦ РАН)
Адрес: 443020, Российская Федерация, г. Самара, ул. Садовая, 61
ИНН 6316032112 / КПП 631745001,
В УФК по Самарской области 22.08.2019 г. ИПУСС РАН открыт лицевой счет 20426Г44370:
р/сч 40501810836012000002,
БИК 043601001, ПОВОЛЖСКОГО БАНКА СБЕРБАНКА РОССИИ
ОКПО 094655724
ГРН 1036300448898

Первый проректор - проректор по научной работе

_____ А.В. Лещев

М.П.

Директор

_____ О.Ю. Боровик

М.П.

Правовое управление

«13» 11 2019 г.

Экземпляр СамГТУ

Лицензионный договор № 2/19

о предоставлении права использования результатов интеллектуальной деятельности

г. Самара «18» ноября 2019 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет» в лице первого проректора-проректора по научно работе Ненашева Максима Владимировича, действующего на основании доверенности 63 А А 3717401 от 06.06.2016г., именуемое в дальнейшем «Лицензиар» с одной стороны и общество с ограниченной ответственностью «Технологические покрытия» в лице директора Нечаева Ильи Владимировича, действующего на основании Устава, именуемое в дальнейшем «Лицензиат», с другой стороны, договорились о нижеследующем:

1. ПРЕДМЕТ ДОГОВОРА

1.1. Предметом настоящего Лицензионного договора является безвозмездная передача Лицензиаром простой (неисключительной) лицензии на базу данных №2019621435 «База данных по технологиям утилизации отходов нефтегазового комплекса» сроком на 10 лет.

Лицензиат не имеет права передавать третьим лицам права, принадлежащие ему на основании настоящего Лицензионного договора.

1.2. База данных являются результатом интеллектуальной деятельности (далее РИД) Правообладателя и защищается законодательством Российской Федерации об авторском праве, а также соответствующим свидетельством о государственной регистрации (указать название и номера регистрации

1.3. Лицензиар сохраняет за собой право самому использовать РИД и предоставлять неисключительные лицензии на право его использования третьим лицам.

2. УСЛОВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РИД

2.1. Лицензиат имеет право использовать РИД на пяти рабочих местах (или серверах) в соответствии с объемом и типом приобретенных Лицензий, назначением и правилами пользования, изложенными в эксплуатационной документации.

2.2. Лицензиат обязуется не распространять РИД третьим лицам путем продажи, проката, сдачи внаем, предоставления взаймы или иными другими способами отчуждения.

3. ГАРАНТИИ И ОБЯЗАТЕЛЬСТВА СТОРОН

3.1. Лицензиар заявляет, что он вправе предоставлять лицензию на РИД, и что на момент подписания настоящего Договора ему ничего не известно о правах третьих лиц, которые могли бы быть нарушены предоставлением данных лицензий.

3.2. Лицензиат обязуется применять предмет лицензий в соответствии инструкциями Лицензиара.

4. ЗАЩИТА ПЕРЕДАВАЕМЫХ ПРАВ

4.1. В случае противоправного использования третьими лицами РИД, ставшем известным Лицензиату, а также в случае предъявления к Лицензиату претензий или исков по поводу нарушения им прав третьих лиц в связи с использованием лицензий по настоящему Договору, он незамедлительно уведомит об этом Лицензиара. В обоих случаях Лицензиар обязуется урегулировать такие претензии или предпринять иные действия, исключающие возникновение убытков и расходов для Лицензиата.

4.2. В течение всего срока настоящего Договора Лицензиат признает и будет признавать действительность прав Лицензиара.

5. КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТЬ

5.1. Стороны обязуются сохранять конфиденциальность полученной от Лицензиара информации, касающейся РИД.

5.2. Стороны предпримут все меры для того, чтобы предотвратить полное или частичное разглашение указанных сведений или ознакомление с ними третьих лиц без взаимной договоренности.

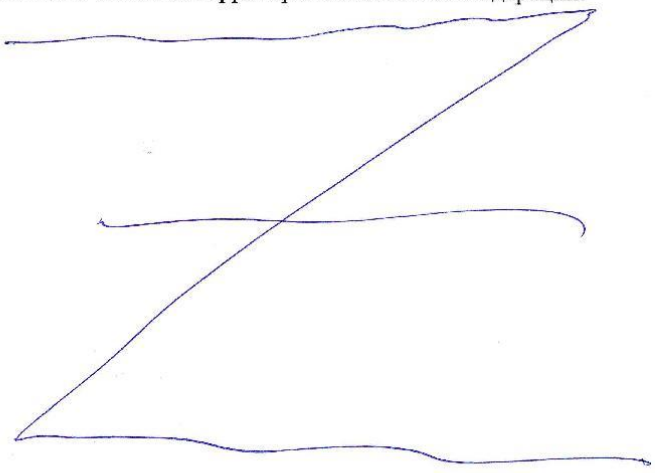
5.3. В случае разглашения Лицензиатом указанных сведений Лицензиат возместит Лицензиару понесенные в связи с этим убытки.

