

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

МЕЙКЕ Ульяна Николаевна

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН
ДЛЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

Специальность 2.5.11. Наземные транспортно-технологические
средства и комплексы

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Добромиров Виктор Николаевич

Санкт-Петербург – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ В РФ И СОВРЕМЕННЫЕ НАУЧНЫЕ ПОДХОДЫ К ОБОСНОВАНИЮ ВЫБОРА ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН В ИНТЕРЕСАХ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ	14
1.1 Перспективы строительства автомобильных дорог в РФ и его обеспечения средствами механизации	14
1.1.1 Перспективы развития автомобильно-дорожной сети в Российской Федерации	14
1.1.2 Состояние и перспективы развития системы обеспечения дорожного строительства средствами механизации	18
1.2 Современное состояние научных исследований в области оценки конкурентоспособности, качества и технического уровня продукции машиностроения	25
1.2.1 Развитие методологии оценки конкурентоспособности, качества и технического уровня промышленной продукции	25
1.2.2 Обзор современных исследований в области оценки конкурентоспособности, качества и технического уровня транспортных и транспортно-технологических машин	26
1.2.3 Анализ методических подходов к оценке качества и технического уровня транспортных и транспортно-технологических машин	40
ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯТЕЛЬНОСТИ И ПУТЕЙ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ВЫБОРА МОДЕЛЕЙ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН ПОТРЕБИТЕЛЕМ	47
2.1 Обоснование перечня значимых для оценки технического уровня показателей эксплуатационных свойств машин	47

2.2 Матричный метод интегральной сравнительной оценки технического уровня машин по максимальным и минимальным значениям показателей эксплуатационных свойств (на примере землевозов – строительных автосамосвалов)	55
2.2.1 Оценки технического уровня строительных автосамосвалов матричным методом	56
2.2.2 Оценка достаточности значимых показателей эксплуатационных свойств автосамосвалов для оценки их технического уровня матричным методом	59
2.2.3 Метод определения путей повышения технического уровня образцов на основе матричного анализа	63
2.3 Метод прямого ранжирования на основе экспертных оценок значимости показателей эксплуатационных свойств	69
2.4 Метод кластерного ранжирования на основе экспертных оценок коэффициентов весомости единичных и комплексных показателей эксплуатационных свойств	76
2.5 Анализ результатов расчетов технического уровня различными методами и обоснование направления их совершенствования	82
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН	87
3.1 Обоснование выбора метода многокритериальной оптимизации для сравнительной оценки технического уровня изделий машиностроения.....	87
3.2 Многокритериальная оптимизационная математическая модель оценки технического уровня дорожно-строительных машин	103
3.3 Алгоритм решения задачи сравнительной оценки технического уровня дорожно-строительных машин с применением программы для ЭВМ	108

ГЛАВА 4. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ ТРАДИЦИОННЫХ И РАЗРАБОТАННОГО МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН	112
4.1 Оценка технического уровня землеройно-транспортных машин методом кластерного ранжирования	112
4.1.1 Оценка технического уровня экскаваторов	112
4.1.2 Оценка технического уровня бульдозеров	115
4.1.3 Оценка технического уровня скреперов	118
4.2 Оценка информативности предлагаемого метода многокритериальной оптимизации при определении технического уровня землеройно-транспортных машин	121
4.2.1 Сравнительная оценка информативности методов определения технического уровня строительных автосамосвалов...	121
4.2.2 Сравнительная оценка информативности методов определения технического уровня экскаваторов	123
4.2.3 Сравнительная оценка информативности методов определения технического уровня бульдозеров	124
4.2.4 Сравнительная оценка информативности методов определения технического уровня самоходных скреперов	125
4.3 Сравнительная оценка конкурентоспособности транспортно- технологических машин с использованием метода многокритериальной оценки их технического уровня	126
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	132
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	135
ПРИЛОЖЕНИЯ	148

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Для России развитие автомобильно-дорожной сети является важной стратегической задачей, имеющей ключевое значение в обеспечении роста экономики страны [1,2]. Важную роль в функционировании системы дорожного строительства играет обеспеченность работ транспортно-технологическими средствами и комплексами [3]. Высокая стоимость механизации дорожного строительства определяет повышенный интерес производителей работ к рациональному выбору дорожно-строительных машин из значительного количества моделей одного типоразмера, представленных на отечественном рынке. Существующие методы оценки конкурентоспособности машин сложны и наукоемки, а их проведение в отношении всех моделей одного типоразмера весьма трудоемко [4]. Представляется целесообразным предварительный отбор для сравнения минимального числа потенциально лидирующих образцов, основанный на экспресс-оценке их технического уровня (ТУ). Широко используемые в современной практике научные методы таких оценок основаны на проведении экспертных исследований по обоснованию номенклатуры и степени значимости каждого из показателей эксплуатационных свойств машин, используемых при оценке ТУ образца. Однако установлено, что такой подход может давать неоднозначные и неочевидные результаты в определении приоритета при выборе образца. Это в полной мере относится и к дорожно-строительным машинам. В такой ситуации являются актуальными как усовершенствование традиционных методов сравнительной оценки их ТУ в части повышения объективности и информативности, так и разработка новых теоретических подходов к решению этой задачи. Решить поставленную задачу представляется возможным на основе применения многокритериальных оптимизационных математических моделей [5].

Степень разработанности проблемы. Оценка конкурентоспособности и технического уровня, как комплексного показателя качества промышленной продукции, базируются на основополагающих трудах ученых американской,

японской и европейской школ всеобщего управления качеством У.Э. Шухарта, Д. Гарвина, Э. Доминга, Д. Джурана, Исикавы, Кано и др., обобщенных в 1970...80-х годах прошлого века советскими учеными А.В. Гличевым и Я.Б. Шором [6, 7]. Их результаты воплотили в себе наиболее значимые отечественные и зарубежные подходы того времени и легли в основу разработки ряда нормативных документов, рекомендованных к применению в масштабах машиностроительной отрасли.

На основополагающих рекомендациях этих исследований в настоящее время базируется большинство научно-методических разработок в области оценки технического уровня транспортных и транспортно-технологических машин (ТТМ), нашедших отражение в трудах современных российских ученых Аркатовой Н.А., Афанасьева А.С., Басманова С.В., Бородиной Ю.В., Буянкина А.В., Воронова А.Ю., Воронова Ю.Е., Глебова А.В., Добромирова В.Н., Загребельной Н.С., Клековкина В.С., Козловского В.Н., Костина И.М., Кришталя Н.В., Крылова В.П., Лифица И.М., Кутькова Г.М., Мандровского К.П., Парфенова А.П., Поповой Е.В., Репина С.В., Романенко А.А., Смирновой О.В., Смирнова П.И., Тарана В.А., Фасхиева Х.А., Шайхутдинова И.Ф. и др. Обзор их работ [8-38] свидетельствует о том, что вопросы оценки конкурентоспособности, качества и технического уровня продукции машиностроения остается крайне актуальным и активно исследуется не одно десятилетие. Однако, несмотря на это, общепринятого подхода к оценке технического уровня и качества большинства видов продукции не существует. Это позволяет каждому исследователю предлагать свой состав и значимость показателей эксплуатационных свойств для оценки, что формирует индивидуальную особенность каждого предлагаемого метода. Основным принципом формирования перечня показателей для оценки технического уровня является выбор свойств объекта, отражающих для потребителя максимальный полезный эффект при его эксплуатации. Этим объясняется стремление современных исследователей к увеличению количества оценочных показателей. Однако, в трудах отечественных ученых Чудакова Е.А., Великанова Д.П., Гольда Б.В., Зимелева Г.В., Илларионова В.А., Ипатова М.И., Островцева А.Н., Фалькевича Б.С. [39-46], занимавшихся проблемой сравнительной оценки

технического уровня автотранспортных средств, отмечается, что значительное увеличение количества показателей повышает объективность оценки несущественно. В связи с этим при обосновании номенклатуры показателей эксплуатационных свойств любых транспортно-технологических машин в интересах их сравнительной оценки для определения предпочтений потребителя, целесообразно стремиться к сокращению их количества до минимально необходимого и достаточного уровня.

В работах Смирнова П.И. [34] и Бородиной Ю.В. [11] отмечена проблематичность применения традиционных методов сравнительной оценки технического уровня, основанных на экспертных исследованиях, в условиях высокой схожести значений показателей эксплуатационных свойств машин, что характерно для современного уровня развития техники, технологий и жесткой регламентации требований по безопасности, эргономичности и экологичности. В такой ситуации существенно снижается информативность этих методов и очевидность в выборе приоритета.

Таким образом, современная потребность в усовершенствовании существующих и разработке новых методов научного обоснования приоритета в выборе потребителем ТТМ для дорожно-строительной отрасли, основанных на оценке их ТУ, послужила основанием для постановки цели диссертационного исследования.

Цель исследования. Усовершенствование существующих и разработка новых научных методов сравнительной оценки ТУ транспортно-технологических машин для дорожно-строительной отрасли, обеспечивающих обоснованный выбор потребителем конкурентоспособных моделей.

Задачи исследования.

1. Исследование перспектив развития дорожно-строительного производства в РФ и современного состояния его обеспечения средствами механизации.
2. Анализ традиционных методов оценки ТУ продукции машиностроения, исследование возможности их адаптации к применению в интересах определения ТУ транспортно-технологических машин дорожно-строительного назначения.

3. Уточнение традиционных методов в интересах оценки ТУ землеройных машин, как одного из наиболее представительных видов ТТМ дорожно-строительного назначения, путем обоснования на основе экспертных исследований номенклатуры значимых показателей эксплуатационных свойств, коэффициентов их весомости в формировании ТУ и распределения по функциональным кластерам.

4. Оценка информативности традиционных методов и обоснование областей их целесообразного применения в задачах определения ТУ и направлений конструктивного усовершенствования транспортно-технологических средств (на примере землеройных машин).

5. Разработка метода безэкспертной сравнительной оценки ТУ транспортно-технологических машин на основе многокритериальной оптимизационной математической модели.

6. Разработка алгоритма и программного обеспечения для компьютерной реализации метода сравнительной оценки ТУ транспортно-технологических машин на основе многокритериальной оптимизационной математической модели.

7. Апробация разработанного метода путем оценки его информативности в сравнении с традиционными методами при определении технического уровня машин.

Объект исследования. Транспортно-технологические машины дорожно-строительного назначения.

Предмет исследования. Методы оценки технического уровня транспортно-технологических машин для дорожно-строительной отрасли.

Рабочая гипотеза. При принятии потребителем решения о выборе ТТМ в условиях неопределенности в перечне значимых показателей их эксплуатационных свойств, необходимости сравнения показателей, обладающих высокой схожестью значений, недостаточной информативности существующих методов оценки ТУ полагаться на опыт экспертов недостаточно. Для решения таких задач целесообразно использовать многокритериальные оптимизационные математические модели, обеспечивающие выбор машины на основе полного

перебора всех возможных вариантов приоритетов значимости исследуемых показателей эксплуатационных свойств.

Научная новизна исследования

1. Обоснована номенклатура значимых показателей эксплуатационных свойств землеройных дорожно-строительных машин (экскаваторов, бульдозеров, скреперов и строительных автосамосвалов), рекомендуемых к применению для оценки их ТУ, предложена кластеризация этих показателей для каждого из указанных видов машин, обоснованы коэффициенты весомости единичных и комплексных показателей их эксплуатационных свойств.

2. Уточнены традиционные методы оценки ТУ изделий промышленного производства в применении к транспортно-технологическим дорожно-строительным машинам с позиции определения предпочтений в выборе образцов потребителем, отличающиеся использованием обоснованно минимизированного перечня значимых показателей свойств, предложенным их распределением в кластеры и применением предлагаемых коэффициентов их весомости. Обоснованы области целесообразного применения этих методов при оценке ТУ и направлений конструктивного совершенствования машин.

3. Разработан метод безэкспертного обоснования предпочтений потребителя в выборе ТТМ из предлагаемого ряда на основе сравнительной оценки их ТУ с использованием многокритериальной оптимизационной математической модели.

4. Разработан алгоритм и программное обеспечение для компьютерной реализации метода сравнительной оценки образцов с использованием многокритериальной оптимизационной математической модели.

Теоретическая значимость исследования состоит в дальнейшем развитии научно-методических подходов к оценке технического уровня изделий машиностроения в части повышения их объективности и информативности. Предложен новый метод безэкспертной оценки приоритета при выборе образца потребителем на основе использования многокритериальной оптимизационной математической модели и разработано программное обеспечение его реализации.

Практическая значимость исследования. Предложенные усовершенствованные методы оценки ТУ транспортно-технологических машин и определения путей его повышения, обладающие повышенной объективностью и информативностью, предлагается использовать в практической деятельности потребителей для первичного обоснования приоритета при выборе ими образца из предлагаемого перечня машин одного типоразмера, а также производителями машин при определении направлений их технического усовершенствования.

Реализация результатов исследования. Результаты исследования используются при выборе моделей землеройных и транспортных машин для пополнения парков дорожно-строительной техники предприятиями ООО «Лидер-Строй» (г. Нижний Новгород) при ремонте и строительстве автомобильной дороги М7 «Волга», АО «ПО РосДорСтрой» (Новгородская обл., г. Валдай) при обслуживании кольцевой автомобильной дороги А118, ООО «Миларин» (г. Санкт-Петербург) для обоснования рационального состава автомобильного парка предприятия, а также внедрены в учебный процесс СПбГАСУ при изучении дисциплин «Автотракторный транспорт» (специальность 23.05.01 НТТС, Подъемно-транспортные, строительные, дорожные средства и оборудование) и «Исследования и испытания наземных транспортно-технологических машин» (направление подготовки 15.04.03 ПМХ, Вычислительная механика транспортных систем).

Методология и методы исследования. Выполненные исследования базируются на использовании общенаучных методов анализа и синтеза. Для обоснования номенклатуры и коэффициентов весомости показателей свойств проведены экспертные исследования, корректность которых проверена по показателю согласованности мнений экспертов – коэффициенту конкордации. Оценка ТУ сравниваемых образцов проведена методами прямого и кластерного ранжирования, а также методом матричного анализа. Разработка метода безэкспертной сравнительной оценки ТУ транспортно-технологических машин базируется на классических положениях теории вероятностей и многокритериальной оптимизации.

Положения, выносимые на защиту.

1. Номенклатура показателей значимых эксплуатационных свойств для проведения потребителем сравнительных оценок ТУ землеройных машин, система их кластеризации, коэффициенты весомости единичных и комплексных показателей.

2. Уточненные методы экспертной сравнительной оценки ТУ транспортно-технологических машин, результаты исследования их состоятельности и применимости при обосновании приоритета в выборе машины потребителем (на примере землеройных машин).

3. Метод сравнительной оценки ТУ транспортно-технологических машин с использованием многокритериальной оптимизационной математической модели.

4. Результаты апробации разработанного метода путем оценки его информативности в сравнении с традиционными методами при определении технического уровня машин.

Область исследования соответствует паспорту научной специальности ВАК: 2.5.11. Наземные транспортно-технологические средства и комплексы, а именно: п.2. «Методы расчета и проектирования, направленные на создание новых и совершенствование существующих транспортно-технологических средств и их комплексов с учетом полного жизненного цикла изделий, обладающих высоким качеством, в том числе повышенными показателями экономичности, надежности, производительности, экологичности и эргономичности, обеспечивающих энергоэффективность и безопасность эксплуатации»; п.4. «Техническая эксплуатация транспортно-технологических средств и их комплексов».

Достоверность исследования. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций определяется корректностью поставленных задач, решение которых базируется на использовании фундаментальных и достоверно изученных научных положений, обеспечивается использованием современного математического аппарата, апробированных методик теоретических исследований, привлечением к экспертным исследованиям высококвалифицированных специалистов.

Апробация результатов работы. Результаты работы обсуждались на 70-й, 72-й, 74-й и 75-й научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Актуальные проблемы современного строительства» (г. Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 2017, 2019, 2021, 2022 гг.); II и V Всероссийских межвузовских конференциях «Магистерские слушания» (г. Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 2017 и 2020 гг.); 14-й международной научно-практической конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» – XIV International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities (OTS-2020) – (г. Санкт-Петербург, 21–24 октября 2020 г.); 25-й московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы» (г. Москва, 2021 г.); I и II Международной конференции «Транспортная доступность Арктики: Сети и системы» (г. Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 2021 и 2022 гг.); II и III Всероссийском научном семинаре «Техническое обеспечение доступности Арктических регионов» (г. Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 2021 и 2022 гг.); XXXV Национальной научно-технической конференции «Улучшение эксплуатационных показателей и технический сервис автомобилей, тракторов и двигателей», посвященной 100-летию Инженерно-технологического факультета (г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, СПбГАУ, 2022 г.); LXXVI Научной конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов университета «Архитектура – строительство – транспорт» (г. Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 18–21 октября 2022 г.).

Личный вклад автора. Автором проведен информационный поиск по обоснованию направления исследования, сформулированы его цель и задачи, выдвинута рабочая гипотеза исследования. Организованы экспериментальные исследования по экспертной оценке номенклатуры и коэффициентов весомости значимых показателей эксплуатационных свойств, обработаны их результаты и обоснованы рекомендации по применению. Проведены расчетные исследования по оценке состоятельности традиционных методов определения ТУ в применении к

землеройно-транспортным машинам, на основе которых обоснованы их недостатки, отработаны рекомендации по совершенствованию и возможности использования. Уточнен метод обоснования направлений повышения ТУ машин на основе горизонтального и вертикального матричного анализа показателей их эксплуатационных свойств и построения лепестковых диаграмм (на примере строительных автосамосвалов). Разработан метод сравнительной оценки ТУ транспортно-технологических машин с использованием многокритериальной оптимизационной математической модели, алгоритм и программное обеспечение для его компьютерной реализации. Проведено обобщение результатов исследования и сформулированы выводы по ним.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 печатных работ, в том числе пять в рецензируемых изданиях из перечня, размещенного на официальном сайте ВАК РФ, две публикации в журналах наукометрической базы Scopus/WoS, а также получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка из 116 использованных источников. Объем диссертации составляет 156 страниц машинописного текста, содержит 57 таблиц и 32 рисунка.

ГЛАВА 1. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ В РФ И СОВРЕМЕННЫЕ НАУЧНЫЕ ПОДХОДЫ К ОБОСНОВАНИЮ ВЫБОРА ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН В ИНТЕРЕСАХ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ

1.1 Перспективы строительства автомобильных дорог в РФ и его обеспечения средствами механизации

1.1.1 Перспективы развития автомобильно-дорожной сети в Российской Федерации

Для Российской Федерации с ее огромной территорией (17,1 млн. км²) развитие автомобильно-дорожной сети – важнейшая стратегическая задача обеспечения роста экономики страны [1, 2]. «В последние десятилетия поддержание дорожной инфраструктуры и её расширение – один из приоритетов работы Правительства РФ. Только в 2021 году на строительство дорог и реконструкцию инфраструктурных дорожных объектов было направлено 166 млрд рублей. По итогам 2021 года построено и отремонтировано сверх плана 4,7 тыс. км дорог, досрочно завершены работы на 400 объектах» [47-49]. Ощутимые результаты в развитии дорожного строительства дает реализация федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы России» 2010–2024 гг. [50] и «распоряжения Правительства РФ от 27.11.2021 N 3363-р «О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года» [51]. Однако, проекты модернизации и строительства автомобильных дорог, периодически разрабатываемые и утверждаемые на разных уровнях, не всегда реализуются в полном объеме и с должным уровнем качества. С целью обеспечения высокого уровня безопасности и защиты жизни, здоровья и имущества граждан, охраны окружающей среды, энергетической эффективности и ресурсосбережения на стадиях проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта и эксплуатации автомобильных дорог комиссией

Таможенного союза был принят регламент ТР ТС 014/2011 «Безопасность автомобильных дорог» [52]. В результате реализации этих программных документов автомобильные дороги должны обеспечивать спрос на перевозки с требуемыми показателями скорости, надежности, безопасности и ценовой доступности для потребителей.

По данным Росавтодора [53] и Росстата [54] протяженность автомобильных дорог общего пользования федерального, регионального, межмуниципального и местного значения (с 2012 г. с учетом протяженности улиц) в Российской Федерации ежегодно увеличивается (рисунок 1.1).

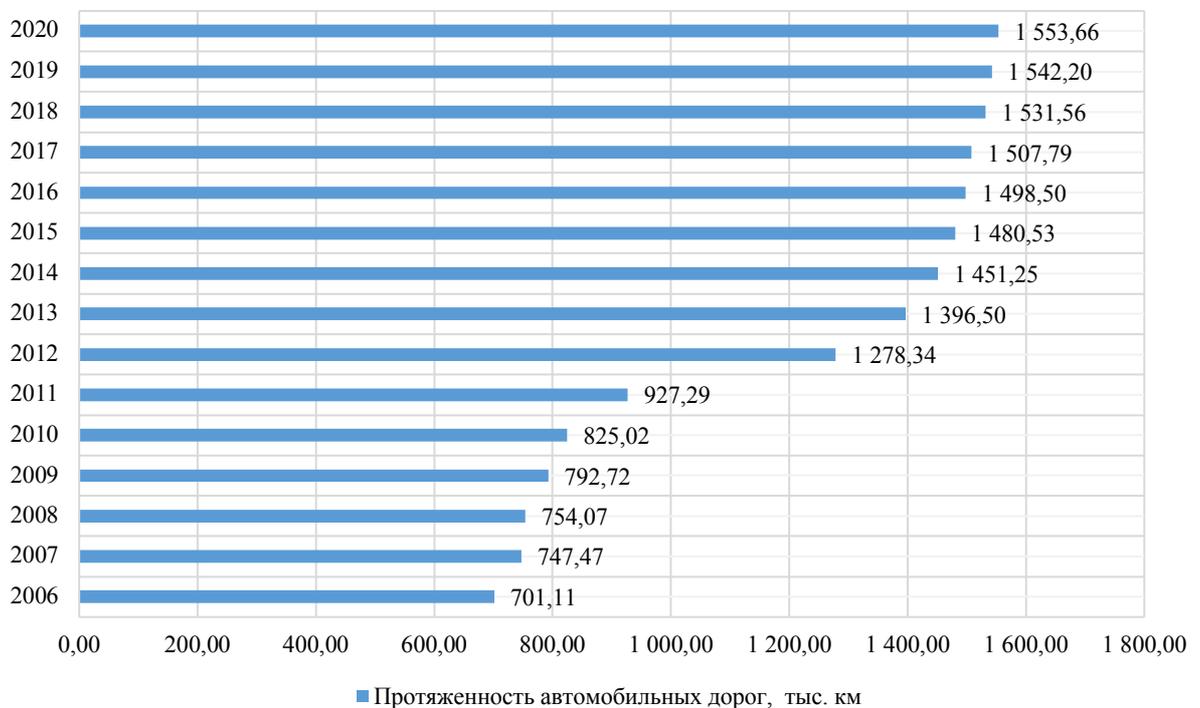


Рисунок 1.1. Протяженность автомобильных дорог общего пользования федерального, регионального и местного значения по субъектам РФ

Анализ статистических данных по целевым показателям ФЦП «Развитие транспортной системы России на 2010–2024 гг.» по подпрограмме «Автомобильные дороги» [55] показывает высокую эффективность ее реализации за период 2010–2021 гг. Так, протяженность автомобильных дорог общего пользования федерального значения (рисунок 1.2) к 2021 году должна была

составлять около 46 тыс. км. По данным на 1 января 2020 года их протяженность уже составила 57 267 км, что на 24,9% выше планового значения.

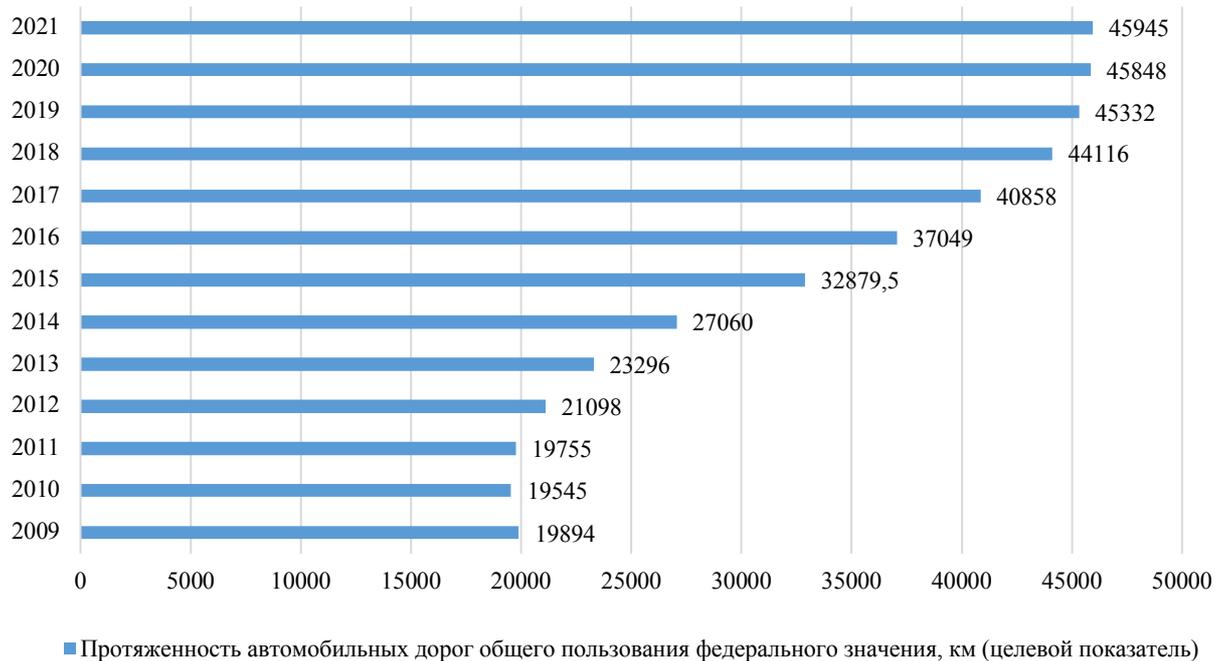


Рисунок 1.2. Плановая протяженность автомобильных дорог общего пользования федерального значения, км

Показатели строительства и реконструкции автомобильных дорог за 2010–2021 приведены на рисунке 1.3. Из гистограммы видно, что наибольшее внимание уделяется строительству и реконструкции бесплатных автомобильных дорог федерального значения (зеленый цвет), входящих в состав международных транспортных коридоров. Пики их активного строительства прослеживаются в 2014 и 2018 годах. По федеральным автодорогам, не входящим в состав международных транспортных коридоров, такие пики приходятся на 2013, 2014 и 2018 годы.

Таким образом, статистика строительства и реконструкции автомобильных дорог за прошлые годы дает основание для позитивного прогноза развития автомобильно-дорожной сети Российской Федерации до 2024 года и далее.

Очевидно, что столь масштабные планы требуют соответствующего развития системы материально-технического обеспечения дорожного строительства, в том числе и средствами его механизации.

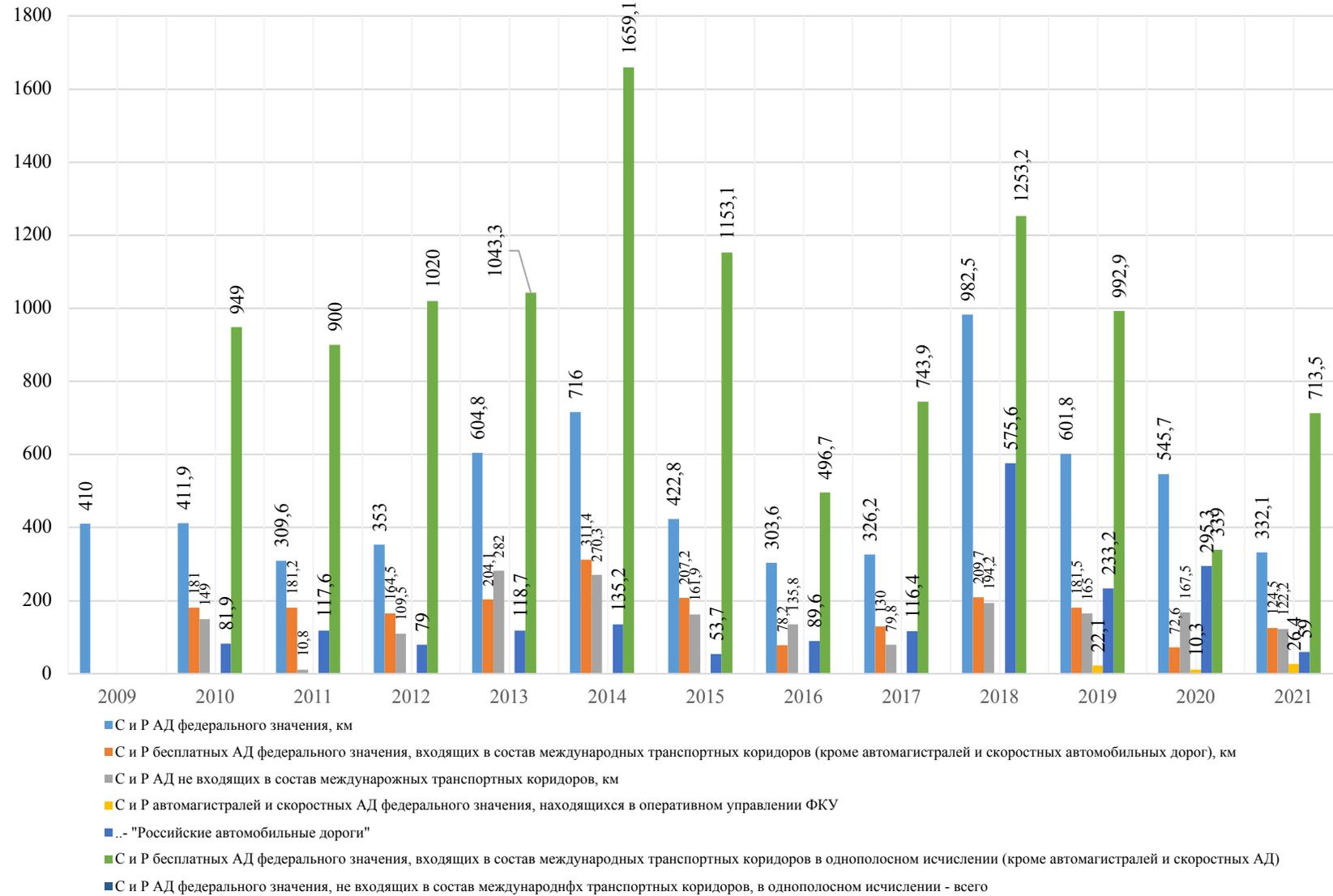


Рисунок 1.3. Показатели строительства и реконструкции автомобильных дорог в РФ за период 2010–2021 г.г.

1.1.2 Состояние и перспективы развития системы обеспечения дорожного строительства средствами механизации

Материально-техническую базу дорожного строительства формирует сложная система, включающая целый комплекс подсистем, основными из которых являются производство строительных материалов, изделий и конструкций, и производство, эксплуатация и ремонт дорожно-строительных машин и специализированного автотранспорта.

Строительство автомобильных дорог – дорогой и технологически сложный процесс. Только для возведения земляного полотна автодороги на равнинной местности в средней полосе России требуется около 3 тыс. м³ песка, 5 тыс. м³ щебня и до 50 тыс. м³ разработанного и перемещенного грунта на каждый километр трассы [56]. Из приведенных данных следует, что решающую роль в бесперебойном функционировании дорожно-строительного производства играют процессы снабжения нерудными ископаемыми, материалами и обеспечение работ средствами механизации, в первую очередь – землеройными машинами, которые являются самым многочисленным видом машин в парках дорожно-строительных организаций. Классификация землеройных машин определена «ГОСТ Р ИСО 6165-2010 «Машины землеройные. Классификация. Термины и определения», «ГОСТ ISO/TR 12603-2014 «Машины и оборудование строительные. Классификация» и «ГОСТ ISO 7132-2017 «Машины землеройные. Самосвалы. Терминология и торговые спецификации». Наиболее востребованные из этих машин – экскаваторы, бульдозеры, скреперы и автосамосвалы-землевозы. Они обеспечивают решение важнейшей задачи строительства – выполнение землеройных и транспортных работ по возведению насыпи дорожного полотна.

Исследование рынка сыпучих и навалочных материалов по информации отраслевого портала и коммерческой площадки «Карьеры России» и «Нерудас.ру» [57, 58] показало, что далеко не во всех регионах России имеется природная возможность организации добычи и переработки нерудных материалов. Так, на основании проведенного анализа установлено, что не ведется добыча песка в

Карелии и Республике Коми, Архангельской и Мурманской области, Ненецком АО, Республике Северная Осетия, Республике Тыва и Иркутской области. Добыча щебня производится во многих регионах России, кроме Ненецкого АО и Республики Хакасия. Таким образом, налицо определенный дефицит нерудных ископаемых местного залегания в отдельных регионах РФ. Дорожное строительство в этих регионах должно обеспечиваться завозом песка и щебня в места централизованного складирования из других областей с последующим развозом по объектам. Приведенный пример показывает, что дорожное строительство зачастую связано с массовым перемещением материалов на значительные расстояния, где транспорт – связующее звено всего процесса. В таблице 1.1 приведены расстояния транспортировки дорожно-строительных материалов для некоторых проблемных регионов северо-западной части России.

Таблица 1.1 – Расстояния транспортировки дорожно-строительных материалов

Дорожно-строительные материалы	Расстояния транспортировки для Архангельской области	Расстояния транспортировки для Мурманской области
Песок природный для дорожного строительства	40 км	От 20 до 110 км
Песчано-гравийная смесь	80 км	От 20 до 110 км
Щебень для дорожного строительства	330 км	От 10 до 115 км

При линейном строительстве для доставки сыпучих и навалочных грузов на значительные расстояния от мест складирования используют автомобильный транспорт. Для перемещение этих грузов на короткие расстояния непосредственно в пределах строительной зоны используются экскаваторы, бульдозеры, скреперы и автосамосвалы-землевозы. Указанные виды машин для удобства дальнейшего рассмотрения предлагается терминологически объединить в группу землеройно-транспортных машин, в отличии от прочих, используемых для планировки, уплотнения и других работ по обустройству дорожного полотна.

Сжатые сроки и жесткий контроль качества современного строительства дорог требуют обеспечения высокого уровня его механизации, что объясняет повышенный интерес производителей работ к рациональному выбору дорожно-строительных машин из значительного количества моделей, представленных на

рынке в одних типоразмерах. Очевидный факт – потребитель, рассчитывая на потенциально высокую надежность и эксплуатационную технологичность, отдает предпочтение дорогостоящим образцам зарубежного производства. Например, при высокой схожести показателей функциональности, бульдозер CAT D6R стоит 18,7 млн. руб., а его отечественный аналог бульдозер ЧТЗ Б10М – 5,9 млн. руб.

Учитывая, что значительный уровень зависимости страны от зарубежных поставок техники угрожает экономической безопасности государства, задача повышения конкурентоспособности отечественной продукции находит отражение в государственных программах и постановлениях Правительства РФ. Сегодня предусмотрены меры господдержки предприятий ряда отраслей промышленного производства. Перечень продукции, имеющей право претендовать на господдержку, утвержден приказом Минпромторга России «Об утверждении перечня продукции для целей реализации государственной поддержки организаций, реализующих корпоративные программы повышения конкурентоспособности» от 2 июля 2020 года №2095 [59, 60]. В приказ [60] включена и продукция машиностроения, в том числе дорожно-строительная техника, соответствующая установленным кодам единой товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности Евразийского экономического союза (ТН ВЭД ЕАЭС), которая приведена в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Перечень продукции машиностроительной отрасли, включенной в программу повышения конкурентоспособности (в части дорожных строительных машин)

Код ТН ВЭД ЕАЭС	Наименование продукции (товара)
1. Машиностроение:	
1.3. Сельскохозяйственное, строительно-дорожное и пищевое машиностроение	
8429	Бульдозеры с неповоротным или поворотным отвалом, грейдеры, планировщики, скреперы, механические лопаты, экскаваторы, одноковшовые погрузчики, трамбовочные машины и дорожные катки самоходные
8705	Моторные транспортные средства специального назначения, кроме используемых для перевозки пассажиров или грузов: автомобили грузоподъемные аварийные, автокраны, пожарные транспортные средства, автобетономешалки, автомобили для уборки дорог, поливомоечные автомобили, автомастерские, автомобили с рентгеновскими установками [60]

В соответствии с перечнем приказа Минпромторга России [59] проведена оценка возможности насыщения рынка дорожно-строительных машин техникой отечественного производства. В таблице 1.3 представлены результаты исследования российских поставщиков-производителей такой техники.

Как видно из таблицы 1.3, основной выпуск отечественных дорожно-строительных машин сосредоточен в промышленно развитых регионах РФ, обладающих кадровым потенциалом, и базируется на крупные предприятия с опытом выпуска техники как в советский, так и в постсоветский периоды. Указанные предприятия при наличии государственной поддержки в состоянии обеспечить потребность дорожно-строительной отрасли России по всей номенклатуре техники, за исключением скреперов. При этом в стратегии развития строительной отрасли РФ отмечается, что для снижения рисков подрядчиков при закупках строительной техники горизонт планирования строительного производства должен составлять не менее шести лет.

Учитывая устойчивую тенденцию развития импортозамещения и повышения конкурентоспособности отечественных дорожно-строительных машин при выборе предпочтений в их приобретении, необходимо проводить сравнительную оценку технического уровня и качества машин как в отечественном сегменте, так и в сравнении их с лучшими зарубежными аналогами.

Конкурентоспособность продукции – понятие, включающее в себя множество конкурентных факторов (потребительские предпочтения, цена, качество). В свою очередь качество характеризуется определенными технико-экономическими показателями и потребительскими свойствами. Международный стандарт ISO 9000 [61] раскрывает понятие «качество», как способность удовлетворять потребителей и как ценность и выгоду для потребителя, посредством выполнения его потребностей и ожиданий.

За годы развития данной темы, отечественными и зарубежными учеными разработано множество подходов к оценке конкурентоспособности, качества и технического уровня продукции, как комплексного показателя качества. Тем не менее, исследования этой области продолжаются.

Таблица 1.3 – Российские производители дорожно-строительной техники

Производитель	Продукция	Производственные возможности
Бульдозеры, погрузчики, автогрейдеры		
ООО «Челябинский тракторный завод», г. Челябинск	Тракторы, бульдозеры, трубоукладчики, колесные погрузчики, навесное оборудование	Продукция поставляется по предварительному заказу с выбором модификаций и комплектаций для разных условий эксплуатации. Введение антидемпинговых пошлин в отношении ввозимых из Китая гусеничных тракторов обеспечило увеличение в 2021 году объема реализации продукции на 80%.
ООО «ДСТ-УРАЛ», г. Челябинск	Бульдозеры и спецтехника на базе гусеничных тракторов, трубоукладчики, гусеничные и колесные погрузчики грузоподъемностью 2-5 тонн	В 2018 году – 225 ед. техники, что вдвое выше показателя 2017 года и втрое – показателя 2016 года. В 2020 году завод вышел на первое место среди производителей бульдозеров, выпустив 500 ед. техники. При этом, спрос на рынке превышает предложения производителя.
Компания UMG Строительно-дорожные машины, «Челябинские дорожно-строительные машины», г. Челябинск	Фронтальные погрузчики, гусеничные бульдозеры, автогрейдеры	За время работы (с 1898 года) предприятие выпустило 346 тыс. единиц техники
Холдинг «Южно-Уральская машиностроительная компания», г. Челябинск	Автогрейдеры	До 150 ед. в год
АО «Петербургский тракторный завод», г. Санкт-Петербург	Тракторы, бульдозеры, погрузчики	Продукция поставляется по предварительному заказу: серийные тракторы общего назначения – до 5250 ед. в год; промышленные тракторы – до 350 ед. в год.
ГК «Балтиец», г. Санкт-Петербург	Колесные бульдозеры, фронтальные погрузчики, с/х и промышленные тракторы, снегоуборочные машины	Предприятие работает с 2000 года с выпуском продукции под заказ до 50 ед. в год
Компания UMG Строительно-дорожные машины, ЗАО «Брянский Арсенал», г. Брянск	Полный модельный ряд грейдеров эксплуатационной массой от 9,2 т до 22,9 т	С момента основания выпущено более 147 тыс. техники

Производитель	Продукция	Производственные возможности
ООО НПО ГКМП «БТД ИРМАШ», г. Брянск	Автогрейдеры, асфальтоукладчики гусеничные и колесные, машины для ямочного ремонта	Единственный в России производитель асфальтоукладчиков. За 2021 год выпущено более 40 дорожно-строительных машин: машины для ямочного ремонта и асфальтоукладчики.
ОАО «Промтрактор» ЧЕТРА, г. Чебоксары	Бульдозеры, трубоукладчики, фронтальные погрузчики	Планируется годовое увеличение выпуска на 20%
ООО «Сибкомсельмаш», Кемеровская область, г. Юрга	Фронтальные погрузчики	По объему выпуска данных нет
Экскаваторы		
Компания UMG Строительно-дорожные машины, ЗАО «Тверской экскаватор», г. Тверь	Более 12 моделей экскаваторов на гусеничном и колесном ходу	С 1943 года выпущено 130 тыс. единиц техники. Первое полугодие 2021 г. – выпущено 78 ед. техники (+13% по сравнению с аналогичным периодом 2020 г.).
Компания UMG Строительно-дорожные машины, ЭКСМАШ, г. Тверь	Гусеничные, колесные экскаваторы, экскаваторы на спецшасси	Производственные мощности рассчитаны на 450-600 единиц техники, в зависимости от производимой номенклатуры
Машиностроительная группа КРАНЭКС, г. Иваново	Гусеничные экскаваторы	В первом полугодии 2021 года – 5 экскаваторов
<p>Итого: за 2020 год ВСЯ отрасль экскаваторной техники выпустила 326 полноприводных машин. В I полугодии 2021 года тремя российскими заводами выпущено всего 136 экскаваторов. Это в 14 раз меньше, чем в 2007 году и в 39 раз меньше, чем в 1990 году.</p>		
Погрузчики, дорожные катки		
ОАО «ПО ЕлАЗ», г. Елабуга	Экскаваторы, погрузчики, оборудование для нефтегазовой отрасли, спецавтомобили различного назначения	Погрузчики - до 500 ед., автогрейдеры Elaz G-202 - до 100 ед. в год
ОАО «Раскат», г. Рыбинск	Дорожные катки, погрузчики, уплотнители полигонов ТКО	Погрузчики – до 150 ед., катки - до 150 ед. в год

Производитель	Продукция	Производственные возможности
ООО «Завод дорожных машин», г. Рыбинск	Дорожные катки, автогрейдеры, погрузчики, снегоуборочные машины, уплотнители полигонов ТКО	Катки – до 280 ед. в год
Компания UMG Строительно-дорожные машины	Телескопические погрузчики	Спрос на рынке телескопических погрузчиков – примерно 2000 ед. в год. За 5 месяцев производства и продаж в 2021 году, компания UMG СДМ заняла 3% рынка, отгрузив 96 машин.
Скреперы		
Скреперы в настоящее время в России не выпускаются. Хотя компания UMG Строительно-дорожные машины «Челябинские дорожно-строительные машины» анонсировала выпуск самоходных скреперов, в каталогах продукции их еще нет. Потребность закрывается продукцией Могилевского автомобильного завода, входящего в состав холдинга «БелАЗ» (выпускает единственную модель самоходного скрепера МоАЗ- 6007 грузоподъемностью 22 т.), и производителями дальнего зарубежья.		
Автосамосвалы		
ПАО «КАМАЗ», г. Набережные Челны	Автосамосвалы, седельные тягачи, бортовые автомобили, автомобили с крано-манипуляторной установкой, шасси	В 2021 году выпущено 44136 ед. всех видов техники (+18% к 2020 году). В 2022 г. годовой плановый объем выпуска - более 50000 ед. техники.
АО «Автомобильный завод «УРАЛ», г. Миасс	Автосамосвалы, седельные тягачи, бортовые автомобили, вахтовые автобусы, шасси	За 2020 год выпущено 8300 ед. всех видов техники. В планах до 2025 года –увеличение выпуска автомобилей до 14000 ед. в год.

1.2 Современное состояние научных исследований в области оценки конкурентоспособности, качества и технического уровня продукции машиностроения

1.2.1 Развитие методологии оценки конкурентоспособности, качества и технического уровня промышленной продукции

Оценка технического уровня, как комплексного показателя качества и конкурентоспособности промышленной продукции, базируются на основополагающих трудах ученых американской, японской и европейской школ всеобщего управления качеством У.Э. Шухарта, Д. Гарвина, Э. Доминга, Д. Джурана, Исикавы, Кано и др. [16]. Фундаментальный вклад в развитие науки о конкурентоспособности товаров внесен трудами многих зарубежных ученых. М. Портер [62] разработал методику анализа конкурентоспособности, состоящую из нескольких основных этапов: анализа возможности появления новых аналогов и производителей; оценки рыночной власти поставщиков и потребителей; анализа уровня конкуренции. Также в работах отмечается, что успех на внешнем рынке невозможен без высоких запросов потребителей и конкуренции на внутреннем рынке.

П. Друкер и Ф. Котлер [63, 64] предлагают оценивать конкурентоспособность исходя из запросов потребителей. С. Фишер, Р. Каплан, Д. Нортон [65-67] в своих трудах оценивали конкурентоспособность через макроэкономические показатели. Описание управления конкурентоспособностью с использованием механизмов маркетинга приведено в работах П. Милгрона [68].

Обширные исследования в области оценки технического уровня, качества и конкурентоспособности промышленной продукции были проведены в СССР 1970...80-х годах прошлого века Всесоюзным научно-исследовательским институтом стандартизации (ВНИИС). Результатами этих исследований, выполненных под руководством доктора экономических наук Гличева А.В. и

доктора технических наук Шора Я.Б., стали «разработанные комплексные системы повышения эффективности производства, управления качеством продукции и использования ресурсов». Однако [38] применение их в современных условиях не дает объективных результатов ввиду их разработки в условиях отсутствия в стране рыночных отношений. Вместе с тем, вышедшие в тот период «РД 50-149-79 «Методические указания по оценке технического уровня и качества промышленной продукции» [69] объединил в себе наиболее значимые отечественные и зарубежные подходы того времени.

Взгляды этих ученых получили развитие в работах многих отечественных специалистов. Катанаев Н.Т. [70] развивал тему математического моделирования экономических процессов, участвующих в формировании конкурентоспособности товара. Райзберг Б.А. и Азоев Г.Л. [71, 72] проанализировали методы управления конкурентоспособностью. Пути обеспечения конкурентоспособности наукоемкого производства анализировали Ковалев В.В., Кочетов В.В., Омельченко И.Н. анализировали способы обеспечения конкурентоспособности наукоемкого производства [73,74]. Кравцова В.И. и Сорокина Г.П. в своих работах оценивали конкурентоспособность машиностроительной отрасли [75-77].

На основополагающих рекомендациях трудов этих ученых в настоящее время базируется большинство научно-методических разработок в этой области, в том числе труды, посвященные оценке конкурентоспособности и технического уровня транспортных и транспортно-технологических машин.

1.2.2 Обзор современных исследование в области оценки конкурентоспособности, качества и технического уровня транспортных и транспортно-технологических машин

Оценке конкурентоспособности, качества и технического уровня транспортных и транспортно-технологических машин посвящены труды современных российских ученых Аркатовой Н.А., Афанасьева А.С., Воронова Ю.Е., Воронова А.Ю., Басманова С.В., Бородиной Ю.В., Буянкина А.В., Глебова А.В., Добромирова В.Н., Загребельной Н.С., Козловского В.Н.,

Костина И.М., Кришталя Н.В., Крылова В.П., Кутькова Г.М., Мандровского К.П., Парфенова А.П., Поповой Е.В., Романенко А.А., Смирновой О.В., Смирнова П.И., Тарана В.А., Фасхиева Х.А., Шайхутдинова И.Ф. и др.

Так, Парфеновым А.П. исследована конкуренция на рынке продукции тракторного машиностроения [29]. Аркатовой Н.А. [8] – взаимосвязь между социальными факторами и продукцией автомобильного рынка. Афанасьев С.А. обобщил практику применения методов экспертных оценок для обоснования параметров технологических машин [9].

Кутьковым Г.М. разработана «методика оценки технологических свойств мобильных энергетических средств» [27]. Методические подходы к оценке технического уровня специальных и специализированных автотранспортных средств изложены в работах Добромирова В.Н. [16]. Мандровский К.П., на примере одноковшового гусеничного экскаватора, предлагает метод оценки конкурентоспособности дорожно-строительных машин, основанный на применении математических моделей взаимосвязи параметров конструкции машины с показателями, характеризующими эффективность её использования [28]. Смирнов П.И. разработал методику выбора легковых автомобилей, основанную на оценке эксплуатационных затрат [34], Бородина Ю.В. предложила метод обоснования рационального состава парков автомобилей-такси [11].

Смирнова О.В. в статье «Оценка конкурентоспособности продукции» [33] определяет роль оценки конкурентоспособности продукции в условиях рыночной экономики, рассматривает современные методы оценки конкурентоспособности, указывая их преимущества и недостатки.