6. РАЗРЕШЕНИЕ СПОРОВ

6.1. В случае возникновения споров между Лицензиаром и Лицензиатом по вопросам, предусмотренным настоящим Договором, стороны примут все меры к разрешению их путем переговоров между собой либо в установленном законодательством порядке.

7. СРОК ДЕЙСТВИЯ ДОГОВОРА

7.1 Настоящий Договор вступает в силу с момента его подписания сторонами и действует в течение 10 лет на территории Российской Федерации.



8. ФОРС-МАЖОР

8.1. При наступлении обстоятельств невозможности полного или частичного исполнения любой из сторон обязательств по настоящему договору, а именно: при пожаре, стихийном бедствии и других не зависящих от сторон обстоятельствах, ни одна из сторон не будет нести ответственности.

9. РЕКВИЗИТЫ И ПОДПИСИ СТОРОН

Лицензиар	Лицензиат
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Самарский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «СамГТУ») Юридический адрес: 443100, Российская Федерация, г. Самара., ул. Молодогвардейская, д.244 Фактический адрес: 443100, Российская Федерация, г. Самара., ул. Молодогвардейская, д.244 ИНН 6315800040 КПП 631631001 ОГРН 1026301167683 Банковские реквизиты: УФК по Самарской области (НИЧ ФГБОУ ВО «СамГТУ» л/с 20426Х73200) р/с 40555018888108360120000002 в ОТДЕЛЕНИЕ САМАРА БИК 043601001 ОКОПО 02068396 ОКВЭД 73.10., 73.20 ОКТМО 36701000	ООО «Технологические покрытия» Место нахождения/почтовый адрес: 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д.244 тел. (846) 337-04-72 ИНН 6316150934 КПП 631601001 ОГРН 1096316015190 ОКПО 62475481 Банковские реквизиты: р/с 40702810603000066693 ПРИВОЛЖСКИЙ Ф-Л ПАО "ПРОМСВЯЗЬБАНК" Г . НИЖНИЙ НОВГОРОД к/с 30101810700000000803 БИК 042202803
Первый проректор - проректор по научной работе	Директор
М.В.Нечаев М.П.	И.В.Нечаев М.П.

Правовое управление
«19» 11 2019 г.
(подпись)

Экземпляр СамГТУ

Лицензионный договор № 4/19

о предоставлении права использования результатов интеллектуальной деятельности

г. Самара «18» ноября 2019 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет» в лице первого проректора-проректора по научно работе Ненашева Максима Владимировича, действующего на основании доверенности 63 А А 3717401 от 06.06.2016г., именуемое в дальнейшем «Лицензиар» с одной стороны и общество с ограниченной ответственностью «Технологические покрытия» в лице директора Нечаева Ильи Владимировича, действующего на основании Устава, именуемое в дальнейшем «Лицензиат», с другой стороны, договорились о нижеследующем:

1. ПРЕДМЕТ ДОГОВОРА

1.1. Предметом настоящего Лицензионного договора является безвозмездная передача Лицензиаром простой (неисключительной) лицензии на базу данных №2019621436 «База данных по отходам нефтегазового комплекса» сроком на 10 лет.

Лицензиат не имеет права передавать третьим лицам права, принадлежащие ему на основании настоящего Лицензионного договора.

1.2. База данных являются результатом интеллектуальной деятельности (далее РИД) Правообладателя и защищается законодательством Российской Федерации об авторском праве, а также соответствующим свидетельством о государственной регистрации (указать название и номера регистрации

1.3. Лицензиар сохраняет за собой право самому использовать РИД и предоставлять неисключительные лицензии на право его использования третьим лицам.

2. УСЛОВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РИД

2.1. Лицензиат имеет право использовать РИД на пяти рабочих местах (или серверах) в соответствии с объемом и типом приобретенных Лицензий, назначением и правилами пользования, изложенными в эксплуатационной документации.

2.2. Лицензиат обязуется не распространять РИД третьим лицам путем продажи, проката, сдачи внаем, предоставления взаймы или иными другими способами отчуждения.