Чаще всего в основу предлагаемых сегодня методов оценки закладывается соотношение цены и качества. При этом качество, как совокупность свойств, определяется не только техническими характеристиками, т.е. техническим уровнем машины, но и затратами на эксплуатацию и особенностями ее сервисного обслуживания. Так как качество машины определяется при этом через совокупность показателей, их номенклатура и группирование является главным отличием различных подходов к определению конкурентоспособности.

Так, исследуя конкурентоспособность автотранспортных средств (АТС), Таран В.А. [35] выделяет три группы показателей конкурентоспособности: полезность, затраты на эксплуатацию, условия сбыта. Предлагается использовать нормативные, экономические, технические показатели конкурентоспособности. Недостаток методики – не проработана оценка показателя в денежном выражении. Оценка конкурентоспособности в денежном выражении является одним из основных показателей, определяющих сегмент рынка производителя.

Обоснование номенклатуры показателей качества грузовых автомобилей и оценка их конкурентоспособности проанализированы Фасхиевым Х.А. [4]. В [23] отмечается, что конкурентоспособность является интегральным показателем, состоящим из двух комплексных – цены и качества.

Технические характеристики разделяются на две группы: технико-эксплуатационные и нормированные международными правилами сертификации. Нужно отметить, что получение данных о технических характеристиках не всегда представляется возможным. Также стоит учитывать, что многие технические характеристики являются коммерческой тайной предприятия-изготовителя до выхода машины на рынок, а целесообразность применения некоторых показателей не подтверждается мнением потребителя [25].

Фатхутдинов Р.А. [78, 79] предлагает оценивать конкурентоспособность АТС по четырем комплексным показателям: «качеству, цене, затратам на приобретение и эксплуатацию, и качеством сервиса. Такой подход раскрывает технико-экономические стороны конкурентоспособности», однако не направлен на интересы покупателя, т.к. потребительские свойства автомобиля отражены недостаточно.

Крылов В.П. раскрывает «конкурентоспособность, как интегральный показатель, складывающийся из двух составляющих: показателя технических характеристик и показателя удовлетворенности потребителей» [19, 25]. Показатель удовлетворенности потребителя определяется постоянным мониторингом покупательского спроса, предполагающим не только оценку задекларированных производителем технических характеристик автомобиля в эксплуатации, но и

эффективность и стоимость корректирующих действий производителя по совершенствованию конструкции изделия. Для определения комплексного показателя технических характеристик Крылов В.П. обосновал номенклатуру и значимость формирующих его единичных показателей и использовал метод его расчета, определенный «ГОСТ 4.401-88 «Система показателей качества продукции. Автомобили грузовые» [80].

Подходы, идентичные изложенным в стандартах [81, 82, 83] в части определения комплексного показателя технических характеристик, часто используется российскими и зарубежными компаниями при определении технического уровня автомобилей. Обобщенный показатель технического уровня изделия при этом рассчитывается суммированием комплексных показателей оценки всех его свойств с учетом значимости каждого из них:

$$П_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{i=n} K_i П_i , \quad (1.1)$$

где $П_i$ – значение i -го комплексного показателя оценки качества;

n - число комплексных показателей оценки ($i = 1 \dots n$);

K_i – коэффициент весомости i -го комплексного показателя качества [49].

Каждый комплексный показатель определяется совокупностью единичных показателей:

$$П_i = \sum_{j=1}^{j=m} K_{ij} Y_{ij} , \quad (1.2)$$

где Y_{ij} – единичный показатель оценки j -го свойства в i -ой группе;

m – число оцениваемых единичных показателей в группе ($j=1 \dots m$);

K_{ij} – коэффициент весомости единичного j -го показателя в i -ой группе.

Количественное различие в оценке сравниваемых моделей определяется разностью между показателями оценки эталонной модели – аналога и исследуемой модели. Степень превосходства исследуемой модели над выбранной для сравнения эталонной определяется коэффициентом технического уровня $K_{\text{ту}}$. Его находят

отношением обобщенного показателя оценки исследуемой модели к показателю оценки модели – аналога [25].

При реализации этого метода корректность определения комплексных и обобщенного показателей качества зависит от перечня используемых характеристик, их количественных значений и степени значимости в формировании ТУ машины. В связи с этим, недостатком метода является субъективность назначения показателей и определения их коэффициентов весомости методами экспертных оценок, достоверность которых зависит от профессионального уровня участвующих экспертов и согласованности их мнений. Кроме того, весомость технических показателей не одинакова для различных рынков сбыта и типовых условий применения машин. Так, один из главных критериев для российского рынка – цена. В то время как для зарубежного – новизна изделия, его уникальные характеристики.

Романенко А.А., при исследовании конкурентоспособности дорожно-строительной техники, отмечает, что «большинство машин отечественного производства уступают зарубежным аналогам по качеству и покупаются из-за относительной дешевизны» [32].

Исходя из того, эксплуатационные издержки техники включаются в себестоимость работ и влияют на конкурентоспособность компании на рынке, в последствии определяя её финансовую успешность, расчет затрат на эксплуатацию является важным моментом. Автором приводятся формулы, позволяющие при определении конкурентоспособности образца корректно определить суммарные эксплуатационные издержки по каждому виду дорожно-строительных машин.

Разработанная методика позволяет «оценить конкурентоспособность дорожно-строительной техники на внутреннем рынке, в сравнении с зарубежными аналогами, и сделать вывод о необходимости изменения действующих мер таможенного регулирования в отношении ввоза конкретных видов продукции дорожно-строительного машиностроения» [32].

Целью исследований Кришталя Н.В. [24] являлось повышение конкурентоспособности российской машиностроительной продукции на

отечественном и зарубежном рынке. Для этого автор разработал методы оценки текущей и стратегической конкурентоспособности. По его мнению, конкурентоспособность продукции складывается из двух показателей – уровня ее качества и цены потребления, состоящей из цены реализации и цены эксплуатации. В свою очередь, уровень качества определяется значительным числом показателей, классификация которых в соответствии с «РД 50-149-79 «Методические указания по оценке технического уровня и качества промышленной продукции» [69] приведена в таблице 1.4. В соответствии с этой классификацией предлагается формировать перечень показателей для конкретных видов продукции машиностроения.

Таблица 1.4 – Классификация показателей качества изделий машиностроения

Признаки классификации	Показатели качества
Функциональная значимость	Назначение, технические, экономические, технико-экономические
Способ выражения свойств объекта	Натуральные, денежные, в баллах (размерные, безразмерные)
Виды свойств объекта рассмотрения	Назначения, надежности, эргономические, эстетические, технологические, транспортабельности, унификации, патентно-правовые, экологические, безопасности
Степень общности	Общие, частные
Функциональная роль в процессе производства	Полезности (результатов), затрат
Функциональная роль в процессе управления	Плановые (нормативные), оценочные
Количество характеризующих свойств	Единичные, комплексные, групповые, обобщенные, интегральные
Форма представления и стадия определения значений и показателей	Прогнозные, проектные, производственно-технологические, эксплуатационно-технические
По применению для оценки	Базовые, оцениваемой продукции, относительные
Значимость в оценке объекта	Основные, дополнительные

Шайхутдинов И.Ф. в своих исследованиях [38] обосновал параметры конкурентоспособного автомобиля для их учета уже на стадии разработки технического задания. Из обширного перечня технико-экономических показателей продукции машиностроения отобрано 9 групп: «конструкционные, стандартизации, эргономические, эстетичности, производственные,

эксплуатационные, экономические, экологические, дополнительное оборудование» [38]. В совокупности в эти группы им объединены 70 показателей, выбранных с учетом требований потребителей. Групповые показатели, в силу неравнозначности их влияния на качество изделия, предлагается взвешивать, для чего «формируется матрица попарных сравнений, определяется коэффициент весомости групп показателей и оценивается степень согласованности суждений экспертов. Показатели внутри групп предлагается считать равноценными, учитывая при этом «прямую» и «обратную» направленность их действия. Суммирование произведений комплексных показателей качества групп на их коэффициенты весомости дает интегральный критерий качества изделия. В зависимости от числа конкурентов и предпочтений потребителя определяется коэффициент конкурентоспособности» [36]. Изложенный подход предполагает возможность оценки качества и конкурентоспособности изделия как на стадии его разработки, так и в эксплуатации, в том числе с учетом точки зрения потребителя. Расчет проводится строго по индивидуальным параметрам, фактической цене изделия и «красной цене», отражающей сложившееся мнение покупателей о товарах – конкурентах на конкретном рынке. Достоинством методики можно отметить обширный перечень показателей, охватывающий весь жизненный цикл объектов оценки. Однако, методика не исключает субъективизма, так как в выборе параметров оценки участвуют не только эксперты – профессионалы, но и проводится опрос покупателей для определения «красной цены» товара. Кроме того, вызывает сомнение корректность допущения о равнозначимости единичных показателей внутри групп.

Глебов А.В. в диссертационной работе «Методика оценки технического уровня карьерных автосамосвалов» [15] традиционно определяет технический уровень, как комплексный показатель качества, сформированный по типовым единичным показателям карьерного самосвала, расклассифицированных на 6 групп: «техническая, технологическая, безопасности, экологическая, эргономическая, эксплуатационная» [84]. Цена автомобиля учитывается при оценке его конкурентоспособности в сравнении с аналогами.

Структурная схема методики комплексной оценки обобщенного уровня потребительских свойств в системе «автосамосвал – карьер» показана на рисунке 1.4.

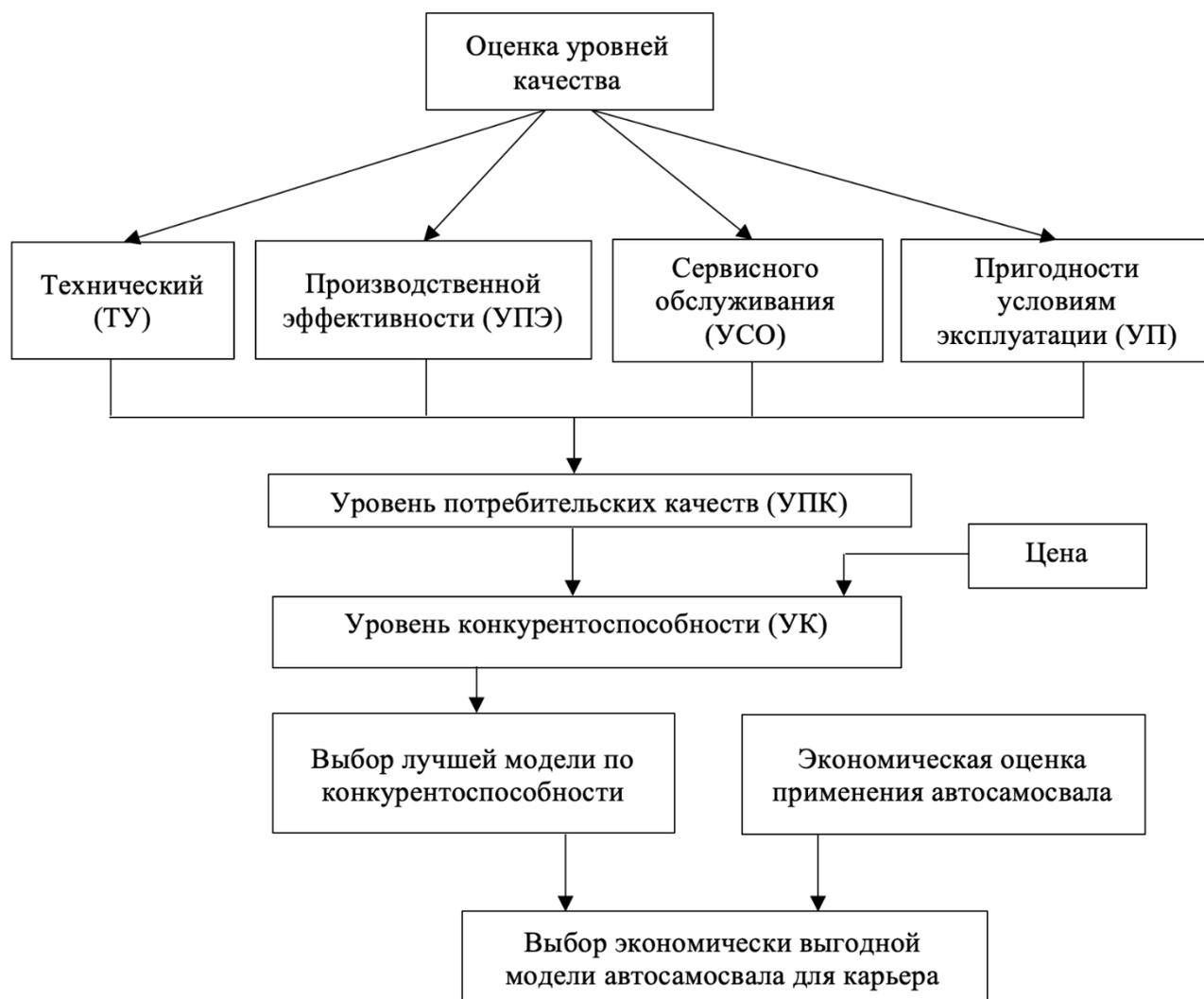


Рисунок 1.4. «Структурная схема оценки уровня потребительских свойств, конкурентоспособности автосамосвала и выбора лучшей модели для карьера» [15]

Согласно этой схеме Глебов А.В. предлагает «методику оценки качества, в основе которой заложено определение нескольких частных уровней качества: технического, производственной эффективности, сервисного обслуживания и пригодности к условиям эксплуатации». Непосредственно в работе решена только задача разработки «методики оценки ТУ в интересах выбора конкурентоспособной модели из автосамосвалов одного класса по грузоподъемности для конкретных условий карьера». Основным отличительным принципом обоснования структуры

единичных показателей является их отбор из перечня показателей, имеющих влияние на величину конечного полезного эффекта функционирования карьера. При этом они «должны характеризовать автосамосвал и с точки зрения потребителя – отображать наиболее важные конструктивные параметры и способность выполнять заданные функции с минимальным воздействием на окружающую среду и максимальной безопасностью для водителя и окружающих» [15]. Для определения значимости групповых показателей Глебов А.В. предлагает использовать экспертную оценку. В таблице 1.5 проанализированы 22 отобранных показателя карьерных автосамосвалов и отмечено влияние этих показателей на технический уровень, для дальнейшего выбора конкурентоспособной модели. При этом обязательные требования к конструкции, регламентированные нормативными документами и реализуемые на всех моделях, не рассматривались. В результате оценку ТУ машины предложено проводить по 10 единичным показателям.

Таблица 1.5 – Показатели для определения конкурентоспособной модели карьерных автосамосвалов и их влияние на технический уровень машины

Групповые показатели	Влияние на ТУ	Показатели
1 Технические	+ - + - -	Грузоподъемность, т Удельный расход топлива при номинальной мощности двигателя, г/кВт*ч Удельная мощность двигателя, кВт/т Коэффициент тары Удельная нагрузка на дорожное полотно от груженого автосамосвала, мПа
2 Технологические	- - + -	Минимальный радиус поворота, м Ширина автосамосвала, м Емкость кузова с «шапкой», м ³ Расстояние от нижнего среза кузова до поверхности отвала, мм
3 Безопасности	+ - +	Максимальная скорость движения автосамосвала, при которой эффективно работает тормоз замедлитель на уклоне 8%, км/ч Тормозной путь самосвала полной массой на сухой трассе при 40 км/ч до полной остановки при торможении рабочей тормозной системой, м Уклон, на котором стояночная тормозная система обеспечивает неподвижность автосамосвала полной массой, %
4 Экологические	- - -	Максимальное содержание вредных веществ в выхлопных газах, мг/м ³ Дымность отработавших газов, % Количество выхлопных газов на 1 кВт*ч работы двигателя, м ³
5 Эргономические	- - +	Уровень шума в кабине, Дба Максимальный уровень вибрации в кабине, м/с ² *10 ² Максимальное усилие на рулевом колесе
6 Эксплуатационные	+ + + +	Скорость движения на уклоне 8% км/ч Запас хода по контрольному расходу топлива, км Пробег шин для стандартных дорожных условий, км Наработка двигателя до капитального ремонта, ч

Достоинством методики является использование для оценки ТУ относительно небольшого перечня единичных показателей, что повышает эффективность работы экспертов при оценке их значимости. Но при этом итоговая значимость показателей традиционно зависит от компетентности приглашенных экспертов, что в результате будет влиять на показатель ТУ для выбора конкурентоспособной модели.

Предложенный Глебовым А.В. подход к выбору для оценки технического уровня единичных показателей из перечня показателей, имеющих влияние на величину конечного полезного эффекта, используется в работах Воронова Ю.Е. и Воронова А.Ю. [13, 14], Буянкина А.В. [12] и Басманова С.В. [10], в которых в качестве конечного полезного эффекта при оценке технического уровня карьерных автосамосвалов они рассматривают их эксплуатационную производительность. Перечни единичных показателей, предлагаемых авторами как влияющие на эксплуатационную производительность автосамосвала, приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Показатели для оценки качества карьерных автосамосвалов по критерию эксплуатационной производительности

№ п/п	Показатели в работе Буянкина А.В.	Показатели в работе Басманова С.В.
1	Грузоподъемность	Грузоподъемность
2	Снаряженная масса	Снаряженная масса
3	Полная масса	Не учитывает
4	Максимальная мощность двигателя	Максимальная мощность двигателя
5	Максимальная скорость	Максимальная скорость движения
6	Габаритные размеры: длина, ширина, высота	Габаритный объем
7	Минимальный габаритный радиус поворота	Минимальный габаритный радиус поворота
8	Геометрический объем стандартной платформы: вровень с бортами с «шапкой»	Вместительность кузова
9	Погрузочная высота платформы	Не учитывает
10	Время подъема платформы	Не учитывает
11	Время опускания платформы	Не учитывает
12	Шины	Не учитывает
13	Не учитывает	Запас хода по топливу
14	Не учитывает	Показатель транспортабельности

Анализ данных таблицы 1.6 показывает несоответствие в выборе авторами единичных показателей для оценки технического уровня по одному и тому же критерию – эксплуатационная производительность. Это связано с субъективностью их мнений, ибо каждый приводит обоснование в подтверждение своего перечня. Такая ситуация естественно вызывает сомнения в корректности полученных авторами конечных результатов оценки.

Попова Е.В. в диссертации «Методика оценки конкурентоспособности сложной технической продукции» [30] отмечает, что в современных условиях «концепция конкурентоспособности может иметь свои особенности в зависимости от соотношения технологических, научно-производственных и экономических факторов. В условиях развития экстенсивного типа воспроизводства в оценке конкурентоспособности продукции преобладали критерии издержек, цен, а затем качества. При интенсивном, инновационном воспроизводстве, учитываются новизна изделия, сжатые сроки его разработки и подготовки производства, приспособленность к глубокой модернизации и возможность активного выхода на широкий рынок продаж». В этих условиях, отмечает автор, корректным способом оценки конкурентоспособности могло бы считаться математическое моделирование идеального образца товара или услуги для его использования, как эталона, при сравнении конкурирующих изделий. Сам же предлагаемый метод сравнения не имеет значительных отличий от традиционных подходов, изложенных выше: показатели сравнения предлагается расклассифицировать по четырем направлениям – коммерческая идея, реальное исполнение, условия сбыта, условия эксплуатации и сервисного обслуживания, с «последующим определением их коэффициентов весомости» [85], комплексных и обобщенных показателей качества.

Из проведенного обзора методик интересен смешанный метод оценки конкурентоспособности. Метод предполагает объединение единичных параметров в группы, с последующим определением комплексного показателя. Наиболее важные параметры рекомендовано не объединять в группы, а сохранять как единичные, для дальнейшего анализа.

Представляют интерес подходы к определению конкурентоспособности продукции автомобилестроительных компаний США, оценку которым дает в своем исследовании Загребельная Н.С. [18]. Отмечается, что основными факторами, определяющими их конкурентоспособность, является цена, качество, престиж и имидж, маркетинговые и коммерческие условия, сервисная политика поставщика. Чаще всего главным показателем качества автомобиля являются расходы, связанные с эксплуатацией в расчете на единицу продукции. Затраты рассматриваются в составе двух частей: затраты на приобретение и издержки в эксплуатации. При определенных условиях издержки могут оказывать как большее (во время экономических кризисов), так и меньшее влияние на выбор авто. «В затраты на приобретение кроме стоимости изделия включаются также налоги, расходы на страхование, льготы. Затраты в эксплуатации (издержки) зависят как от свойств автомобиля (совершенства конструкции и ее надежности), так и от внешних факторов. Свойства изделия определяют затраты на обслуживание и ремонт в эксплуатации и связаны с его надежностью» [18]. В качестве внешних факторов рассматривается стоимость запасных частей, расходных материалов, цены за услуги ремонта, наличие сети ТО. От конструкции машины зависит расход топлива и его цена, в свою очередь зависящая от рыночных цен. В современных условиях, по данным Загребельной Н.С., в США набирает популярность теория «освоения рынков завтрашнего дня». Она основывается на том, что потребитель не знает, каким может быть продукт будущего, и задача производителя – формировать потребности потребителя. Воплощенное в товаре новое свойство даст преимущество в конкурентоспособной борьбе. В итоге автор, полагаясь на зарубежный опыт, предлагает оценивать конкурентоспособность исходя из динамики производства автомобилей в стране. Приводятся «способы повышения конкурентоспособности на этой основе: стратегические альянсы, активация инновационной политики, снижение производственных издержек, выпуск автомобилей более высокого качества, соответствующего требованиям мировых стандартов» [18]. Однако, динамика производства не показывает реальную картину

конкурентоспособности товара, так как не учитывает наиболее значимые для потребителя показатели качества.

Анализ современных взглядов на оценку конкурентоспособности изделий машиностроения показал, что большинство предлагаемых методов основано на сопоставлении полезного эффекта от применения машины, характеризуемого ее качеством, и издержек на ее приобретение и содержание в эксплуатации. Обобщенным показателем качества при этом выступает технический уровень образца, характеризующий его соответствие требованиям научно-технического прогресса [86]. Согласно [69, 80] рекомендуется в качестве показателей ТУ использовать показатели: назначения; надежности; технологичности; унификации; патентно-правовые; экологические; экономические; эргономические; эстетические. Несомненно, весь перечень этих показателей важен производителю для оценки ТУ вновь разрабатываемого образца, однако для оценки ТУ машины потребителем при определении его предпочтения в выборе модели необходимо оценить значимость каждого показателя и возможность получения оперативной информации о нем. Так, показатели экологические, эргономические, унификации, патентно-правовые, в современных условиях жестко регламентированы международными и национальными нормативными документами и не могут иметь существенных различий. Эстетические показатели определяются современными взглядами на архитектуру и технический облик образца. Показатели технологичности опосредовано учтены в стоимости производства машины. Экономические показатели в виде затрат на приобретение и содержание машины в эксплуатации учитываются непосредственно при оценке ее конкурентоспособности. Таким образом, в качестве значимых для оценки ТУ в изложенной постановке вопроса можно считать показатели назначения и надежности. Показатели назначения определяют расчетно-конструкторскую производительность машины и могут выбираться из общедоступной технической документации, а показатели надежности в обобщенном виде могут быть охарактеризованы коэффициентом технического использования образца $K_{ти}$, который без проблем рассчитывается на основании данных о нормативной

периодичности и трудоемкости работ по его техническому обслуживанию и ремонту.

1.2.3 Анализ методических подходов к оценке качества и технического уровня транспортных и транспортно-технологических машин

Обзор современных научных работ в исследуемой области показывает, что применяемые в настоящее время методы оценки качества и его важного комплексного показателя – технического уровня, «можно разделить на пять групп: дифференциальный метод, комплексный метод, смешанный метод, интегральный метод и метод экспертных оценок» [38]. У каждого метода есть свои достоинства и недостатки.

Дифференциальный метод. Для оценки выбираются показатели наиболее значимых свойств объекта, условно принятые как равнозначные. Уровень качества по каждому показателю свойств определяется соотношением его значения и значения базового образца:

$$Y_i = P_{i \text{ оц}} / P_{i \text{ баз}} \text{ или } Y_i = P_{i \text{ баз}} / P_{i \text{ оц}} , \quad (1.3)$$

где Y_i – относительное значение уровня качества для i -го показателя свойств;

$P_{i \text{ баз}}$ – значения i -го показателя свойств базового образца;

$P_{i \text{ оц}}$ – значение i -го показателя свойств оцениваемого образца.

Уровень качества образца в целом оценивается как среднее арифметическое относительных значений уровней качества всех учитываемых показателей Y_i оцениваемого и базового образцов:

$$Y_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i , \quad (1.4)$$

где n – «количество соответствующих показателей, принятых для оценки качества» [38].

Дифференциальный метод дает возможность визуализировать полученные результаты сопоставимых расчетов таблицей или графиком, что повышает

удобство их анализа. Например, построение многоугольника конкурентоспособности (метод «Радара») дает возможность установить достоинства и недостатки как своей продукции, так и конкурентов [44]. Недостаток метода – принятие всех оцениваемых показателей равнозначными, что снижает корректность полученных результатов.

Комплексный метод. Предполагает определение комплексного показателя ряда совокупных свойств изделия. Для оценки отбирают группы показателей по каждому из оцениваемых свойств. Комплексные показатели качества для каждого j -го свойства определяют соотношением:

$$П_j = \sum_{i=1}^m Y_i/m, \quad (1.5)$$

где m – число показателей в группе;

Y_i – относительный показатель i -го свойства качества в группе, равный

$$Y_i = X_i^o / X_i^m, \quad (1.6)$$

где X_i^o – значение i -го показателя оцениваемого образца;

X_i^m – значение показателя образца-эталона.

Обобщенный показатель качества, как сумма произведений его групповых комплексных показателей на соответствующие им коэффициенты весомости, определяется по зависимости

$$П_k = \sum_{j=1}^{j=n} K_j П_j, \quad (1.7)$$

где K_j – коэффициенты весомости комплексных показателей, определяемые аналитическим или экспертным путем.

Недостатком методики является сложность и субъективность определения коэффициентов весомости. ГОСТ 24294-80 [69] устанавливает аналитические методы определения коэффициентов весомости единичных и/или групповых показателей качества промышленной продукции с использованием средних

взвешенных показателей. К аналитическим методам определения коэффициентов весомости относят методы регрессионных зависимостей, эквивалентных соотношений, предельных и номинальных значений. Экспертные методы определения коэффициентов весомости нормированы в «ГОСТ 23554.0-79» [81] и «ГОСТ 23554.1-79» [82]. При комплексной оценке технического уровня и качества автотранспортных средств коэффициенты весомости определяются в соответствии с «РД 37.001.041-86 «Методика установления коэффициентов весомости при комплексной оценке технического уровня изделий Минавтопрома» [87] или «ГОСТ 24294-80» [83].

Интегральный метод оценки. «Интегральный показатель качества является наиболее распространенным. Он представляет собой отношение суммарного полезного эффекта от использования продукции по назначению ($\Pi_э$) к суммарным затратам на ее создание ($Z_п$) и эксплуатацию ($Z_э$)» [32]. С учетом затрат на реализацию ($Z_р$) формула интегрального показателя качества выглядит следующим образом:

$$I = \frac{\Pi_э}{Z_п + Z_э + Z_р} \quad (1.8)$$

Смешанный метод оценки. Для оценки учитываются единичные, комплексные групповые и интегральные показатели, что дает наиболее полную оценку уровня конкурентоспособности.

Экспертный метод. Экспертный метод применяется, если затруднительно определять значения единичных или комплексных показателей инструментальным, эмпирическим или расчетным методами. Он удобен для оценки «конкурентоспособности товара длительного пользования, которую целесообразно проводить, учитывая четыре главных статичных фактора: качество товара, его цена, наличие сервисного обслуживания в регионе, эксплуатационные затраты на использование товара (методика оценки конкурентоспособности товара по системе 1111-5555)» [88].

Для оценки по системе 1111-5555 создается группа экспертов, которая проставляет согласованные оценки каждому фактору от 1 до 5, где 1 – минимальное значение, 5 – наилучшее значение фактора. Таким образом, без учета весомости факторов минимальное значение конкурентоспособности по системе 1111-5555, учитывающей качество, цену, сервисное обслуживание, эксплуатационные затраты, будет равно 4, а максимальное – 20. Для повышения точности оценки целесообразно учесть важность или весомость каждого фактора, например, качеству товара можно присвоить 4 балла, цене товара – 3, сервисному обслуживанию – 2, а эксплуатационным затратам – 1 (т.к. эксплуатационные затраты определяются качеством товара и его сервисом). Для проведения оценки конкурентоспособности с учетом весомости факторов необходимо создать экспертную группу из высококвалифицированных специалистов, не менее 5 человек [33].

На рисунке 1.5 проиллюстрировано проставление баллов по системе 1111-5555. По оси X задается коэффициент весомости фактора, по Y – оценка эксперта.

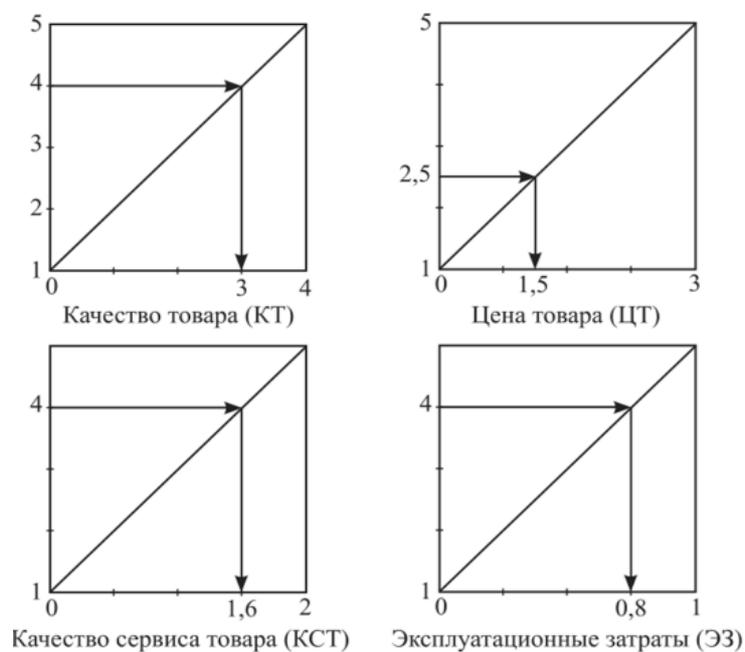


Рисунок 1.5. Система баллов для экспертной оценки конкурентоспособности товара с учетом весомости факторов с примером оценки факторов

Конкурентоспособность товара, определенная экспертным путем по системе баллов, будет равна:

$$K_T = \frac{\sum_{i=1}^n B_{ij}}{5} \cdot a_j, \quad (1.9)$$

где K_T – конкурентоспособность товара;

n – количество экспертов;

B_{ij} – экспертная оценка i -м экспертом j -го фактора конкурентоспособности товара;

a_j – весомость j -го фактора (от 4 до 1);

5 – максимальная оценка фактора (от 1 до 5).

При добавлении в оценку дополнительных параметров (жизненный цикл, реклама), будет пропорционально увеличиваться a_j – весомость j -го фактора от 7 до 1. Следовательно, по системе баллов минимальное значение конкурентоспособности будет равно 7, а максимальное – 35.

Проведенный анализ методов количественной оценки уровня конкурентоспособности показывает, что каждый из них имеет право на обоснованное применение, но результаты оценок по ним не обеспечивают получения однозначного заключения. Связано это в первую очередь с ориентацией авторов на приоритетность тех или иных факторов, традиционно определяющих конкурентоспособность машины: технический уровень, определяющий ее функциональные возможности; издержки на содержание в эксплуатации; наличие сети ТО и ремонта; цена. При этом все факторы, кроме технического уровня сравниваемых образцов, имеют вполне определенные различия, обусловленные принятой системой обеспечения работоспособного состояния машин, реализуемой системой сервисного обслуживания и спецификой производства и поставок машин потребителю. Оценивать же приоритет машин по их техническому уровню в современных условиях развития техники и технологий проблематично ввиду высокой схожести у них показателей эксплуатационных свойств, т.к. любое инновационное конструктивное решение, обеспечивающее повышение производительности машины, быстро становится доступным для его реализации в

аналогах, а уровни безопасности, эргономичности и экологичности жестко регламентированы требованиями нормативных документов. В связи с этим разработка метода сравнительной оценки ТУ машин, обеспечивающих высокую информативность результата при существенной схожести исходных данных в виде значений показателей эксплуатационных свойств, является актуальной.

Выводы по первой главе

1. Интенсивное развитие дорожно-строительной отрасли в Российской Федерации выдвигает повышенные требования к обеспечению дорожно-строительного производства средствами механизации. На обеспечение перевозок, перемещений грунта на объекте и содержание эксплуатируемых дорожно-строительных машин и технологического автотранспорта в дорожно-строительном производстве приходится до 20% от себестоимости выполнения всех работ, что вызывает потребность в обоснованном выборе образцов техники для формирования рационального состава парков машин строительных организаций.

2. Современный рынок дорожно-строительных машин, в том числе землеройно-транспортных, представлен большим многообразием образцов отечественного и иностранного производства, при этом предпочтение в их выборе потребителем зачастую отдается последним. Решение актуальной для России задачи импортозамещения требует от отечественных производителей повышения конкурентоспособности своей продукции, что обеспечивается сегодня государственной поддержкой, в том числе в части производства различных видов дорожно-строительной техники.

3. Обеспечение объективности выбора образцов для приобретения из значительного числа однотипных машин требует решения актуальной научной задачи – усовершенствования методов оценки конкурентоспособности машин, в том числе в части повышения объективности определения их технического уровня, как важного комплексного показателя качества.

4. Базой для такого усовершенствования служат обширные зарубежные и отечественные научные разработки. Чаще всего в основу предлагаемых сегодня

методов оценки конкурентоспособности традиционно закладывается соотношение цены и качества изделия. При этом качество, как совокупность свойств, определяется не только техническими характеристиками машины, но и затратами на производство, эксплуатацию и особенностями ее сервисного обслуживания. Номенклатура и группирование показателей качества является главным отличием различных подходов к определению конкурентоспособности.

5. Анализ методов количественной оценки уровня качества и конкурентоспособности продукции показывает, что каждый из них имеет право на обоснованное применение, но результаты оценки не обеспечивают получения однозначного заключения при их практическом использовании. Это объясняется субъективизмом методов экспертных оценок, используемых разными авторами при формировании перечня значимых показателей для оценки качества и при назначении коэффициентов весомости этих показателей.

6. Важнейшим комплексным показателем качества является технический уровень изделия. Ввиду высокой схожести значений показателей эксплуатационных свойств дорожно-строительных машин в рамках одной классификационной группы значения их технического уровня, определенные традиционными методами, могут отличаться крайне незначительно. В связи с этим возникает задача оценки состоятельности и усовершенствования этих методов, в частности применительно к землеройно-транспортным машинам.

7. Для исключения факторов некорректности оценки технического уровня землеройно-транспортных машин традиционными методами целесообразно воспользоваться математическими методами теории принятия решений. На основе этих методов может быть разработан математический аппарат, позволяющий оценивать образцы при разной последовательности приоритетов, целеполаганий и автоматическом переборе приоритетов весомости показателей свойств. Разработка такого метода является одной из составляющих цели данного диссертационного исследования и представляется достижимой с учетом возможностей современных электронно-вычислительных средств.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯТЕЛЬНОСТИ И ПУТЕЙ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ВЫБОРА МОДЕЛЕЙ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН ПОТРЕБИТЕЛЕМ

Типовые подходы к оценке ТУ машин, представленные в первой главе, находят применение в отношении различных изделий машиностроения. Однако, возможность их использования в отношении дорожно-строительных машин в интересах обоснования предпочтений потребителя в настоящее время исследована крайне недостаточно.

Для выявления предпочтительного научно-методического подхода к решению этой задачи проведена сравнительная оценка технического уровня образцов, определенного тремя наиболее распространенными методами: матричным; прямого экспертного ранжирования и кластерного ранжирования на основе экспертных оценок коэффициентов весомости единичных и комплексных показателей эксплуатационных свойств [89, 49, 90, 85, 91].

Объектами сравнения были выбраны одиночные трехосные и четырехосные автосамосвалы отечественного и зарубежного производства, грузоподъемностью 18-20 тонн.

2.1 Обоснование перечня значимых для оценки технического уровня показателей эксплуатационных свойств машин

Важным этапом в проведении сравнительных оценок технических объектов является обоснование перечня значимых показателей их эксплуатационных свойств, определяющих предпочтение потребителя при выборе образца. При этом необходимо отметить, что такие перечни, предлагаемые различными авторами и нормативными документами для одного и того же вида техники, существенно разнятся, что зависит от целеполагания проводимого сравнения. Наиболее наглядно демонстрирует эту ситуацию анализ нескольких методик оценки

технического уровня технологического автотранспорта. В ходе исследования были рассмотрены ниже представленные работы.

«Методика оценки технического уровня карьерных автосамосвалов» [15].

В работе предполагается, что для определения уровня технического совершенства самосвала достаточно 22 эксплуатационных показателя, влияющих на себестоимость транспортировки породы при вскрышных работах, которые «разбиты на 6 групп: техническая, технологическая, безопасности, экологическая, эргономическая, эксплуатационная» [84]. При этом из их числа выделены 10 наиболее значимых по мнению авторов, которые и рекомендуется использовать для сравнительной оценки технического уровня:

- технические – грузоподъемность, т; удельная мощность двигателя, кВт/т;
- технологические – ёмкость кузова с «шапкой», м³;
- безопасности – «максимальная скорость движения автосамосвала, при которой эффективно работает тормоз замедлитель на уклоне 8%, км/ч; уклон, на котором стояночная тормозная система обеспечивает неподвижность автосамосвала полной массой, %» [15];
- экологические – нет, т.к. требования строго регламентированы и обязательны к исполнению на всех машинах;
- эргономические – «максимальное усилие на рулевом колесе;
- эксплуатационные – скорость движения на уклоне 8% км/ч; запас хода по контрольному расходу топлива, км; пробег шин для стандартных дорожных условий, км; наработка двигателя до капитального ремонта, ч» [15].

Каждой группе и каждому показателю внутри группы присваивается коэффициент весомости.

«Комплексная оценка и прогнозирование показателей качества эксплуатации карьерных автосамосвалов» [12]. Предлагается технический уровень определять по 12 показателям, влияющим на эксплуатационную производительность образца: «грузоподъемность, т; снаряженная масса, т; полная масса, т; двигатель: максимальная мощность двигателя, кВт/номинальная частота, об/мин; максимальная скорость, км/ч; габаритные размеры: длина, ширина, высота

(м); минимальный габаритный радиус поворота, м; емкость кузова с «шапкой», м³; погрузочная высота платформы, м; время подъема платформы, с; время опускания платформы, с; нормативный пробег шин» [12].

Производится прямое ранжирование показателей, на основе которого каждому показателю присваивается коэффициент весомости.

«Оптимизация параметров карьерных автосамосвалов для повышения их технического уровня» [10]. Предлагается «в перечне показателей для оценки технического уровня использовать специфические функциональные критерии, учитывающие особенности автосамосвалов, как горнотранспортных машин, и номенклатура которых определена степенью их влияния на производительность автосамосвала» [10]. Проанализирован РД 50-149-79, в котором предложен перечень показателей, позволяющий на стадии разработки автосамосвала количественно оценивать уровень его технического совершенства. Для уменьшения числа показателей авторами предложено некоторые из них, указанные в РД, привести к удельному виду, что позволяет объединить несколько абсолютных. На основе этого из 10 рекомендуемых сформирована предлагаемая группа из 9 показателей: мощность двигателя; грузоподъемность; снаряженная масса; габаритный объем; показатель транспортабельности; запас хода по топливу; вместительность кузова; максимальная скорость движения; минимальный габаритный радиус поворота.

На основе прямого ранжирования каждому показателю присваивается коэффициент весомости.

«Технико-экономическая оценка грузовых автомобилей при разработке» [22]. В качестве исходных данных для расчета экономической эффективности сравниваемых грузовых автомобилей предлагается перечень из 44 показателей. Из них для оценки технического уровня рекомендуется использовать 33 показателя, расклассифицированных на 6 групп:

– «функциональные – динамика; скорость; вместительность кузова; масса перевозимого груза; масса снаряженного автомобиля; угол разворота; мощность двигателя;

– эксплуатационно-технологически – надежность; ресурс до первого капитального ремонта; трудоемкость техобслуживания; сервисное обслуживание; срок службы; периодичность техобслуживания;

– эксплуатационно-экономические – расход топлива; расход масла; стоимость запасных частей; стоимость шин; стоимость обслуживания; прочие расходы;

– эргономические – безопасность; комфортабельность; уровень шума в салоне; степень вибрации; дизайн автомобиля;

– экологические – вредные выбросы; внешний шум; утилизация автомобиля;

– себестоимость – себестоимость производства; оптовая цена; прибыль производства; эксплуатационные затраты; розничная цена; эффект от эксплуатации» [22].

Каждой группе и каждому показателю внутри группы присваивается коэффициент весомости.

«Формирование параметров конкурентоспособного грузового автомобиля на стадии разработки технического задания» [38]. Предлагается проводить оценку технического уровня грузовых автомобилей по 70 показателям, расклассифицированным по 8-ми группам с принятием равнозначимости всех показателей внутри каждой группы: размерные (23 показателя); силовые (8 показателей); динамические (8 показателей); экономические (7 показателей); надежности (8 показателей); нормативно-правовые (3 показателя); эргономика и дизайн (3 показателя); комплектация (10 показателей). Каждой группе присваивается коэффициент весомости.

«ГОСТ 4.401-88 ГОСТ СССР Система показателей качества продукции. Автомобили грузовые. Номенклатура показателей» [80]. Стандарт определяет 47 показателей, объединенных в 7 классификационных групп, в т.ч.: показатели назначения – 31 показатель; показатели надежности – 4; показатели экономного использования сырья, материалов, топлива, энергии, трудовых ресурсов – 2; эргономические показатели – 2; Показатели технологичности – 3; экологические показатели – 3; показатели безопасности – 2. По данному перечню показателей

предписывается проведение оценки качества образцов в сравнении с лучшими аналогами.

«ГОСТ ISO 7132-2017 Машины землеройные. Самосвалы. Терминология и торговые спецификации» [92]. Приводится перечень из 8-ми значимых показателей эксплуатационных свойств самосвалов, нормативные требования к ним и методы проверки (испытаний):

- «полезная мощность двигателя (по ISO 9249);
- максимальная скорость движения (по ISO 6014);
- тяговое усилие (п.3.2.1 данного документа): тяговое усилие самосвала с механической трансмиссией (п.3.2.1.1); тяговое усилие самосвала с бесступенчатой трансмиссией, электрическим или гидростатическим приводом (п.3.2.1.2);
- время подъема и опускания незагруженного кузова (п.3.2.2);
- управляемость: радиус поворота (по ISO 7457); габаритный диаметр поворота машины (по ISO 7457);
- тормозные свойства (по ISO 3450);
- полезная нагрузка» (п.3.2.3) [92].

Проведенный анализ вариантов номенклатуры оценочных свойств технологического автотранспорта показал отсутствие единообразного мнения специалистов по необходимому и достаточному перечню показателей. По данным трудов отечественных ученых Чудакова Е.А. [39], Великанова Д.П. [40], Гольда Б.В. [41], Зимелева Г.В. [42], Илларионова В.А. [43], Ипатова М.И. [44], Островцева А.Н. [45], Фалькевича Б.С. [46] перечни показателей ТУ, приводимые в нормативных документах, могут уточняться исходя из целей оценки, этапа жизненного цикла машины, условий ее эксплуатации и наличия необходимых исходных данных. При этом, по мнению этих ученых увеличение количества используемых показателей повышает трудоемкость оценки ТУ, а объективность оценки возрастает незначительно. В связи с этим при обосновании номенклатуры показателей эксплуатационных свойств транспортно-технологических машин в интересах их сравнительной оценки для определения предпочтений потребителя, целесообразно стремиться к сокращению их количества по отношению к

нормативно определенному полному перечню. Объем такого возможного сокращения был рассмотрен на примере наиболее многочисленного перечня показателей, предложенного в работе [38]. Из 70-ти показателей, предлагаемых в ней к рассмотрению при оценке ТУ, 42 нормируются обязательными требованиями государственных и отраслевых стандартов, что для потребителя означает полную идентичность их значимости. Девять показателей могут быть объединены в 3 группы, каждая из которых характеризуется одним комплексным показателем, например периодичность и трудоемкость ТО, наработка на отказ и трудоемкость его устранения могут характеризоваться одним показателем – коэффициентом технического использования машины. Еще 9 предлагаемых для сравнения показателей, гипотетически обеспечивающих конкурентное преимущество, связаны с реализацией конструктивных решений, ставших в настоящее время хоть и не обязательными, но уже традиционными, что лишает смысла использования их при сравнении. Таким образом, лишь оставшиеся 13 показателей из первоначально предложенного в работе [38] перечня могут реально влиять на формирование предпочтений потребителя. Это объем кузова, мощность двигателя, максимальное передаточное отношение в трансмиссии, тип применяемого топлива, объем топливных баков, количество регулировок рулевой колонки и сиденья водителя, наличие АБС и кондиционера, количество мест в кабине, продолжительность простоя в капитальном ремонте, коэффициент технического использования и удельные затраты на ТО и ремонт. В добавления к этим ненормируемым показателям в перечень целесообразно включить и некоторые нормируемые показатели, характеризующие быстроходность, маневренность и проходимость машины.

С учетом проведенного анализа и исключив на данном этапе исследования по аналогии с подходами [10, 12, 15] группу показателей эксплуатационной надежности, был предложен перечень показателей эксплуатационных свойств, характеризующих технический уровень строительных автосамосвалов с позиции их функциональных возможностей. Анализ в общей сложности 55 показателей, определенных документами [80, 92], а также предложений выше рассмотренных

авторов, позволил рекомендовать в качестве значимых для автосамосвалов при сравнительной оценке для определения предпочтений потребителя 13 показателей: грузоподъёмность, полную массу, максимальную нагрузку на односкатный мост, удельную мощность двигателя, максимальную скорость движения, число передач в трансмиссии, запас хода, объём кузова, количество направлений и угол опрокидывания самосвальной платформы при разгрузке, максимальный преодолеваемый угол подъёма пути, минимальный радиус поворота, колёсную формулу машины.

Проверка обоснованности этого перечня в ходе экспертных исследований показала целесообразность его корректировки путем сокращения 4-х параметров:

- полной массы машины, т – так как в расчете уже используется допустимая осевая нагрузка и колесная формула машины;

- угла опрокидывания платформы, град. – так как максимальный угол опрокидывания у всех сравниваемых образцов близок по значениям (50-55 градусов) и, следовательно, влияет на результаты сравнения крайне незначительно;

- количества направлений разгрузки – так как у подавляющего большинства строительных автосамосвалов применяется только одно направление разгрузки – заднее;

- максимального угла преодолеваемого подъема, град. – так как максимальные углы преодолеваемого подъема у всех сравниваемых образцов близки, составляет 15 ... 18 градусов (25 ... 30%), и позволяют беспрепятственно преодолевать уклоны на подъездных дорогах в карьерах и на строительных площадках, следовательно существенно не влияют на результаты сравнения.

Кроме того, предложено колесную формулу машины, как показатель ее тягово-сцепных свойств, заменить сцепным весом.

В итоге таблица исходных данных для расчета ТУ автосамосвалов приобретает вид, представленный в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Номенклатура значимых показателей эксплуатационных свойств строительных автосамосвалов, сформированная на основе результатов экспертного исследования, и их параметры

Показатель	КАМАЗ-6540	Урал 6370	КАМАЗ-65222	КАМАЗ-6520	МАЗ 650128-8520-000	САНС HN3250P 34С6М3	Dongfeng DFL 3251A-A1-375	Mercedes-Benz Actros 3336K
1. Грузоподъемность, т	18,5	18,7	19,5	20	19,5	18,44	19,15	20
2. Максимальная нагрузка на односкатный мост, т	6,1	7,5	8	7,5	7,5	7,2	7	8
3. Удельная мощность двигателя, кВт/т, при его типе и мощности, кВт (л.с.)	11,14 Д*)-206 (280)	15,15 Д-303 (412)	15,08 Д-294 (400)	14,7 Д-294 (400)	16,84 Д-320 (435)	13,57 Д-250 (340)	14,4 Д-275 (375)	13,25 Д-265 (360)
4. Запас хода, тыс. км	1,235	0,962	0,972	0,778	1,2	1,061	1,053	1,143
5. Число передач в трансмиссии	10	16	16	16	16	14	14	16
6. Объем кузова, м ³	11	12	12	16	20	18,7	16	16
7. Максимальная скорость движения, м/с	22,4	22,4	25,2	25,2	23,8	25,2	22,4	25,2
8. Минимальный радиус поворота, м	10,5	13	13	12,5	13	9,3	9	12
9. Сцепной вес, т	18,8	33,5	34	25,6	26	25,8	26	33

*) - двигатель дизельный

В результате аналогичного экспертного исследования были обоснованы минимально достаточные для сравнения перечни девяти наиболее значимых показателей технического уровня для ряда землеройно-транспортных машин, представленные в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Рекомендуемая номенклатура значимых показателей эксплуатационных свойств землеройно-транспортных машин, сформированная на основе результатов экспертного исследования

Вид машины	Рекомендуемые в качестве значимых показатели ТУ
Экскаватор	Вместимость ковша, глубина копания, высота подъема ковша, продолжительность рабочего цикла, радиус рабочей зоны, среднее давление на грунт, удельная мощность двигателя, преодолеваемый уклон пути, скорость машины
Бульдозер	Максимальная скорость вперед, максимальная скорость назад, ширина отвала, максимальное расстояние перемещения породы, габаритная ширина машины, удельное давление на грунт, удельная мощность двигателя, расход топлива, емкость топливных баков
Скрепер	Грузоподъемность, эксплуатационная масса, удельная мощность двигателя, вместимость ковша, ширина резания, толщина слоя отсыпки, максимальное заглубление, максимальная скорость движения, минимальная ширина полосы разворота

На основе использования обоснованных в ходе экспертного исследования значимых для сравнения показателей была проведена сравнительная оценка ТУ автосамосвалов различными методами.