3. ГАРАНТИИ И ОБЯЗАТЕЛЬСТВА СТОРОН

3.1. Лицензиар заявляет, что он вправе предоставлять лицензию на РИД, и что на момент подписания настоящего Договора ему ничего не известно о правах третьих лиц, которые могли бы быть нарушены предоставлением данных лицензий.

3.2. Лицензиат обязуется применять предмет лицензий в соответствии инструкциями Лицензиара.

4. ЗАЩИТА ПЕРЕДАВАЕМЫХ ПРАВ

4.1. В случае противоправного использования третьими лицами РИД, ставшем известным Лицензиату, а также в случае предъявления к Лицензиату претензий или исков по поводу нарушения им прав третьих лиц в связи с использованием лицензий по настоящему Договору, он незамедлительно уведомит об этом Лицензиара. В обоих случаях Лицензиар обязуется урегулировать такие претензии или предпринять иные действия, исключающие возникновение убытков и расходов для Лицензиата.

4.2. В течение всего срока настоящего Договора Лицензиат признает и будет признавать действительность прав Лицензиара.

5. КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТЬ

5.1. Стороны обязуются сохранять конфиденциальность полученной от Лицензиара информации, касающейся РИД.

5.2. Стороны предпримут все меры для того, чтобы предотвратить полное или частичное разглашение указанных сведений или ознакомление с ними третьих лиц без взаимной договорснности.

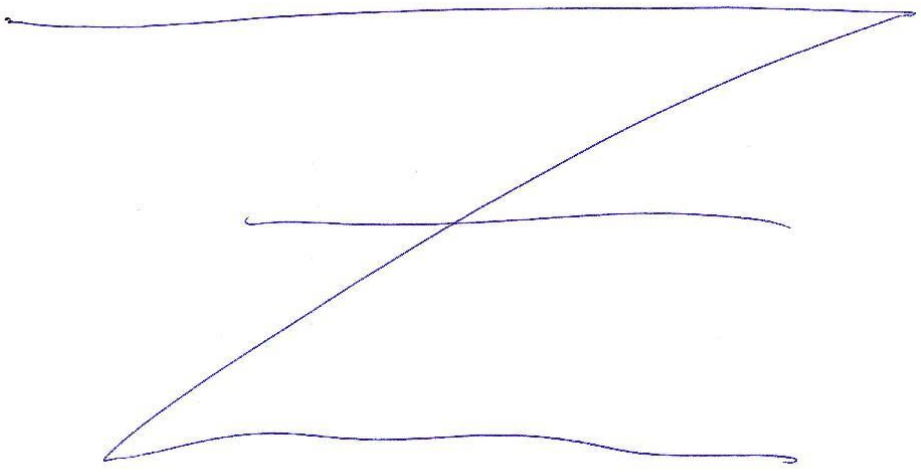
5.3. В случае разглашения Лицензиатом указанных сведений Лицензиат возместит Лицензиару понесенные в связи с этим убытки.

6. РАЗРЕШЕНИЕ СПОРОВ

6.1. В случае возникновения споров между Лицензиаром и Лицензиатом по вопросам, предусмотренным настоящим Договором, стороны примут все меры к разрешению их путем переговоров между собой либо в установленном законодательством порядке.

7. СРОК ДЕЙСТВИЯ ДОГОВОРА

7.1 Настоящий Договор вступает в силу с момента его подписания сторонами и действует в течение 10 лет на территории РФ.



8. ФОРС-МАЖОР

8.1. При наступлении обстоятельств невозможности полного или частичного исполнения любой из сторон обязательств по настоящему договору, а именно: при пожаре, стихийном бедствии и других не зависящих от сторон обстоятельствах, ни одна из сторон не будет нести ответственности.

9. РЕКВИЗИТЫ И ПОДПИСИ СТОРОН

Лицензиар	Лицензиат
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Самарский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «СамГТУ») Юридический адрес: 443100, Российская Федерация, г. Самара., ул. Молодогвардейская, д.244 Фактический адрес: 443100, Российская Федерация, г. Самара., ул. Молодогвардейская, д.244 ИНН 6315800040 КПП 631631001 ОГРН 1026301167683 Банковские реквизиты: УФК по Самарской области (НИЧ ФГБОУ ВО «СамГТУ» л/с 20426Х73200) р/с 40555018888108360120000002 в ОТДЕЛЕНИЕ САМАРА БИК 043601001 ОКОПО 02068396 ОКВЭД 73.10., 73.20 ОКТМО 36701000	ООО «Технологические покрытия» Место нахождения/почтовый адрес: 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д.244 тел. (846) 337-04-72 ИНН 6316150934 КПП 631601001 ОГРН 1096316015190 ОКПО 62475481 Банковские реквизиты: р/с 40702810603000066693 ПРИВОЛЖСКИЙ Ф-Л ПАО "ПРОМСВЯЗЬБАНК" Г . НИЖНИЙ НОВГОРОД к/с 30101810700000000803 БИК 042202803
Первый проректор - проректор по научной работе _____ М.В.Немцев М.П.	Директор _____ И.В. Нечаев М.П.