2.2 Матричный метод интегральной сравнительной оценки технического уровня машин по максимальным и минимальным значениям показателей эксплуатационных свойств (на примере землевозов – строительных автосамосвалов)

Матричный метод оценки позволяет по принятому перечню показателей эксплуатационных свойств определить в группе сравниваемых машин их приоритеты по ТУ. Кроме того, система нормирования показателей ТУ, используемая в этом методе, позволяет выявить сильные и слабые стороны исследуемого образца по отношению к модели-эталону. Это позволяет

потребителю определять наиболее предпочтительный вид комплектации приобретаемой машины из всех вариантов, предлагаемых производителем. Указанная возможность данного метода также может быть использована на этапах проектирования новых образцов для определения направлений совершенствования их конструкции.

2.2.1 Оценки технического уровня строительных автосамосвалов матричным методом

Так как «каждый из эксплуатационных показателей имеет определенную размерность, и они отличаются друг от друга абсолютной величиной, для определения интегрального показателя проведен ряд последовательных преобразований имеющейся информации» [49], а именно, для обеспечения сопоставимости показателей они приводятся к безразмерному виду, то есть выражаются «через отношение численных значений показателей конкретной модели к лучшим значениям по группе» [49]. Методика расчета матричным методом представлена в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Методика расчета показателя ТУ машины матричным методом

Матричный метод	
Этапы расчета	Расчетные зависимости
1. Экспертное определение количества n значимых показателей эксплуатационных свойств и их номенклатуры; выбор m однотипных машин для сравнения	$n, m \in N$
2. Составление матрицы значений выбранных параметров q_{ij} , где i – номер показателя; j – номер образца	$\begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1j} & \dots & q_{1m} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2j} & \dots & q_{2m} \\ \vdots & & & & & \\ q_{i1} & q_{i2} & \dots & q_{ij} & \dots & q_{im} \\ \vdots & & & & & \\ q_{n1} & q_{n2} & \dots & q_{nj} & \dots & q_{nm} \end{pmatrix}$

3. Приведение показателя свойств q_i каждого j -го образца к безразмерному (нормированному) виду, Q_{ij}	Увеличение значения показателя: – улучшает качество образца $Q_{ij} = \frac{q_{ij}}{q_{i \max}}$ – ухудшает качество образца $Q_{ij} = \frac{q_{i \min}}{q_{ij}}$
4. Определение обобщенной интегральной оценки образцов, Q_j	$Q_j = \sum_1^n Q_{ij}$
5. Назначение ранга образца, R_j , от 1 (лучший образец) до m (худший образец)	$Q_j = \max \Rightarrow R_j = 1$ $Q_j = \min \Rightarrow R_j = m$ $R_j = 1 - \text{лучший образец}$

Результаты приведения абсолютных показателей из таблицы 2.1 в относительные приведены в таблице 2.4.

Результаты расчета показывают, что «лучшими по ТУ автосамосвалами производства России и СНГ являются модели МАЗ-650128 и КАМАЗ-65222 – соответственно 1-е и 5-е места в рассмотренной группе машин. Среди зарубежных моделей лидируют Mercedes-Benz Actros 3336K» [49] и САМС НН3250Р – соответственно 2-е и 3-е места. При этом полученная разница показателей ТУ у исследованных моделей между лидирующими образцами составляет 0,5...2,3 %, между лучшим и худшими – 7...11 %. Это затрудняет принятие решения о предпочтении в выборе образца ввиду недостаточной его очевидности. Более высокая информативность оценки достигается за счет экспертного ранжирования показателей свойств, весомости которых в изложенном методе принимаются равнозначными.

Таблица 2.4 – Результаты расчета относительных показателей и интегральной оценки автосамосвалов матричным методом

Показатель	КАМАЗ-6540	Урал 6370	КАМАЗ-65222	КАМАЗ-6520	МАЗ 650128-8520-000	САНС HN3250P 34C6M3	Dongfeng DFL 3251A-A1-375	Mercedes-Benz Actros 3336K
1. Грузоподъемность, т	0,925	0,935	0,975	1	0,975	0,922	0,9575	1
2. Максимальная нагрузка на односкатный мост, т	1,00	0,81	0,76	0,81	0,81	0,85	0,87	0,76
3. Удельная мощность двигателя, кВт/т	0,66	0,90	0,90	0,87	1,00	0,81	0,86	0,79
4. Запас хода, тыс. км	1,00	0,78	0,79	0,63	0,97	0,86	0,85	0,93
5. Число передач в трансмиссии	0,63	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88	0,88	1,00
6. Объем кузова, м ³	0,55	0,60	0,60	0,80	1,00	0,94	0,80	0,80
7. Максимальная скорость движения, м/с	0,889	0,889	1,000	1,000	0,944	1,000	0,889	1,000
8. Минимальный радиус поворота, м	0,86	0,69	0,69	0,72	0,69	0,97	1,00	0,75
9. Сцепной вес, т	0,553	0,985	1,000	0,753	0,765	0,759	0,765	0,971
Обобщенная интегральная оценка (показатель ТУ)	7,060	7,59	7,712	7,589	8,161	7,971	7,865	7,995
Ранг образца*)	8	6	5	7	1	3	4	2

*) – лидирующий образец занимает по показателю ТУ первое место с рангом 1.

2.2.2 Оценка достаточности значимых показателей эксплуатационных свойств автосамосвалов для оценки их технического уровня матричным методом

Изложенный матричный метод был использован для исследования влияния принятого количества значимых показателей эксплуатационных свойств на итоговую оценку технического уровня машин и определения возможности их сокращения. На примере автосамосвалов были произведены расчеты ТУ по 13-ти, 11-ти и 9-ти показателям, выбранным в соответствии с рекомендациями, отработанными в разделе 2.1.

Исходные данные для расчета по 13-ти показателям приведены в таблице 2.5. Для расчета по 11-ти показателям из перечня таблицы 2.5 были исключены угол опрокидывания кузова при разгрузке и количество направлений разгрузки. Для расчета по 9-ти показателям – дополнительно исключены максимально преодолеваемый угол подъема пути и полная масса машины.

В таблице 2.6 представлены результаты расчетов относительных и обобщенных интегральных показателей, а в таблице 2.7 приведены полученные значения с проставлением рангов оцениваемых образцов. По данным таблицы 2.7 построена гистограмма приоритетов (рисунок 2.1) с учетом перевода рангов в баллы, то есть лучшие образцы по результатам оценки имеют максимальные значения (до 8 баллов), а худшие – минимальные.

Таблица 2.5 – Исходные данные для расчета ТУ автосамосвалов

Показатель	КАМАЗ-6540	Урал 6370	КАМАЗ-65222	КАМАЗ-6520	МАЗ 650128-8520-000	CAMC HN3250P 34C6M3	Dongfeng DFL 3251A-A1-375	Mercedes-Benz Actros 3336K
1. Грузоподъёмность, т	18,5	18,7	19,5	20	19,5	18,44	19,15	20
2. Максимальная нагрузка на односкатный мост, т	6,1	7,5	8	7,5	7,5	7,2	7	8
3. Удельная мощность двигателя, кВт/т	11,14	15,15	15,08	14,7	16,84	13,57	14,4	13,25
4. Запас хода, тыс. км	1,235	0,962	0,972	0,778	1,2	1,061	1,053	1,143
5. Число передач в трансмиссии	10	16	16	16	16	14	14	16
6. Объём кузова, м ³	11	12	12	16	20	18,7	16	16
7. Максимальная скорость движения, м/с	22,4	22,4	25,2	25,2	23,8	25,2	22,4	25,2
8. Минимальный радиус поворота, м	10,5	13	13	12,5	13	9,3	9	12
9. Сцепной вес, т	18,8	33,5	34	25,6	26	25,8	26	33
10. Полная масса, т	31	33,5	34	33,1	33,5	33	33	33
11. Максимально преодолеваемый угол подъема пути, %	25	25	25	25	25	25	30	30
12. Количество направлений опрокидывания	1	1	1	1	1	1	1	1
13. Угол опрокидывания кузова при разгрузке, град.	55	50	50	50	50	53	44	50

Таблица 2.6 – Относительные показатели свойств и результаты обобщенной интегральной оценки образцов

Показатель	КАМАЗ-6540	Урал 6370	КАМАЗ-65222	КАМАЗ-6520	МАЗ 650128-8520-000	САНС HN3250P34 C6M3	Dongfeng DFL 3251A-A1-375	Mercedes-Benz Actros 3336K
1. Грузоподъемность, т	0,925	0,935	0,975	1	0,975	0,922	0,9575	1
2. Максимальная нагрузка на односкатный мост, т	1,000	0,813	0,763	0,813	0,813	0,847	0,871	0,763
3. Удельная мощность двигателя, кВт/т	0,662	0,900	0,895	0,873	1,000	0,806	0,855	0,787
4. Запас хода, тыс. км	1,000	0,779	0,787	0,630	0,972	0,859	0,853	0,926
5. Число передач в трансмиссии	0,625	1,000	1,000	1,000	1,000	0,875	0,875	1,000
6. Объем кузова, м ³	0,550	0,600	0,600	0,800	1,000	0,935	0,800	0,800
7. Максимальная скорость движения, м/с	0,889	0,889	1,000	1,000	0,944	1,000	0,889	1,000
8. Минимальный радиус поворота, м	0,857	0,692	0,692	0,720	0,692	0,968	1,000	0,750
9. Сцепной вес, т	0,553	0,985	1,000	0,753	0,765	0,759	0,765	0,971
Сумма по 9 показателям	7,061	7,593	7,712	7,589	8,161	7,971	7,866	7,997
10. Полная масса, т	1,000	0,925	0,912	0,937	0,925	0,939	0,939	0,939
11. Максимально преодолеваемый угол подъема пути, %	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	1,000	1,000
Сумма по 11 показателям	8,894	9,351	9,457	9,359	9,919	9,743	9,8045	9,936
12. Количество направлений разгрузки	1	1	1	1	1	1	1	1
13. Угол опрокидывания кузова при разгрузке, град.	1,00	0,91	0,91	0,91	0,91	0,96	0,80	0,91
Сумма по 13 показателям	10,894	11,261	11,367	11,269	11,829	11,703	11,6045	11,846

Таблица 2.7 – Результаты определения рангов оцениваемых образцов

	КАМАЗ-6540	Урал 6370	КАМАЗ-65222	КАМАЗ-6520	МАЗ 650128-8520-000	САНС НН3250Р34 С6М3	Dongfeng DFL 3251A-A1-375	Mercedes-Benz Actros 3336K
13 показателей	10,894	11,261	11,367	11,269	11,829	11,703	11,6045	11,846
Ранг	8	7	5	6	2	3	4	1
11 показателей	8,894	9,351	9,457	9,359	9,919	9,743	9,8045	9,936
Ранг	8	7	5	6	2	4	3	1
9 показателей	7,061	7,593	7,712	7,589	8,161	7,971	7,866	7,997
Ранг	8	6	5	7	1	3	4	2

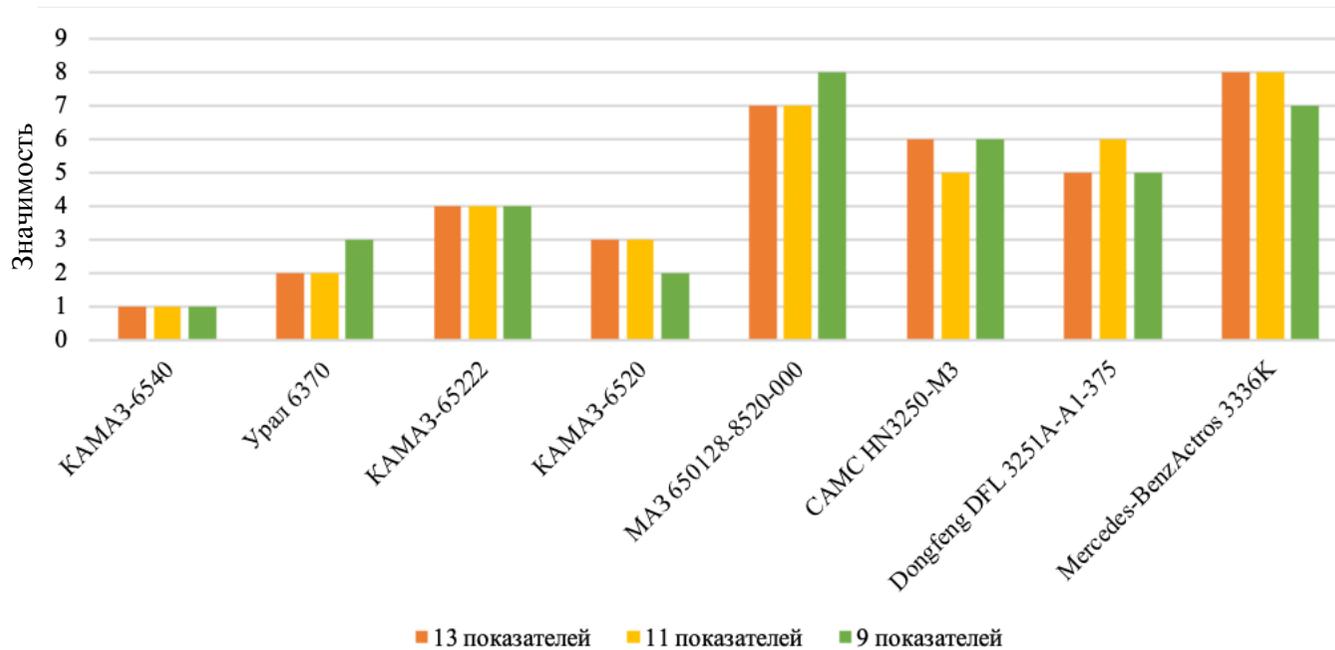


Рисунок 2.1. Гистограмма бальной оценки влияния количества значимых показателей на технический уровень машин

Анализ данных таблицы 2.7 и рисунка 2.1 показывает, что увеличение количества параметров, принятых для оценки ТУ автосамосвалов, влияет на итоговый результат незначительно. Отстающие образцы остаются аутсайдерами при всех трех вариантах набора значимых свойств, лидирующие – сохраняют свое первенство с незначительными изменениями оценок по 13, 11-ти и 9-ти параметрам. При этом учитывая минимальную значимость параметра преодолеваемого дорожного угла подъема на временных подъездных путях к объектам дорожного строительства, за счет учета которого Mercedes-Benz Actros 3336K получает при сравнении по 13-ти и 11-ти параметрам приоритет над МАЗ 650128-8520-000, результат сравнения по 9-ти параметрам с приоритетом МАЗ 650128-8520-000 представляется более корректным. Таким образом, полученный результат подтверждает нецелесообразность увеличения количества параметров оценки образцов по сравнению с минимально необходимым при расчете показателей их ТУ в интересах выбора машины потребителем. В свою очередь сокращение исследуемого перечня для рассмотренных машин до уровня ниже 9-ти недопустимо, т.к. в этом случае будут исключены параметры, непосредственно влияющие на конструктивно-расчетную производительность автосамосвалов.

2.2.3 Метод определения путей повышения технического уровня образцов на основе матричного анализа

Определение направлений повышения технического уровня исследуемых образцов предлагается проводить на основе вертикального и горизонтального матричных анализов.

Вертикальный матричный анализ. Вертикальный матричный анализ проводится относительно лучших показателей из всех рассматриваемых образцов, а не относительно параметров лидирующего по результатам оценки автосамосвала. Например, модель КАМАЗ-6520 обладает лучшими показателями в оцениваемой группе образцов по таким параметрам, как «грузоподъемность», «число передач в

трансмиссии» и «максимальная скорость движения» (таблица 2.1). Уступает КАМАЗ-6520 в группе оцениваемых образцов другим моделям по мощности двигателя, запасу хода, объему кузова, показателям маневренности (минимальный радиус поворота) и проходимости (осевая нагрузка и количество ведущих осей)

В соответствии с выбранными значимыми показателями эксплуатационных свойств и полученными значениями относительных показателей их оцениваемых параметров (таблица 2.4) строятся лепестковые диаграммы с размерностью радиальной шкалы от 0 до 1. На рисунке 2.2 представлена лепестковая диаграмма относительных показателей автосамосвала КАМАЗ-6520.



Рисунок 2.2. Лепестковая диаграмма относительных показателей автосамосвала КАМАЗ-6520

Из диаграммы следует, что наиболее существенными резервами повышения ТУ этой модели является увеличение запаса хода, объема кузова, снижение максимальной нагрузки на ось и минимального радиуса поворота, что и необходимо учесть при проведении модернизации машины в интересах повышения ее конкурентоспособности.

«Для выявления сильных и слабых сторон лидирующего из европейских и наиболее отстающего отечественных образцов из выбранных для оценки

автосамосвалов построены сравнительные лепестковые диаграммы уровня показателей их эксплуатационных свойств» [49] (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3. Лепестковые диаграммы эксплуатационных свойств лидирующего европейского и наиболее отстающего отечественного образцов

Из диаграммы видно, что КАМАЗ-6540 имеет преимущество по максимальной нагрузке на ось, запасу хода и минимальному радиусу поворота, но в сравнении с Mercedes-Benz Actros 3336K обладает наименьшими показателями по «мощности двигателя, числу передач, объему кузова, максимальной скорости движения» [49] и сцепному весу, что снижает конкурентоспособность машины в сравнении с зарубежным европейским аналогом.

Аналогичное сравнение КАМАЗ-6540 было проведено со всеми лидирующими зарубежными аналогами из Европы, Китая и Белоруссии с нанесением их лепестковых диаграмм ТУ на один график (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4. Лепестковые диаграммы ТУ КАМАЗ-6540 и лидирующих зарубежных аналогов

Анализ данных диаграмм показывает значительное отставание КАМАЗ-6540 по показателям функциональности (объем кузова), энерговооруженности (удельная мощность двигателя), подвижности и экономичности (число передач в трансмиссии) не только от европейского образца, но и от китайских и белорусских машин, на что и надо обратить внимание разработчикам при определении направлений усовершенствования отечественных моделей.

Таким образом, анализ диаграмм ТУ позволяет определить преимущества и недостатки исследуемых образцов. В свою очередь, площадь получаемого внутри круга многогранника с вершинами из относительных показателей, показывает общий уровень технического совершенства машины. На рисунке 2.5 представлены диаграммы технического уровня восьми рассматриваемых образцов, позволяющие определить сильные и слабые стороны их эксплуатационных свойств для усовершенствования конструкции в интересах повышения конкурентоспособности.

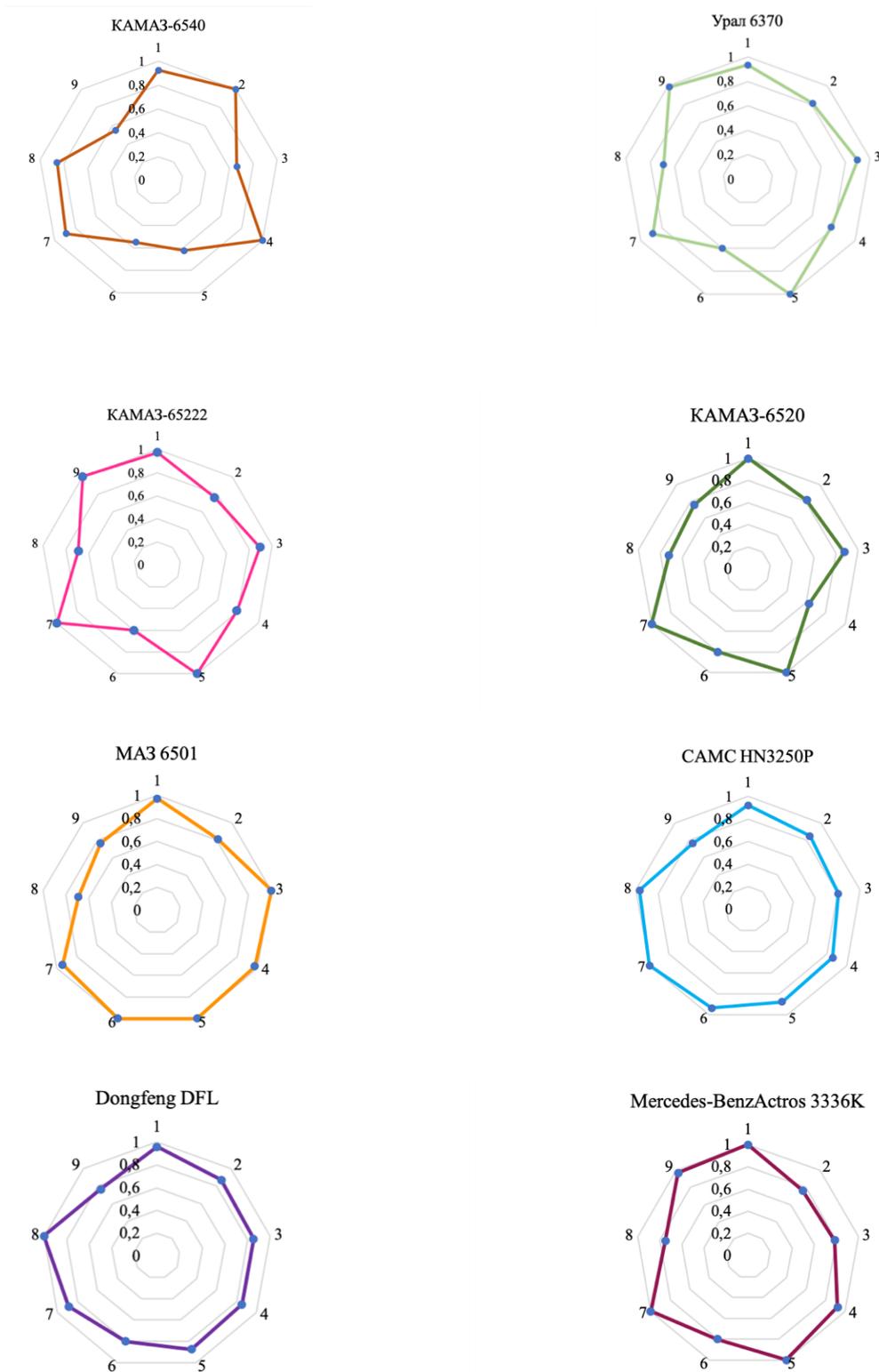


Рисунок 2.5. Лепестковые диаграммы ТУ оцениваемых автосамосвалов:
номера показателей проставлены в соответствии с таблицей 2.3

При этом возникает задача выявления тенденций развития отдельных эксплуатационных свойств по всем сравниваемым образцам, наглядное решение которой может быть реализовано методом горизонтального матричного анализа.

Горизонтальный матричный анализ. Метод позволяет проиллюстрировать результаты нормированных интегральных оценок по достижению лучших показателей исследуемых значимых свойств у сравниваемых моделей машин.

«Диаграмма, построенная по результатам суммирования нормированных интегральных оценок по выбранным моделям автосамосвалов» [49], показана на рисунке 2.6.

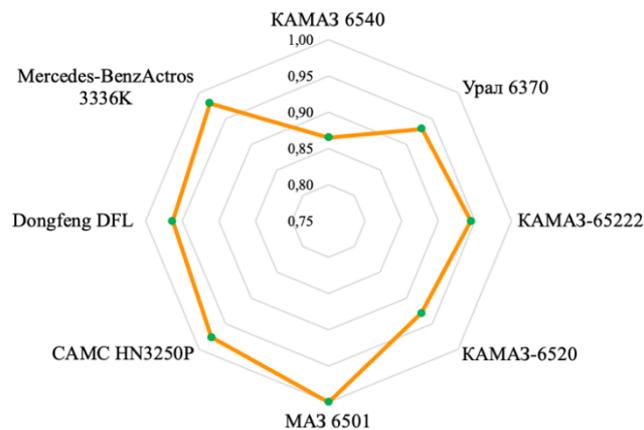


Рисунок 2.6. Лепестковая диаграмма нормированных интегральных оценок ТУ автосамосвалов

Результаты сравнения автосамосвалов по некоторым из значимых показателей представлены на рисунках 2.7 и 2.8.

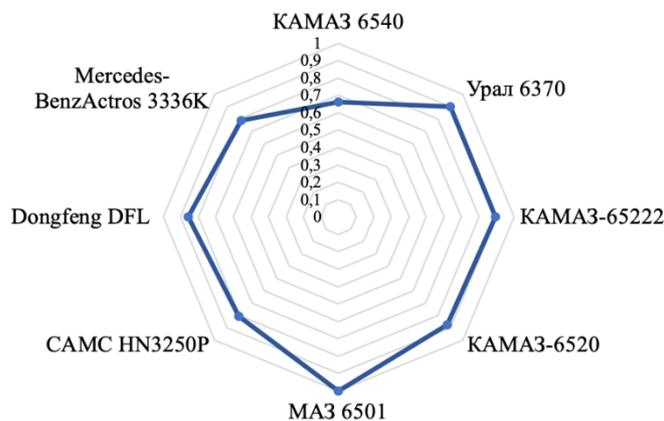


Рисунок 2.7. Лепестковая диаграмма удельной мощности двигателей исследуемых автосамосвалов

Лепестковая диаграмма «удельной мощности двигателя» иллюстрирует низкую удельную мощность двигателя КАМАЗ-6540 относительно других исследуемых образцов.

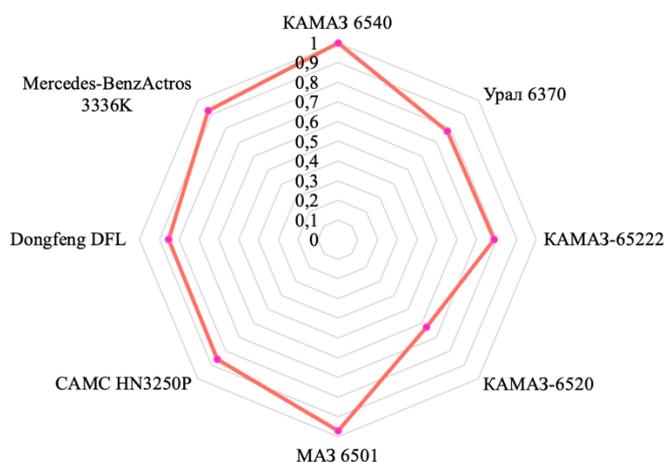


Рисунок 2.8. Лепестковая диаграмма запаса хода исследуемых автосамосвалов

Диаграмма «запас хода» наоборот показывает преимущество модели КАМАЗ-6540 относительно других образцов в группе.

Таким образом, использование предлагаемого метода вертикального и горизонтального матричного анализа позволяет проводить всестороннюю оценку направлений совершенствования конструкции машин в интересах повышения их технического уровня. Кроме того, построенные диаграммы позволяют потребителю, при наличии производственной возможности, заказать машину более эффективной комплектации.

2.3 Метод прямого ранжирования на основе экспертных оценок значимости показателей эксплуатационных свойств

В основу данного метода выбора модели автосамосвала потребителем положена оценка их ТУ исходя из мнения экспертов. Экспертный метод оценки проводился по схеме, приведенной на рисунке 2.9.

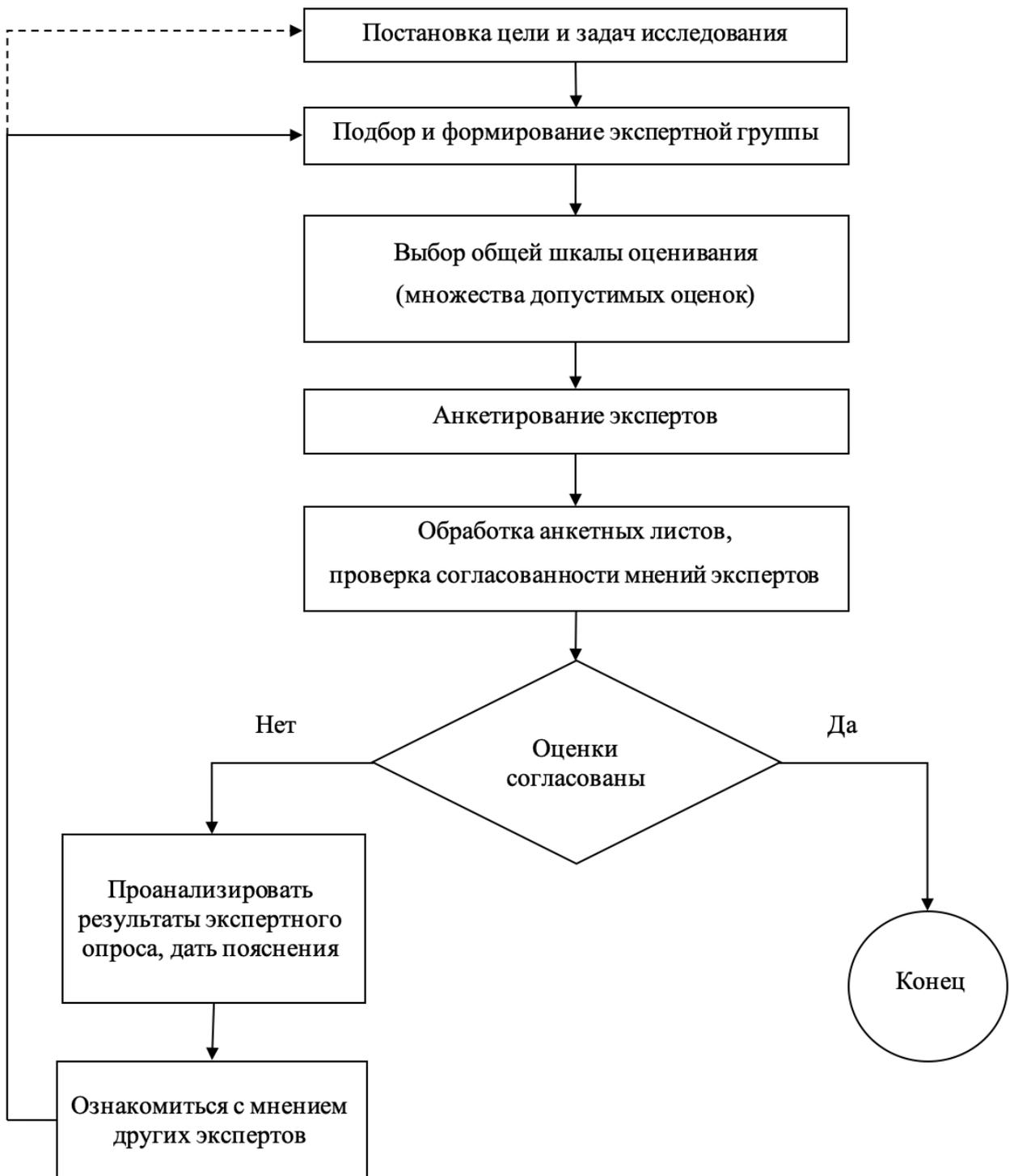


Рисунок 2.9. Схема организации экспертного исследования

Методика расчета методом прямого ранжирования представлена в таблице 2.8

Таблица 2.8 – Методика расчета показателя ТУ машины методом прямого ранжирования

Метод прямого ранжирования	
Этапы расчета	Расчетные зависимости
1. Экспертное определение количества n значимых показателей эксплуатационных свойств и их номенклатуры; выбор m однотипных машин для сравнения	$n, m \in N$
2. Экспертное ранжирование показателей свойств, присвоение им баллов весомости; i – номер свойства; R_i – ранг i -го свойства; x_i – балл весомости i -го свойства; n – количество свойств	$1 \leq R \leq n$ $R_i = 1 \Rightarrow x_i = n$ $R_i = n \Rightarrow x_i = 1$
3. Сумма ранговых баллов каждого i -го свойства по всем экспертам; K – количество экспертов	$\sum_1^K x_i = x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{iK}$
4. Определение среднего значения балла i -го свойства, \bar{X}_i	$\bar{X}_i = \frac{\sum_1^K x_i}{K}$
5. Определение среднего квадратического отклонения по i -му свойству, S_i	$S_i = \sqrt{\frac{\sum_1^K (x_i - \bar{X}_i)^2}{K - 1}}$
6. Определение расчетного ранга i -го свойства, R'_i	при $\bar{X}_i > \bar{X}_{i+1} \Rightarrow R'_i > R'_{i+1}$ при $\bar{X}_i = \bar{X}_{i+1}$: $S_i < S_{i+1} \Rightarrow R'_i > R'_{i+1}$ $S_i > S_{i+1} \Rightarrow R'_i > R'_{i+1}$
7. Определение коэффициента весомости i -го свойства, p_i	$p_i = \frac{\sum_1^K x_i}{\sum_1^n \sum_1^K x_i}$
8. Оценка правильности составления матрицы средних значений, \bar{X}_i	$0,5n \cdot (n+1) = \sum_1^n \bar{X}_i$

9. Оценка согласованности мнений экспертов по коэффициенту конкордации W	$W = \frac{12d^2}{K^2(n^3 - n)}$ $d = \sum_1^K x_i - \frac{\sum_1^n \sum_1^K x_i}{n}$
10. Вывод о согласованности мнений экспертов	$W > 0,7$ – высокая $0,3 \leq W \leq 0,7$ – средняя $W < 0,3$ – низкая
11. Расчет показателя ТУ образца, $\Pi_{\text{ТУ}}$; q_i – значение показателя i -го свойства; p_i – коэффициент его весомости	$\Pi_{\text{ТУ}} = \sum_1^n q_i p_i$ $\Pi_{\text{ТУ max}}$ – лучший образец

Для расчета технического уровня автосамосвалов методом прямого ранжирования на основе экспертных оценок был проведен опрос экспертной группы из пяти специалистов. Экспертам предлагалось оценить предложенные 9 показателей (таблица 2.1), то есть присвоить им баллы, взяв за основу степень важности показателей: максимальный балл, равный 9, присваивался самому значимому показателю, минимальный балл 1 – наименее значимому. По результатам опроса показателям были назначены предварительные ранги (ранг 1 – у показателя с наибольшим количеством баллов) и определена их весомость. Полученные значения приведены в таблице 2.9.

Для оценки правильности составления матрицы используется формула

$$0,5n(n+1) \quad (2.1)$$

$$0,5 \cdot 9 (9 + 1) = 45$$

$$7 + 4,2 + 7 + 6,4 + 2 + 6,8 + 5,4 + 3,8 + 2,4 = 45$$

45=45, следовательно, предварительные ранги показателей назначены верно.

Проведем оценку степени согласованности мнений экспертов по коэффициенту конкордации (таблица 2.10), где

$$d = \sum x_{ij} - \frac{\sum \sum x_{ij}}{n} = \sum x_{ij} - 25 \quad (2.2)$$

$$\frac{\sum \sum x_{ij}}{n} = \frac{35 + 21 + 35 + 32 + 10 + 34 + 27 + 19 + 12}{9} = 25$$

Таблица 2.9 – Расчетные значения показателей весомости значимых свойств

№	Показатели	Эксперты					Сумма баллов	Среднее значение	Среднее квадратическое отклонение	Предварительный ранг показателя	Коэффициент весомости
		1	2	3	4	5					
1	Грузоподъемность, т	9	9	3	6	8	35	7	2,55	2	0,156
2	Максимальная нагрузка на ось, т	1	5	2	7	6	21	4,2	2,59	6	0,093
3	Удельная мощность двигателя, кВт/т	8	8	6	8	5	35	7	1,41	1	0,156
4	Запас хода, км	5	6	8	9	4	32	6,4	2,07	4	0,142
5	Число передач в трансмиссии	4	3	1	1	1	10	2	1,41	9	0,044
6	Объем кузова, м ³	7	4	9	5	9	34	6,8	2,28	3	0,151
7	Максимальная скорость движения, м/с	2	7	7	4	7	27	5,4	2,30	5	0,120
8	Минимальный радиус поворота, м	6	2	5	3	3	19	3,8	1,64	7	0,084
9	Сцепной вес, т	3	1	4	2	2	12	2,4	1,14	8	0,053

Таблица 2.10 – Оценка согласованности мнений экспертов

Факторы / Эксперты	1	2	3	4	5	Сумма рангов	d	d ²
1. Грузоподъемность, т	9	9	3	6	8	35	10	100
2. Максимальная нагрузка на ось, т	1	5	2	7	6	21	-4	16
3. Удельная мощность, кВт/т	8	8	6	8	5	35	10	100
4. Запас хода, км	5	6	8	9	4	32	7	49
5. Число передач в трансмиссии	4	3	1	1	1	10	-15	225
6. Объем кузова, м ³	7	4	9	5	9	34	9	81
7. Максимальная скорость движения, м/с	2	7	7	4	7	27	2	4
8. Минимальный радиус поворота, м	6	2	5	3	3	19	-6	36
9. Колесная формула машины (количество ведущих осей)	3	1	4	2	2	12	-13	169
Σ	45	45	45	45	45	225		780

Коэффициент конкордации $W = \frac{12S}{m^2(n^3-n)}$, где $S = 780$, $n = 9$, $m = 5$

$$W = \frac{12 \cdot 780}{5^2(9^3 - 9)} = 0,52$$

Полученное значение $W=0,52$ говорит о средней степени согласованности мнений экспертов.

Расчёт показателя технического уровня самосвала $\Pi_{\text{ТУ}}$ производится по зависимости

$$\Pi_{\text{ТУ}} = \sum_1^n q_i \cdot p_i, \quad (2.3)$$

где q_i – значение показателя i -го свойства (из таблицы 2.1);

p_i – коэффициент весомости i -ого показателя, определенный экспертным путём (таблица 2.9).

Необходимо отметить, что увеличение некоторых показателей снижают технический уровень образца. Например, к ним относятся показатели

максимальной нагрузки на ось и минимального радиуса поворота. В расчете используются обратные показатели этих значений ($1/q_i$). Пример расчета $P_{\text{ТУ}}$ самосвала Камаз 6540 по формуле (2.3) представлен ниже:

$$P_{\text{ТУ}} = 18,5 \cdot 0,156 + \frac{1}{6,1} \cdot 0,093 + 11,14 \cdot 0,156 + 1,235 \cdot 0,142 + 10 \cdot 0,044 + \\ + 11 \cdot 0,151 + 22,4 \cdot 0,12 + \frac{1}{10,5} \cdot 0,084 + 18,8 \cdot 0,053 = 10,96$$

Результаты расчетов по всем сравниваемым образцам сведены в таблице. 2.11.

Таблица 2.11 – Результаты расчёта показателей ТУ автосамосвалов методом прямого ранжирования

Показатели	Модели самосвалов грузоподъемностью 18-20 тонн							
	КАМАЗ-6540	Урал-6370	КАМАЗ-65222	КАМАЗ-6520	МАЗ 650128-8520-000	САМС HN3250P3 4С6М3	Dongfeng DFL 3251A-A1-375	Mercedes-Benz Actros 3336K
Показатель ТУ	10,61	12,42	12,89	13,04	13,82	13,00	12,50	13,26
Ранг образца	8	7	5	3	1	4	6	2

Проведенный расчет дает значения, отличные от полученных предыдущим методом. Исходя из них лучшими по ТУ в рассмотренном классе грузоподъемности можно считать среди автосамосвалов производства России и СНГ модели МАЗ 650128 (1-е место) и Камаз-6520 (3-е место), который при расчете матричным методом оказался лишь на 7 месте. Среди зарубежных образцов приоритеты также поменялись – САМС HN3250P опустился на 4-е место, Mercedes-Benz Actros 3336K переместился со 1-го на 2-е место. Причиной такого перераспределения рангов явился учет значимости оценочных показателей эксплуатационных свойств методом их прямого экспертного ранжирования. При этом отставание от лидера по уровню $P_{\text{ТУ}}$ у лучших образцов составляет 1,96...6 %, у отстающих образцов – 6,7...23,2 %. Полученная разница показателей ТУ у исследованных моделей более значительная, чем при предыдущем расчете, что свидетельствует о более высокой информативности данного метода.

2.4 Метод кластерного ранжирования на основе экспертных оценок коэффициентов весомости единичных и комплексных показателей эксплуатационных свойств

Для повышения корректности экспертных оценок считается целесообразным сокращать количество сравниваемых показателей. В связи с этим для оценки ТУ автосамосвалов был принят следующий алгоритм действий:

- определение значимых для оценки ТУ показателей эксплуатационных свойств;
- проведение декомпозиции этих показателей свойств до измеряемого уровня;
- распределение выбранных показателей по кластерам по принципу обеспечения ими реализации одной и той же функциональной задачи, эффективность решения которой характеризуется комплексным показателем качества;
- численное значение каждого комплексного показателя формируется совокупностью численных значений единичных показателей с учетом их весомости в кластере;
- численное значение итогового показателя качества, т.е. обобщенного показателя ТУ, формируется совокупностью полученных численных значений комплексных показателей с учетом весомости каждого из них [49].

Методика расчета методом кластерного ранжирования представлена в таблице 2.12.

Реализация предложенного метода предполагает определение значений коэффициентов весомости единичных и комплексных показателей. Оно было проведено путем экспертных оценок, для чего была сформирована экспертная группа из 14 специалистов – сотрудников профильных вузов и разработан опросный лист. Экспертам было предложено оценить достаточность выбранных для сравнения показателей и провести их ранжирование с учетом присвоения ранга 1 наиболее значимому показателю.

Таблица 2.12 – Методика расчета показателя ТУ машины методом кластерного ранжирования

Метод кластерного ранжирования	
Этапы расчета	Расчетные зависимости
1. Экспертное определение количества n значимых показателей эксплуатационных свойств и их номенклатуры; выбор m однотипных машин для сравнения	$n, m \in N$
2. Экспертное распределение единичных показателей свойств по кластерам; n_{ki} – количество показателей в кластере; N_j – количество кластеров	Рекомендуемые кластеры: – показатели функциональности; – показатели маршевой подвижности; – показатели маневровой подвижности
3. Определение коэффициента весомости комплексных показателей (кластеров) P_k и единичных показателей внутри кластеров P_e	По п.п. 2-10 метода прямого ранжирования
4. Расчет комплексных показателей, Q_j ; q_{ij} – значение i -го показателя в j -том кластере; P_{eij} – коэффициент весомости i -го показателя в j -ом кластере	$Q_j = \sum_1^{n_k} q_{ij} P_{eij}$
5. Расчет обобщенного показателя технического уровня образца, $\Pi_{ТУ}$	$\Pi_{ТУ} = \sum_1^N Q_j P_k$ $\Pi_{ТУ \max}$ – лучший образец

Все выбранные показатели предлагается распределить по трем кластерам, обоснованным в работах [85, 91]: функциональности, маршевой подвижности и маневровой подвижности.

«Показатели функциональности характеризуют приспособленность автосамосвала к выполнению функций по прямому назначению – транспортировке сыпучих грузов. Показатели маршевой подвижности характеризуют способность машины к перемещению в звене подвоза грунта от карьера к месту складирования на строительном объекте при движении по дорогам общего пользования. Показатели маневровой подвижности» [85] характеризуют способность машины к перемещению и маневрированию в звене развоза грунта от

места складирования на строительном объекте до места его отсыпки при движении по временным подъездным дорогам и по грунтовой дорожной насыпи. Принятое в исследовании распределение показано в таблице 2.13.

Таблица 2.13 – Распределение единичных показателей значимых эксплуатационных свойств автосамосвалов по кластерам

Показатели функциональности	Показатели маршевой подвижности	Показатели маневровой подвижности
1. Грузоподъёмность, т	1. Удельная мощность двигателя, кВт/т	1. Максимальная нагрузка на ось, т
2. Объём кузова, м ³	2. Максимальная скорость, м/с	2. Сцепной вес, т
	3. Число передач в трансмиссии	3. Минимальный радиус поворота, м
	4. Запас хода, тыс, км	

Результаты экспертного исследования по определению рангов единичных и комплексных показателей в кластерах приведены в таблице 2.14.

Таблица 2.14 – Результаты ранжирования единичных и комплексных показателей членами экспертной группы

№ кластера	№ показателя	Показатель	Номер эксперта													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ранги единичных показателей в кластерах																
K1	K11	Грузоподъёмность	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1
	K12	Объём кузова	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2
K2	K21	Удельная мощность двигателя	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	1	2
	K22	Максимальная скорость	1	2	2	4	4	3	2	2	1	1	1	2	2	3
	K23	Число передач в трансмиссии	4	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	1	4	4
	K24	Запас хода	3	4	3	2	2	2	3	3	3	3	3	4	3	1
K3	K31	Максимальная нагрузка на ось	1	1	1	1	2	1	3	2	1	1	1	3	2	1
	K32	Сцепной вес	3	3	3	3	1	3	2	3	3	3	3	2	3	2
	K33	Минимальный радиус поворота	2	2	2	2	3	2	1	1	2	2	2	1	1	3
Ранги обобщенных показателей																
K1	Функциональности		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
K2	Маршевой подвижности		2	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	3
K3	Маневровой подвижности		3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	2

Проведена оценка согласованности мнений экспертов. Ее результаты представлены в таблице 2.15.

Таблица 2.15 – Результаты оценки согласованности мнений экспертов

Показатели функциональности	Показатели маршевой подвижности	Показатели маневровой подвижности
0,51	0,471	0,342
Согласованность значимости комплексных показателей – 0,832		

Приведенные в таблице 2.15 результаты показывают высокую (более 0,7) согласованность мнений экспертов по комплексным показателям и среднюю (от 0,3 до 0,7) согласованность по показателям функциональности, маршевой и маневровой подвижности. Последнее обстоятельство – свидетельство неоднозначности мнений экспертов о роли ряда единичных показателей в формировании ТУ автосамосвалов, особенно в части обеспечения их маневровой подвижности и целесообразности углубленного исследования этого вопроса.

По результатам экспертного ранжирования по методике расчета, представленной в таблице 2.9, были определены коэффициенты весомости единичных (P_{ei}) и комплексных (P_{kj}) показателей. Результаты расчетов представлены в таблице 2.16.

Таблица 2.16 – Коэффициенты весомости показателей по результатам экспертной оценки

Показатели функциональности ($P_{k1} = 0,5$)		Показатели маршевой подвижности ($P_{k2} = 0,3$)		Показатели маневровой подвижности ($P_{k3} = 0,2$)	
Показатель	P_{ei}	Показатель	P_{e2}	Показатель	P_{e3}
1. Грузоподъемность, т	0,619	1. Удельная мощность двигателя, кВт/т	0,350	1. Максимальная нагрузка на ось, кН	0,461
2. Объем кузова, м ³	0,381	2. Максимальная скорость, м/с	0,290	2. Сцепной вес, т	0,250
		3. Число передач в трансмиссии	0,140	3. Минимальный радиус поворота, м	0,289
		4. Запас хода, тыс. км	0,220		

Значения комплексных показателей функциональности, маршевой и маневровой подвижности рассчитываются по зависимости:

$$Q_j = \sum_1^{n_k} q_{ij} P_{eij}, \quad (2.4)$$

где q_{ij} - значения i -го единичного показателя в j -ом кластере;

P_{ij} – коэффициент весомости i -го единичного показателя в j -ом кластере;

n – количество единичных показателей в j -ом кластере.

Значения q_{ij} выбираются из технических характеристик автосамосвала, а P_{ij} определяются экспертным путём, их рекомендуемые значения приведены в таблице 2.16.

Обобщенный показатель технического уровня самосвала $\Pi_{\text{ТУ}}$, определен по зависимости

$$\Pi_{\text{ТУ}} = \sum_1^N Q_j P_k, \quad (2.5)$$

где N – количество кластеров;

Q_j – значение обобщенного показателя j -го кластера;

P_k – коэффициент весомости комплексного показателя j – го кластера.

Проведем расчет $\Pi_{\text{ТУ}}$ по формулам 2.4 и 2.5 для самосвала Камаз-6540:

- расчет комплексного показателя функциональности

$$Q_{i1} = 18,5 \cdot 0,619 + 11 \cdot 0,381 = 15,64$$

- расчет комплексного показателя маршевой подвижности

$$Q_{i2} = 11,14 \cdot 0,35 + 22,4 \cdot 0,29 + 10 \cdot 0,14 + 1,235 \cdot 0,22 = 12,07$$

- расчет комплексного показателя маневровой подвижности

$$Q_{i3} = \frac{1}{6,1} \cdot 0,461 + 18,8 \cdot 0,25 + \frac{1}{10,5} \cdot 0,289 = 4,8$$

- расчет обобщенного показателя технического уровня

$$\Pi_{\text{ТУ}} = 15,64 \cdot 0,5 + 12,07 \cdot 0,3 + 4,8 \cdot 0,20 = 12,40$$

Оценка работоспособности методики проведена путем сравнительного расчета показателей технического уровня отечественных и зарубежных автосамосвалов [91]. Модельный ряд сравниваемых автосамосвалов и их

технические характеристики [85, 90] приведены в таблице 2.1. Результаты расчетов представлены в таблице 2.17.