Правовое управление
«19» 11 2019 г.
(подпись)

ПРИЛОЖЕНИЕ В – Акт об использовании результатов диссертации в учебном процессе

Утверждаю:
Проректор по учебной работе
ФГБОУ ВО «Самарский
государственный технический
университет»
профессор
_____Юсупова О.В.
«_03_»___04_____2024 г.

АКТ
научно-технической комиссии о внедрении результатов
диссертационной работы на соискание ученой степени
доктора технических наук
Деревянова Максима Юрьевича
на тему «Методология системного анализа и оптимизации сложно-структурированного комплекса переработки нефтесодержащих отходов в нефтегазовой промышленности»

Комиссия в составе д.т.н., зав. кафедрой Лившица М.Ю., к.т.н., доцента Гавриловой А.А., к.т.н., доцента Серенкова В.Е. составила настоящий акт о том, что результаты, полученные в рамках диссертационной работы Деревянова М.Ю., внедрены в учебный процесс на кафедре «Управление и системный анализ теплоэнергетических и социотехнических комплексов» при подготовке бакалавров по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» и магистров по направлению 13.04.01 «Оптимизация и интеллектуализация автоматизированных процессов управления в теплоэнергетике и энерготехнологиях».

Результаты научных исследований, полученные Деревяновым М.Ю., использованы при чтении лекций и проведении занятий по дисциплинам «Интегрированные системы проектирования и управления», «Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнике», «Современные проблемы управления технологическими процессами в теплоэнергетике и теплотехнике».

Реализация полученных автором результатов исследований позволила повысить эффективность и качество учебного процесса.

Заведующий кафедрой
«Управление и системный анализ
теплоэнергетических и социотехнических
комплексов»,
д.т.н., процессор _____ М. Ю. Лившиц

Доцент, к.т.н., доцент _____ А. А. Гаврилова

Доцент, к.т.н., доцент _____ В. Е. Серенков

ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Заключение квалификационной комиссии по тематике диссертационной работы в рамках выступления на Казанской мультиконференции ММТТ-37 (Казань, 2024 г.)

УТВЕРЖДАЮ

Президент Академии наук РТ,
заместитель председателя
организационного комитета
Международной научной
Казанской мультиконференции,
д.т.н., профессор

Р.Н. Минниханов
«__» _____ 2024 г.
М.П.

г. Казань

04 июня 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
квалификационной комиссии
по тематике диссертационной работы Деревянова Максима Юрьевича
«Методология системного анализа и оптимизации сложно-структурированного комплекса переработки нефтесодержащих отходов в нефтегазовой промышленности»
на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности
2.3.1 - Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Присутствовали:

1. Ахмадиев Фаил Габдулбарович, д.т.н., профессор, зав. кафедрой прикладной математики института транспортных сооружений, Казанский государственный архитектурно- строительный университет;
2. Богомолов Алексей Валерьевич, д.т.н., профессор, Главный научный сотрудник, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН;
3. Булдакова Татьяна Ивановна, д.т.н., профессор. каф. ИУ6 «Компьютерные системы и сети», Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана;
4. Вешнева Ирина Владимировна, д.т.н., доцент, профессор кафедры информационных систем и технологий в обучении, Факультет компьютерных наук и информационных технологий, Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского;
5. Виноградов Геннадий Павлович, д.т.н., профессор, профессор кафедры Информатики и прикладной математики, Тверской государственный технический университет;
6. Гермашев Илья Васильевич, д.т.н., профессор, профессор Волгоградского государственного университета;
7. Дегтярев Геннадий Лукич, д.т.н., профессор, профессор кафедры автоматики и управления, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ;