Таблица 2.17 – Результаты расчёта показателей ТУ методом кластерного ранжирования

Показатели	КАМАЗ 6540	Урал 6370	КАМАЗ-6522	КАМАЗ-6520	МАЗ 650128-8520-000	САМС HN3250P34C6M3	Dongfeng DFL 3251A-A1-375	Mercedes-Benz Actros 3336K
Функциональности, Q_1	15,64	16,15	16,64	18,48	19,69	18,54	17,95	18,48
Маршевой подвижности, Q_2	12,07	14,25	15,04	14,86	15,30	14,25	13,73	14,44
Манёвренности, Q_3	4,80	8,46	8,58	6,48	6,58	6,55	6,60	8,33
Обобщенный, $P_{ТУ}$	12,40	14,04	14,55	14,99	15,75	14,85	14,41	15,24
Ранг образца	8	7	5	3	1	4	6	2

Результаты расчета показывают, что есть основание в классе грузоподъемности 18 ... 20 тонн, среди автосамосвалов производства России и СНГ, считать лучшими МАЗ-650128 и Камаз-6520, что соответствует и результату расчета с использованием метода прямого ранжирования. Среди зарубежных образцов лучшими, как и в предыдущем расчете, оказались Mercedes-Benz Actros 3336K и САМС HN3250P34C6M3, однако лидерство между ними поменялось. Отставание от лидера по уровню $P_{ТУ}$ у лучших образцов составляет 3,2...5,7%, у отстающих образцов – 7,6...21,3 %.

При этом разницы численных значений $P_{ТУ}$ наилучших и наихудших образцов, полученные обоими экспертными методами, близки и составляет 21...23%, что можно считать значимым при сравнении моделей. Однако, разница численных значений $P_{ТУ}$ наилучших как отечественных, так и зарубежных образцов крайне незначительна и составляет 5,1...6,5%, что представляется недостаточным для однозначного определения приоритета в выборе модели. В целом полученные результаты дают основание признать идентичную корректность применения обоих методов, однако необходимо отметить их недостаточную информативность при сравнении моделей с высокой схожестью значений показателей значимых эксплуатационных свойств. С точки зрения отображения технической сущности процесса сравнения и повышения качества экспертных

оценок коэффициентов весомости показателей, метод, основанный на кластерном ранжировании, представляется более предпочтительным.

2.5 Анализ результатов расчетов ТУ различными методами и обоснование направления их совершенствования

Результаты расчетов показателей $\Pi_{ТУ}$ автосамосвалов различными методами приведены в таблице 2.18, а сравнительной оценки их информативности – в таблице 2.19 и на рисунках 2.10.1–2.10.3.

Таблица 2.18 - Результаты расчетов показателей ТУ автосамосвалов различными методами

Метод	Результаты расчетов $\Pi_{ТУ}$ по моделям самосвалов грузоподъемностью 18-20 тонн							
	КАМАЗ 6540	Урал 6370	КАМАЗ-65222	КАМАЗ -6520	МАЗ 650128-8520-000	САНС HN3250 P34C6 M3	Dongfeng DFL 3251A-A1-375	Mercedes-Benz Actros 3336K
Прямое ранжирование	10,61	12,42	12,89	13,04	13,82	13,00	12,50	13,26
Кластерный метод	12,40	14,04	14,55	14,99	15,75	14,85	14,41	15,24
Матричный метод	7,060	7,59	7,712	7,589	8,161	7,971	7,865	7,995

Расчеты по выявлению лидирующего образца, проведенные тремя различными методами, показали полную схожесть результатов. Распределение рангов остальных образцов различается в зависимости от принятого метода сравнения. Наибольшую схожесть рангов дают методы, предусматривающие учет значимости каждого из показателей (прямое и кластерное ранжирование). Все рассмотренные методы дают значимое различие показателей ТУ лидирующего и наиболее отстающего образца (до 21...23%), что представляется достаточно информативным для выбраковки из рассмотрения отстающих моделей. Однако, крайне незначительная разность обобщенных оценок лидирующих образцов (не более 5-6,5%), не позволяет с безусловной однозначностью установить приоритет в выборе модели из их числа.

Таблица 2.19 – Результаты сравнительной оценки информативности традиционных методов расчета $\Pi_{\text{ТУ}}$ автосамосвалов

Метод	Модели самосвалов грузоподъемностью 18-20 тонн							
	КАМАЗ-6540	Урал 6370	КАМАЗ-65222	КАМАЗ-6520	МАЗ 650128-8520-000	САНС HN3250P34C6 M3	Dongfeng DFL 3251A-A1-375	Mercedes-Benz Actros 3336K
$\Pi_{\text{ТУ}}$, прямое ранжирование	10,61	12,42	12,89	13,04	13,82	13	12,5	13,26
Ранг (где 1- max; 8 – min)	8	7	5	3	1	4	6	2
% от лидера	76,77	89,87	93,27	94,36	100,00	94,07	90,45	95,95
Разница, %	23,23	10,13	6,73	5,64	0,00	5,93	9,55	4,05
$\Pi_{\text{ТУ}}$, кластерный метод	12,4	14,04	14,55	14,99	15,75	14,85	14,41	15,24
Ранг (где 1- max; 8 – min)	8	7	5	3	1	4	6	2
% от лидера	78,73	89,14	92,38	95,17	100,00	94,29	91,49	96,76
Разница, %	21,27	10,86	7,62	4,83	0,00	5,71	8,51	3,24
$\Pi_{\text{ТУ}}$, матричный метод	7,06	7,59	7,712	7,589	8,161	7,971	7,865	7,995
Ранг (где 1- max; 8 – min)	8	6	5	7	1	3	4	2
% от лидера	86,51	93,00	94,50	92,99	100,00	97,67	96,37	97,97
Разница, %	13,49	7,00	5,50	7,01	0,00	2,33	3,63	2,03

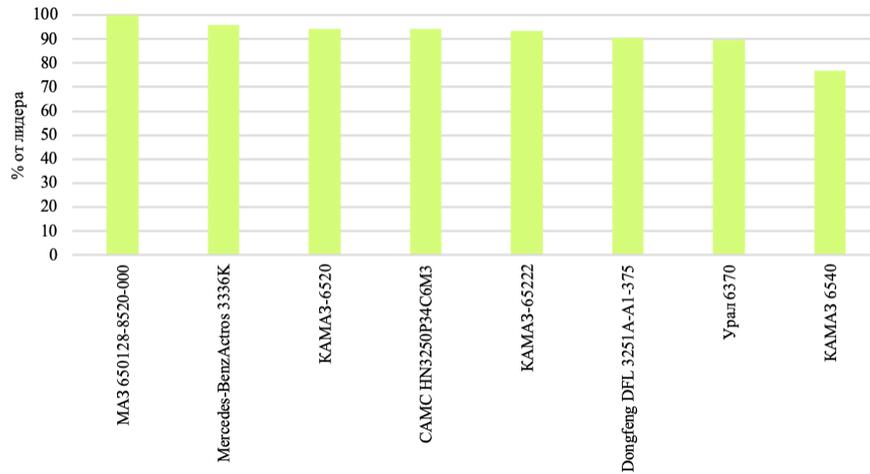


Рисунок 2.10.1. Результаты сравнительной оценки информативности традиционных методов расчета $\Pi_{\text{ту}}$: а) – метод прямого ранжирования

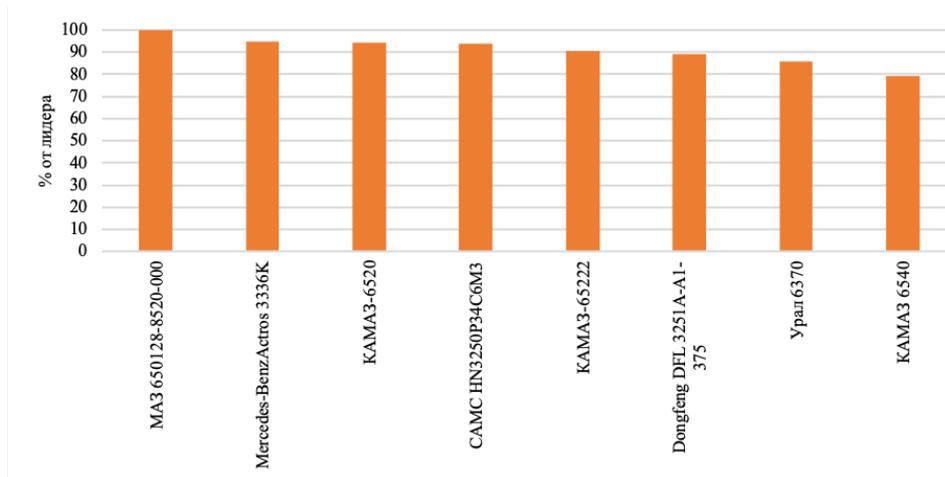


Рисунок 2.10.2. Результаты сравнительной оценки информативности традиционных методов расчета $\Pi_{\text{ту}}$: б) – метод кластерного ранжирования

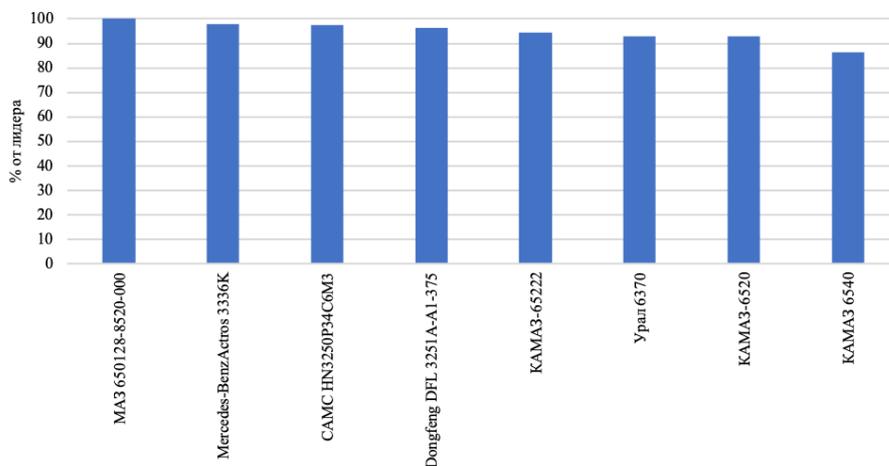


Рисунок 2.10.3. Результаты сравнительной оценки информативности традиционных методов расчета $\Pi_{\text{ту}}$: в) – матричный метод

Очевидно, что при принятии решений в таких условиях неопределенности в выборе значимых показателей, недостаточной чувствительности и информативности существующих методов, «необходимости учета перечня показателей, обладающих высокой схожестью, полагаться на опыт экспертов недостаточно. Для решения таких задач целесообразно использовать многокритериальные оптимизационные математические модели» [49].

Выводы по второй главе

1. Обоснованы минимально достаточные перечни наиболее значимых показателей эксплуатационных свойств землеройно-транспортных машин (строительных автосамосвалов, экскаваторов, бульдозеров и скреперов), рекомендуемые для проведения сравнительных оценок их технического уровня в интересах выбора предпочтений потребителем для обеспечения дорожно-строительных работ.

2. Подтверждена состоятельность традиционных методов сравнительных оценок изделий машиностроения в применении к землеройно-транспортным машинам. Расчеты тремя различными методами (матричным, прямого ранжирования, кластерного ранжирования), усовершенствованными путем применения экспертно обоснованных перечней показателей, их весомостей и распределения по кластерам показывают полную схожесть результатов по выявлению лидирующего образца. Распределение рангов остальных образцов разнится в зависимости от принятого метода сравнения. Наибольшую схожесть рангов дают методы, предусматривающие учет значимости каждого из показателей (прямое и кластерное ранжирование).

3. В интересах решения задачи определения направлений повышения ТУ машин путем их конструктивного усовершенствования предложен методический подход, базирующийся на матричном методе и предполагающий проведение вертикального и горизонтального матричного анализа показателей эксплуатационных свойств сравниваемых образцов.

4. Все рассмотренные методы дают значимое различие показателей ТУ лишь по лидирующему и наиболее отстающему образцам (до 21...23%), что представляется достаточно информативным, а сами методы могут использоваться для предварительного выявления и выбраковки из рассмотрения существенно отстающих моделей. Проведение подобных сравнительных оценок допустимо любым из рассмотренных методов, однако предпочтение целесообразно отдать методу кластерного анализа, как наиболее полно отображающему техническую сущность процесса сравнения и обеспечивающему повышение качества экспертных оценок коэффициентов весомости показателей.

5. Вместе с тем, при использовании любого из исследуемых методов выявлена крайне незначительная разность обобщенных оценок ТУ у лидирующих образцов (не более 5-6%), что обусловлено высокой схожестью численных значений используемых показателей их эксплуатационных свойств. Столь низкая информативность традиционных методов не обеспечивает однозначности при установлении приоритета в выборе машины.

6. Очевидно, что при принятии решений о приоритете в условиях неопределенности в выборе значимых показателей, недостаточной информативности существующих методов, использовании перечня показателей, обладающих высокой схожестью численных значений, полагаться только на опыт экспертов некорректно. Для решения таких задач более целесообразно применять многокритериальные оптимизационные математические модели.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

3.1 Обоснование выбора метода многокритериальной оптимизации для сравнительной оценки технического уровня изделий машиностроения

Все ситуации, требующие принятия решений, делятся на детерминированные (известна полная и достоверная информация о всех исходных параметрах и отсутствуют случайные воздействия, в таких задачах может быть получен единственный результат) и стохастические (все процессы определяются внешними или внутренними воздействиями, а на конечный результат влияют случайные факторы, формирующие задачи с риском – когда при случайных параметрах вероятностные характеристики известны, и задачи с неопределенной ситуацией – когда при случайных параметрах неизвестны вероятностные характеристики и суждения о них) [93, 94, 95]. Рассматриваемый в работе случай относится к стохастическим задачам с неопределенной ситуацией.

Задачи оптимизации характеризуются тремя понятиями:

- множеством возможных решений (действий) – n , то есть количеством оцениваемых параметров;
- множеством видов [96] состояний природы (обстановки) – m – то есть количеством оцениваемых образцов;
- эффективностью любого i -го решения при каждом j -том состоянии природы – a_{ij} .

При различных состояниях природы, матрица эффективностей принимает вид:

$$\|a_{ij}\| = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

В «стохастических задачах с риском показателем эффективности выступает математическое ожидание эффективности

$$\bar{a}_i = \sum_{j=1}^n P_j a_{ij}, \quad (3.2)$$

где P_j – вероятность того, что будет иметь место j -е состояние природы» [96].

$$\sum_{j=1}^n P_j = 1, \quad P_j \geq 0, \quad j = 1, 2 \dots n \quad (3.3)$$

Оптимальным будет действие, «при котором математическое ожидание эффективности» [96] примет максимальное значение:

$$\bar{a}_{i^*} = \max_i \bar{a}_i = \max_i \sum_{j=1}^n P_j a_{ij} \quad (3.4)$$

Введение в решение среднеождаемого риска при выборе i -го действия принимает вид

$$\bar{b}_i = \sum_{j=1}^n P_j b_{ij} \quad (3.5)$$

В (3.6), оптимальным считается действие, в котором среднеождаемый риск принимает \min значение:

$$\bar{b}_{i^*} = \min_i \bar{b}_i = \min_i \sum_{j=1}^n P_j b_{ij} \quad (3.6)$$

Следовательно,

$$\bar{b}_i + \bar{a}_i = \text{const} \quad (3.7)$$

Выбор оптимального действия осуществляется двумя возможными способами:

- из условия обращения в $\max \bar{a}_i$;
- из условия обращения в $\min \bar{b}_i$.

При этом любой вывод приводит к единому действию – априорно баейсову действию [93, 95, 97, 98]. «Риск выбора решения, не соответствующего реальному состоянию природы, сохраняется» [96].

При отсутствии информации о вероятностных характеристиках различают два вида ситуаций:

– когда выбор обстановки осуществляется «разумным противником», принимающим лучшее для себя решение. Следовательно, стороны при принятии решения могут использовать принципы минимакса или максимина;

– когда в качестве противника выступает природа. Так как природа существует объективно, «выбранное решение, основанное на принципе минимакса» [96], будет некорректным.

Рассмотрим несколько традиционных методов, в основании которых лежит использование субъективных критериев.

Пьер-Симон Лаплас (1749–1827 гг.), по «принципу недостаточного основания», принимает вероятность состояния природы из незнания истинного положения. Оптимальным считается действие

$$\max_i \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (3.8)$$

По «принципу крайней осторожности» – максимальному критерию Вальда – Абрахам Вальд (1902–1950 гг.) признает оптимальным решение, при котором эффективность имеет наибольшее значение при самых неблагоприятных состояниях природы:

$$\max_i \min_j a_{ij} \quad (3.9)$$

Леонард Джимми Сэвидж (1917–1971 гг.) наоборот рассматривает «наименьшие значения при самых неблагоприятных» [96] состояниях природы:

$$\min_i \max_j b_{ij} \quad (3.10)$$

Учитывая принципы природы к существованию и принимаемым решениям, «крайний пессимизм при выборе решения» [96] по критериям Вальда и Сэвиджа не обоснован.

Леонид Абрамович Гурвич (1917–2008 гг.), вводит дополнительно коэффициент «пессимизма-оптимизма» α , известный как критерий взвешенного оптимизма Гурвица. Оптимальное решение учитывает соотношение азарта и осторожности лица, принимающего решение:

$$\max_i \left[\alpha \cdot \min_j a_{ij} + (1-\alpha) \max_j a_{ij} \right], \quad \text{где } 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (3.11)$$

То есть, если $\alpha = 0$, критерий Гурвица трансформируется в критерий «крайней осторожности» Вальда; если $\alpha = 1$ – трансформируется в критерий максимакса, «розового» оптимизма; если $0 < \alpha < 1$, критерий включает в себя «пессимистические и крайне оптимистические оценки удачи» [96] при принятии решения.

Нельзя объективно обосновать выбор критериев Лапласа, Вальда, Сэвиджа и Гурвица. Кроме того, действия, описываемые этими критериями, часто не совпадают.

Рассмотрим вариант, при котором вероятности природы P_j расположены по принципу «слабого доминирования»

$$P_1 > P_2 > \dots > P_n \quad (3.12)$$

Определим численные значения $P_1, P_2 \dots P_n$ одним из возможных подходов, например для $n = 3$. По критерию, предложенному Питером Фишберном (1936 – 2021 гг.), сумма числителей является общим знаменателем дробей Фишберна:

$$K = \sum_{i=1}^N r_i, \quad \text{где } p_i = \frac{r_i}{K} \quad (3.13)$$

Следовательно

$$P_1 = \frac{3}{6}, \quad P_2 = \frac{2}{6}, \quad P_3 = \frac{1}{6}$$

Аналогично посчитаем для $n = 6$

$$P_1 = \frac{6}{21}, P_2 = \frac{5}{21}, P_3 = \frac{4}{21}, P_4 = \frac{3}{21}, P_5 = \frac{2}{21}, P_6 = \frac{1}{21}$$

Это значит, что у каждого из этих вариантов

$$\sum_{j=1}^n P_j = 1 \quad (3.14)$$

В общем виде:

$$P_1 = \frac{n}{x}, P_2 = \frac{n-1}{x}, P_3 = \frac{n-2}{x}, \dots, P_n = \frac{1}{x} \quad (3.15)$$

Следовательно

$$\frac{n + (n-1) + (n-2) + \dots + 1}{x} = 1 \quad (3.16)$$

В числителе левой части этого уравнения арифметическая прогрессия, тогда

$$x = \frac{n(n+1)}{2} \quad (3.17)$$

Отсюда следует, что

$$P_j = \frac{2(n-j+1)}{n(n+1)}, \quad j = 1, 2 \dots n \quad (3.18)$$

Выберем на упрощенном примере сравнения бульдозеров, при помощи описанных выше методов, одно из возможных решений $m=4$ (количество образцов), с множеством оценочных параметров $n=3$.

В таблице 3.1 приведены исходные данные для расчета эффективности по принципу «слабого доминирования» на примере бульдозера.

Таблица 3.1 – Исходные данные для расчета эффективности по принципу «слабого доминирования» на примере бульдозера при $m=4$, $n=3$

Марка бульдозера (m)	Показатели (n)		
	Ширина отвала, м	Удельное давление на грунт, кгс/см ²	Максимальное расстояние перемещения породы, км
Б 10 М	3,31	0,74	0,14
Б-170	3,31	0,75	0,15
Т-130	3,42	0,5	0,16
Т.11-Л	4,31	0,78	0,3
Целеполагание	max	min	max

После преобразования исходных данных с учетом целеполагания max / min, матрица выигрышей любого решения, в зависимости от состояния «природы», приобретает вид:

$$A = \begin{pmatrix} 0,768 & 0,676 & 0,47 \\ 0,768 & 0,67 & 0,5 \\ 0,79 & 1 & 0,53 \\ 1 & 0,64 & 1 \end{pmatrix}$$

Пользуясь формулой

$$b_{ij} = \max_i a_{ij} - a_{ij} \quad (3.19)$$

находим матрицу сожалений

$$B = \begin{pmatrix} 0,232 & 0,324 & 0,53 \\ 0,232 & 0,33 & 0,5 \\ 0,21 & 0 & 0,47 \\ 0 & 0,36 & 0 \end{pmatrix}$$

После проведенного преобразования исходных данных приступаем к расчетам:

1. Поиск эффективного решения по критерию Лапласа. При заданных равных вероятностях ожидаемые значения эффективности определяем следующим образом (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Нахождение эффективности по критерию Лапласа

Оцениваемый образец	Решение	Эффективность $(\max_i \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij})$	Ранг эффективности по критерию Лапласа
a_1	$0,25 \cdot (0,768 + 0,676 + 0,47)$	0,4785	4
a_2	$0,25 \cdot (0,768 + 0,67 + 0,5)$	0,4845	3
a_3	$0,25 \cdot (0,79 + 1 + 0,53)$	0,58	2
a_4	$0,25 \cdot (1 + 0,64 + 1)$	0,66	1

2. Поиск эффективного решения по критерию Вальда (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Нахождение эффективности по критерию Вальда

Оцениваемый образец	Заданные состояния «природы»	Эффективность $(\max_i \min_j a_{ij})$	Ранг эффективности по критерию Вальда
a_1	0,768 ; 0,676 ; 0,47	0,47	4
a_2	0,768 ; 0,67 ; 0,5	0,5	3
a_3	0,79 ; 1 ; 0,53	0,53	2
a_4	1 ; 0,64 ; 1	0,64	1

3. Поиск эффективного решения по критерию Сэвиджа (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Нахождение эффективности по критерию Сэвиджа

Оцениваемый образец	Заданные состояния «природы»	Эффективность $(\min_i \max_j b_{ij})$	Ранг эффективности по критерию Сэвиджа
b_1	0,232 ; 0,324 ; 0,53	0,53	4
b_2	0,232 ; 0,33 ; 0,5	0,5	3
b_3	0,21 ; 0 ; 0,47	0,47	2
b_4	0 ; 0,36 ; 0	0,36	1

4. Поиск эффективного решения по критерию Гурвица (таблица 3.5)

Таблица 3.5 – Нахождение эффективности по критерию Гурвица

Оцениваемый образец	min	max	$\alpha \cdot \min_j a_{ij} + (1-\alpha) \max_j a_{ij}$	$\alpha = 0$	$\alpha = 0,5$	$\alpha = 1$
a_1	0,47	0,768	$\alpha \cdot 0,47 + (1-\alpha) \cdot 0,768$	0,768	0,619	0,47
a_2	0,5	0,768	$\alpha \cdot 0,5 + (1-\alpha) \cdot 0,768$	0,768	0,634	0,5
a_3	0,53	1	$\alpha \cdot 0,53 + (1-\alpha) \cdot 1$	1	0,765	0,53
a_4	0,64	1	$\alpha \cdot 0,64 + (1-\alpha) \cdot 1$	1	0,82	0,64
		max		$a_3 ; a_4$	a_4	a_4

По критерию Гурвица при «розовом» оптимизме эффективными становятся a_4 . При пессимизме ($\alpha = 0$) – a_3 и a_4 .

Учитывая возможное разногласие среди полученных различными методами решений, в работах Терентьева А.В. [96] был предложен подход, основанный на использовании критерия Фишберна [99]. В соответствии с ним при «слабом доминировании» «распределение вероятностей P_j для рассматриваемого примера определяется как

$$P_1 = \frac{1}{2}, P_2 = \frac{1}{3}, P_3 = \frac{1}{6}$$

Для каждого из возможных вариантов» [96] математическое ожидание эффективности \bar{a}_i по условию $P_1 > P_2 > P_3$ рассчитывается следующим образом:

$$\text{для } i = 1: \quad 0,768 \cdot \frac{1}{2} + 0,676 \cdot \frac{1}{3} + 0,47 \cdot \frac{1}{6} = 0,688$$

$$\text{для } i = 2: \quad 0,768 \cdot \frac{1}{2} + 0,67 \cdot \frac{1}{3} + 0,5 \cdot \frac{1}{6} = 0,691$$

$$\text{для } i = 3: \quad 0,79 \cdot \frac{1}{2} + 1 \cdot \frac{1}{3} + 0,53 \cdot \frac{1}{6} = 0,816$$

$$\text{для } i = 4: \quad 1 \cdot \frac{1}{2} + 0,64 \cdot \frac{1}{3} + 1 \cdot \frac{1}{6} = 0,880$$

В таблице 3.6 произведен расчет по 6-ти возможным вариантам распределения вероятностей.