8. Зиятдинов Надир Низамович, д.т.н., профессор, профессор кафедры системотехники, институт управления, автоматизации и информационных технологий, Казанский национальный исследовательский технологический университет;
9. Катасёв Алексей Сергеевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры систем информационной безопасности, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ;
10. Котенко Игорь Витальевич, д.т.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории проблем компьютерной безопасности, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН;
11. Кравец Алла Григорьевна, д.т.н., профессор, профессор кафедры САПР и ПК, Волгоградский государственный технический университет;
12. Лившиц Михаил Юрьевич, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Управление и системный анализ теплоэнергетических и социотехнических комплексов», Самарский государственный технический университет;
13. Плешивцева Юлия Эдгаровна, д.т.н., профессор, профессор Самарского государственного технического университета;
14. Проталинский Олег Мирославович, д.т.н., профессор, профессор Московского энергетического университета (МЭИ);
15. Славин Олег Анатольевич, г.н.с., д.т.н., Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук».
16. Степанов Михаил Федорович, д.т.н., доцент, профессор кафедры ««Системотехника и управление в технических системах», Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.;
17. Хоперсков Александр Валентинович, д.ф-м.н., профессор, зав. кафедрой Волгоградского государственного университета
18. Хранилов Валерий Павлович. д.т.н., профессор, профессор кафедры «Компьютерные технологии в проектировании и производстве», Институт радиоэлектроники и информационных технологий, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева;
19. Чернышев Сергей Леонидович, д.т.н., профессор, профессор Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана;
20. Чистякова Тамара Балабековна, д.т.н., профессор, зав. кафедрой САПРиУ, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет);
21. Щербаков Максим Владимирович, д.т.н., профессор, зав. кафедрой САПР и ПК, Волгоградский государственный технический университет;
22. Ющенко Аркадий Семенович, д.т.н., профессор, профессор Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана.

В представленной диссертационной работе построены теоретические и системно-методические основы для решения актуальной проблемы повышения эффективности по комплексным критериям качества функционирования комплекса переработки нефтесодержащих отходов в нефтегазовой промышленности с целью минимизации его

антропогенного воздействия на окружающую среду при обеспечении максимального сбережения материальных ресурсов и расхода энергии.

Решение проблемы осложняется необходимостью учета существующих региональных особенностей нефтегазовой промышленности, связанных с разнородностью физических основ процессов переработки и использования отходов, различием в географических, социально-экономических и промышленно-технологических условиях, нестабильностью составов исходного сырья и вторичных продуктов, постоянно ужесточающимися требованиями, предъявляемыми к качеству выходного продукта на мировом и внутреннем рынках, сложной и неблагоприятной экологической ситуацией во многих Российских регионах.

В диссертации получены следующие научно-технические результаты, предназначенные для использования в нефтегазовой промышленности:

- методология решения актуальной проблемы переработки нефтесодержащих отходов, основанная на интеграции методов системного анализа и оптимизации;
- методика системного анализа и оптимизации комплекса переработки нефтесодержащих отходов;
- проблемно-ориентированные модели для определения оценок эффективности объектов комплекса переработки нефтесодержащих отходов, предназначенные для постановки и решения задач многофакторного анализа и оптимизации;
- методы и алгоритмы решения задач многофакторного анализа системы комплексной переработки нефтесодержащих отходов, которые позволяют качественно и количественно оценить её функциональные и масштабные характеристики по критериям ресурсной ценности и потенциала, экологической безопасности, эффективности использования ресурсов и энергии, а также общей эффективности системы;
- алгоритмы и процедуры решения задачи оптимизации, направленные на максимальную эффективность технологических процессов переработки нефтесодержащих отходов;
- специализированное программное обеспечение, предназначенное для апробации и реализации разработанных методик системного анализа, алгоритмов многофакторного анализа и оптимизации комплексной переработки нефтесодержащих отходов;
- алгоритм выбора и принятия управленческих решений в сложно-структурированной системе переработки НСО для повышения эффективности управления в нефтегазовой промышленности на оперативном и стратегическом уровнях.

Содержание диссертационной работы соответствует научной специальности 2.3.1 - Системный анализ, управление и обработка информации, статистика, соответствует требованиям ВАК при Минобрнауки РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук.

Рекомендуется:

- доработать точность формулировок в презентации: минимизация антропогенного воздействия на окружающую среду достигается закрытием комплекса; проблема антропогенного воздействия на окружающую среду должна рассматриваться в контексте интересов, связанных с использованием системы, поэтому возникает необходимость исследования класса систем, которые создаются не под экзогенные заданные цели, а для реализации определенных интересов; в таких

системах мотивация активности и формирование управляющих действий основываются на интересах и на стремлении к их реализации;
- уточнить методы, применяемые для решения задачи многокритериальной оптимизации;
- уточнить отличия предлагаемой методологии от существующих подходов к системному анализу сложных технических систем.

Руководитель рабочей группы, проф.
региональный представитель МНК ММТТ-37
по г. Казани

Катасёв А.С.