Таблица 3.6 – Расчет ожидаемой эффективности по критерию Фишберна

Образец, a_i	Коэффициенты вероятности			Ожидание эффективности	Ранг эффективности по критерию Фишберна
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$		
$P_1 > P_2 > P_3$					
Б 10 М	0,768	0,676	0,47	0,688	4
Б-170	0,768	0,67	0,5	0,691	3
Т-130	0,79	1	0,53	0,817	2
Т.11-Л	1	0,64	1	0,880	1
$P_1 > P_3 > P_2$					
Б 10 М	0,768	0,47	0,676	0,653	4
Б-170	0,768	0,5	0,67	0,661	3
Т-130	0,79	0,53	1	0,738	2
Т.11-Л	1	1	0,64	0,940	1
$P_2 > P_1 > P_3$					
Б 10 М	0,676	0,768	0,47	0,672	4
Б-170	0,67	0,768	0,5	0,674	3
Т-130	1	0,79	0,53	0,852	1
Т.11-Л	0,64	1	1	0,820	2
$P_2 > P_3 > P_1$					
Б 10 М	0,676	0,47	0,768	0,623	4
Б-170	0,67	0,5	0,768	0,630	3
Т-130	1	0,53	0,79	0,808	2
Т.11-Л	0,64	1	1	0,820	1
$P_3 > P_2 > P_1$					
Б 10 М	0,47	0,676	0,768	0,588	4
Б-170	0,5	0,67	0,768	0,601	3
Т-130	0,53	1	0,79	0,730	2
Т.11-Л	1	0,64	1	0,880	1
$P_3 > P_1 > P_2$					
Б 10 М	0,47	0,768	0,676	0,604	4
Б-170	0,5	0,768	0,67	0,618	3
Т-130	0,53	0,79	1	0,695	2
Т.11-Л	1	1	0,64	0,940	1

Метод «слабого доминирования» в качестве оптимального решения определяет в одном случае – третий образец (Т-130) и в 5-ти остальных – четвертый образец (Т.11-Л).



Рисунок 3.1. Ожидаемая эффективность по критерию Фишберна

В условиях неоднозначности полученных приоритетов при различном распределении соотношений P_i возникает вопрос, какой же образец выбрать? Принять верное решение в подобных примерах позволяют «методы районирования». Суть методов, предложенных Динером И.Я. и Прудовским Б.Д. [100–103], состоит в разбиении множества векторов, характеризующих состояния природы, на подмножества доминирования отдельных действий и является обратной параметрической задачей линейного программирования. Терентьев А.В. [96] предлагает производить районирование, «сохраняя заданное иерархическое соотношение возможных состояний природы», в соответствии с (3.12).

Для выбора оптимального варианта решения модифицированным методом первоначально необходимо упорядочить показатели относительной важности c_j в виде приоритетного ряда

$$c_1 \geq c_2 \geq \dots \geq c_j \geq \dots \geq c_{n-1} \geq c_n \quad (3.20)$$

Вторым шагом решается система уравнений для каждого варианта решения:

$$\left\{ \begin{array}{l} D_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} c_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n c_j = 1, 0 \leq c_j \leq 1, c_j \geq c_{j+1}, i = \overline{1, n-1} \end{array} \right. \quad (3.21)$$

Для c_j задается аналитическое решение

$$c_j = \begin{cases} \frac{1}{k}, & \text{если } j \leq k \\ 0, & \text{если } j > k, \end{cases} \quad (3.22)$$

где индекс k определяется из условия

$$a_{kj} = \max_j a_{ij} \quad (3.23)$$

Оптимальный вариант решения определяется соотношением

$$d_f = \max_{1 \leq j \leq n} d_j \quad (3.24)$$

В случае, когда « $n=3$, количество подмножеств, которому соответствует соотношение коэффициентов относительной важности показателей, равно $3!=6$. Следовательно, поле коэффициентов относительной важности преобразуется в прямоугольный треугольник с единичными катетами (рисунок 3.2).

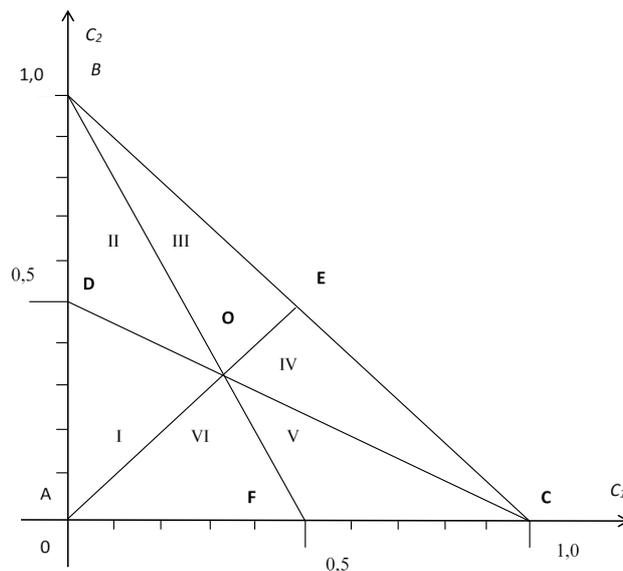


Рисунок 3.2. Поле распределения коэффициентов C_i

Значения коэффициентов c_1 и c_2 откладываются по осям абсцисс и ординат. Распределение коэффициентов в треугольнике ABC описывается системой

$$0 \leq c_i \leq 1; \quad i = 1,2,3; \quad c_1 + c_2 + c_3 = 1 \quad (3.25)$$

Точка O, как центр пересечения медиан в треугольнике, определяется при помощи критерия Лапласа и предполагает равенство состояний природы. Равенство состояний природы подтверждается свойствами медианы, по которым треугольники попарно равны между собой, и площадь каждого из них при $AC = AB = 1$ составит $1/12$. В таблице 3.7 приведены уравнения сторон и медиан треугольника ABC» [104].

Таблица 3.7 – Уравнения сторон и медиан треугольника

Отрезки треугольника	Уравнения отрезков
Сторона AB	$c_2 + c_3 = 1; c_1 = 0$
Сторона AC	$c_1 + c_3 = 1; c_2 = 0$
Сторона BC	$c_1 + c_2 = 1; c_3 = 0$
Медиана AE	$c_1 = c_2; c_1 + c_2 + c_3 = 1$
Медиана BF	$c_1 = c_3; c_1 + c_2 + c_3 = 1$
Медиана CD	$c_2 = c_3; c_1 + c_2 + c_3 = 1$

Отрезок AB описывается уравнением $c_2 + c_3 = 1$, при этом $c_1 = 0$. Аналогично описываются остальные стороны большого треугольника. Медиане AE соответствует уравнение $c_1 = c_2$, при этом $c_1 + c_2 + c_3 = 1$. Остальные медианы описываются аналогично.

В таблице 3.8 каждому из шести подмножеств поставлено в соответствие свое распределение коэффициентов относительной важности показателей.

Таблица 3.8 – Геометрическое поле распределения коэффициентов относительной важности

Подмножество	Треугольник	Соотношение коэффициентов
I	AOD	$c_1 < c_2 < c_3$
II	DOB	$c_1 < c_3 < c_2$
III	BOE	$c_3 < c_1 < c_2$
IV	EOC	$c_3 < c_2 < c_1$
V	COF	$c_2 < c_3 < c_1$
VI	FOA	$c_2 < c_1 < c_3$

Из таблицы 3.8 видно, что каждому из шести возможных подмножеств поставлено в соответствие свое распределение коэффициентов важности. Например, все возможные решения системы уравнений и неравенств

$$0 \leq c_j \leq 1; j = 1, 2, 3; c_1 + c_2 + c_3 = 1; c_3 \leq c_2 \leq c_1$$

находятся в подмножестве IV, т.е. в площади треугольника EOC. Точка O имеет координаты $c_1 = c_2 = c_3 = 1/3$.

Решим пример для подмножества IV, где $c_1 > c_2 > c_3$.

Для $i = 1$: $k = 1; P_1 = 0; P_2 = 0,5; P_3 = 0$

$$D_1 = 0,768 \cdot 1 = 0,768$$

Для $i = 2$: $k = 1; P_1 = 1; P_2 = 0; P_3 = 0$

$$D_2 = 0,768 \cdot 1 = 0,768$$

Для $i = 3$: $k = 2; P_1 = 0,5; P_2 = 0,5; P_3 = 0$

$$D_3 = 0,79 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,5 = 0,895$$

Для $i = 4$: $k = 1; P_1 = 1; P_2 = 0; P_3 = 0$

$$D_4 = 1 \cdot 1 = 1 - \text{оптимальный вариант решения [104].}$$

В таблице 3.9 представлены результаты расчета возможных вариантов эффективности при различных соотношения коэффициентов c_j .

Таблица 3.9 – Результаты расчета ожидаемой эффективности методом районирования

Подмножество (зона)	Распределение коэффициентов	Результаты расчета	
		Эффективность	Ранг эффективности по методу районирования
I	$c_3 > c_2 > c_1$		
	для $i = 1$: $k = 3; P_1 = 0,33; P_2 = 0,33; P_3 = 0,33$	0,632	4
	для $i = 2$: $k = 3; P_1 = 0,33; P_2 = 0,33; P_3 = 0,33$	0,639	3

Подмножество (зона)	Распределение коэффициентов	Результаты расчета	
		Эффективность	Ранг эффективности по методу районирования
I	для $i = 3$: $k = 2; P_1 = 0,5; P_2 = 0,5; P_3 = 0$	0,765	2
	для $i = 4$: $k = 1; P_1 = 1; P_2 = 0; P_3 = 0$	1	1
II	$c_2 > c_3 > c_1$		
	для $i = 1$: $k = 3; P_1 = 0,33; P_2 = 0,33; P_3 = 0,33$	0,632	4
	для $i = 2$: $k = 3; P_1 = 0,33; P_2 = 0,33; P_3 = 0,33$	0,639	3
	для $i = 3$: $k = 1; P_1 = 1; P_2 = 0; P_3 = 0$	1	1
	для $i = 4$: $k = 2; P_1 = 0,5; P_2 = 0,5; P_3 = 0$	0,82	2
III	$c_2 > c_1 > c_3$		
	для $i = 1$: $k = 2; P_1 = 0,5; P_2 = 0,5; P_3 = 0$	0,722	3
	для $i = 2$: $k = 2; P_1 = 0,5; P_2 = 0,5; P_3 = 0$	0,719	4
	для $i = 3$: $k = 1; P_1 = 1; P_2 = 0; P_3 = 0$	1	1
	для $i = 4$: $k = 2; P_1 = 0,5; P_2 = 0,5; P_3 = 0$	0,82	2
IV	$c_1 > c_2 > c_3$		
	для $i = 1$: $k = 1; P_1 = 1; P_2 = 0; P_3 = 0$	0,768	4
	для $i = 2$: $k = 1; P_1 = 1; P_2 = 0; P_3 = 0$	0,768	3
	для $i = 3$: $k = 2; P_1 = 0,5; P_2 = 0,5; P_3 = 0$	0,854	2
	для $i = 4$: $k = 1; P_1 = 1; P_2 = 0; P_3 = 0$	1	1
V	$c_1 > c_3 > c_2$		
	для $i = 1$: $k = 1; P_1 = 1; P_2 = 0; P_3 = 0$	0,768	2
	для $i = 2$: $k = 1; P_1 = 1; P_2 = 0; P_3 = 0$	0,768	3

Подмножество (зона)	Распределение коэффициентов	Результаты расчета	
		Эффективность	Ранг эффективности по методу районирования
V	для $i = 3$: $k = 3; P_1 = 0,33; P_2 = 0,33; P_3 = 0,33$	0,63	4
	для $i = 4$: $k = 1; P_1 = 1; P_2 = 0; P_3 = 0$	1	1
VI	$c_3 > c_1 > c_2$		
	для $i = 1$: $k = 2; P_1 = 0,5; P_2 = 0,5; P_3 = 0$	0,619	4
	для $i = 2$: $k = 2; P_1 = 0,5; P_2 = 0,5; P_3 = 0$	0,634	2
	для $i = 3$: $k = 3; P_1 = 0,33; P_2 = 0,33; P_3 = 0,33$	0,632	3
	для $i = 4$: $k = 1; P_1 = 1; P_2 = 0; P_3 = 0$	1	1

В соответствии с полученным результатом в зонах II и III приоритетом в эффективности обладает образец 3 – бульдозер Т-130, во всех остальных зонах – образец 4 (Т.11-Л). Предпочтение в выборе образца отдается Т.11-Л. Более удобным для анализа представляется графическое отображение результатов расчета (рисунок 3.3) [105].

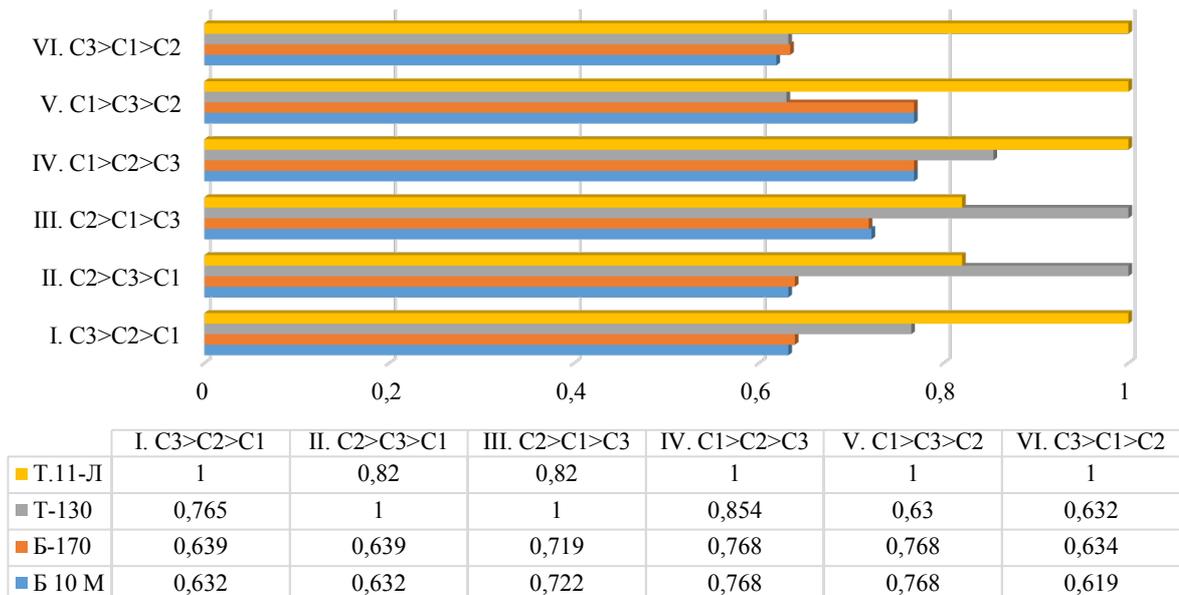


Рисунок 3.3. Расчет эффективности методом районирования

Сечения поверхности отклика по всем 24-м вариантам расчета, представленные в виде графика на рисунке 3.4, дают визуальное представление об изменении приоритетов образцов машин в зависимости от соотношения приоритетов их эксплуатационных свойств.

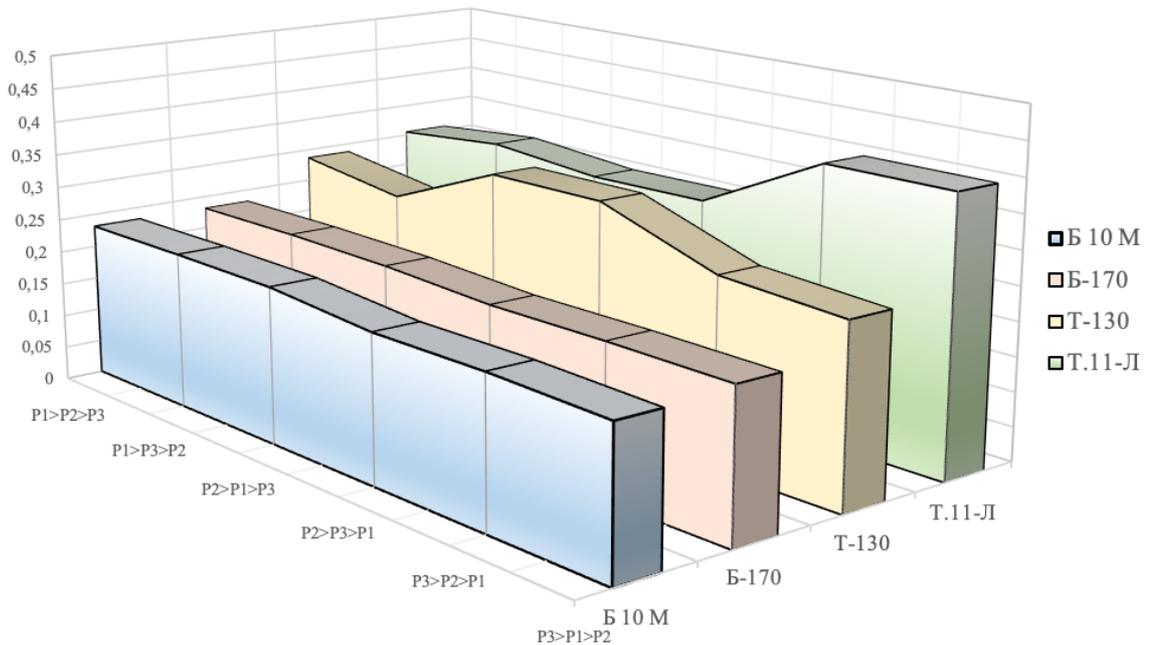


Рисунок 3.4. Сечения поверхности отклика в зависимости от соотношения приоритетов эксплуатационных свойств бульдозеров

На основе изложенной методики разработан математический аппарат, позволяющий проводить сравнительную объективную оценку образцов дорожно-строительных машин при разной последовательности приоритетов значимости их эксплуатационных свойств, выбранных для сравнения, при различном целеполагании \min/\max и при автоматическом переборе коэффициентов весомости. В ходе его разработки было выявлено несовершенство существующих программ реализации такой методики на ЭВМ, так как известные их варианты [96, 106] способны проанализировать не больше 5! вариантов приоритетов (показателей состояния «природы»), т.е. реализовать не более 120 вариантов решений. В соответствии с обоснованным в работе перечнем из 9-ти показателей программа должна анализировать 9! вариантов приоритетов, т.е. реализовывать 362880 вариантов решений. Это потребовало усовершенствования программы для

реализации заявленной потребности решений, что было выполнено в рамках данного исследования [107].

3.2 Многокритериальная оптимизационная математическая модель оценки технического уровня дорожно-строительных машин

Оценка эффективности любой строительной техники по своей природе является многокритериальной задачей. Для её решения необходим специализированный аналитический аппарат.

В рамках диссертационного исследования была разработана новая модель, способная производить расчет многокритериальных задач с достаточно большим количеством показателей – до 9 критериев, обоснованных для землеройно-транспортных машин в ходе экспертных исследований.

Метод доминирования критериев является развитием методов районирования [108-110], где распределение коэффициентов относительной важности критериев эффективности для исследуемого случая подчиняется ограничению:

$$0 \leq p_j \leq 1; j = \overline{1,9} \quad (3.26)$$

$$\sum_{j=1}^9 p_j = 1$$

Следовательно, определяется как $(n - 1)$ независимых вероятностных величин. При этом коэффициенты должны располагаться в такой последовательности, чтобы выполнялось условие:

$$p_1 \geq p_2 \geq p_3 \geq \dots p_j \dots \geq p_{9-1} \geq p_9 \quad (3.27)$$

Количество возможных случаев в системе (3.26–3.27) равно $n!$.

Сформируем алгоритм получения оптимального значения D_{pi} по каждому варианту решения:

– значения p_j упорядочиваются в виде последовательности (3.4);

– значения q_{ij} приводятся к безразмерному виду $q_{ij_{\text{нп}}}$ с учетом целеполагания по правилу п.3 таблицы 2.12 с последующим их нормированием

$$q_{ij_{\text{н}}} = \frac{q_{ij_{\text{нп}}}}{\sum_1^m q_{ij_{\text{нп}}}} \quad (3.28)$$

– для каждого из сравниваемых вариантов i решается задача векторной оптимизации (3.6):

$$\left\{ \begin{array}{l} D_i = \sum_{j=1}^9 q_{ij_{\text{н}}} p_j \rightarrow \max \\ \sum_{j=1}^9 p_j = 1, 0 \leq p_j \leq 1, p_j \geq p_9, j = \overline{1, 9} \end{array} \right. \quad (3.29)$$

Значение p_j аналитически определяется как:

$$p_j = \begin{cases} \frac{1}{k}, & \text{если } j \leq k \\ 0, & \text{если } j > k, \end{cases} \quad (3.30)$$

где величина индекса k определяется по условию

$$k = \max_j q_{ij} \quad (3.31)$$

Таким образом, по зависимостям (3.30) и (3.31) p_j принимает значения, приведенные в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Значения коэффициентов p_j

$\max_j p_{ij}$	Значение коэффициентов относительной важности p_j								
	$\max_j p_{i1}$	$\max_j p_{i2}$	$\max_j p_{i3}$	$\max_j p_{i4}$	$\max_j p_{i5}$	$\max_j p_{i6}$	$\max_j p_{i7}$	$\max_j p_{i8}$	$\max_j p_{i9}$
$p_{k1} = \max_j p_{i1}$	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$p_{k2} = \max_j p_{i2}$	0,50	0,50	0	0	0	0	0	0	0
$p_{k3} = \max_j p_{i3}$	0,33	0,33	0,33	0	0	0	0	0	0
$p_{k4} = \max_j p_{i4}$	0,25	0,25	0,25	0,25	0	0	0	0	0
$p_{k5} = \max_j p_{i5}$	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0	0	0	0
$p_{k6} = \max_j p_{i6}$	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0	0	0

$\max_j p_{ij}$	Значение коэффициентов относительной важности p_j								
	$\max_j p_{i1}$	$\max_j p_{i2}$	$\max_j p_{i3}$	$\max_j p_{i4}$	$\max_j p_{i5}$	$\max_j p_{i6}$	$\max_j p_{i7}$	$\max_j p_{i8}$	$\max_j p_{i9}$
$p_{k7} = \max_j p_{i7}$	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0	0
$p_{k8} = \max_j p_{i8}$	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0
$p_{k9} = \max_j p_{i9}$	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11

Сформируем матрицу эффективностей объектов оценки при различных моделях сравниваемых машин

$$D_i = \begin{pmatrix} p_{11} \cdot q_{11n} & p_{12} \cdot q_{12n} & \cdots & p_{1j} \cdot q_{1jn} & \cdots & p_{1n} \cdot q_{1nn} \\ p_{21} \cdot q_{21n} & p_{22} \cdot q_{22n} & \cdots & p_{2j} \cdot q_{2jn} & \cdots & p_{2n} \cdot q_{2nn} \\ \vdots & & & & & \\ p_{m1} \cdot q_{m1n} & p_{m2} \cdot q_{m2n} & \cdots & p_{ij} \cdot q_{ijn} & \cdots & p_{mn} \cdot q_{mnn} \end{pmatrix} \quad (3.32)$$

где m – число сравниваемых машин;

n – число учитываемых показателей;

p_{ij} – эффективность j -го показателя i -го образца для $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$.

В нашем случае, при 9-ти рассматриваемых технических характеристиках $n = 9$ общая совокупность распределений вероятностей, с соответствующими им коэффициентами относительной важности (КОВ) показателей, равно $9! = 362880$. В таблице 3.11 представлены некоторые подмножества с соответствующим распределением вероятностей. Каждому из 362880 возможных вариантов поставлено в соответствие свое распределение КОВ.

Таблица 3.11 – Распределение возможных вероятностей состояний соотношения подсистем

№ подмножества	Соотношение вероятностей состояний «природы» (важности параметров)
1	$P_1 > P_2 > P_3 > P_4 > P_5 > P_6 > P_7 > P_8 > P_9$
2	$P_1 > P_2 > P_3 > P_4 > P_5 > P_6 > P_7 > P_9 > P_8$
3	$P_1 > P_2 > P_3 > P_4 > P_5 > P_6 > P_8 > P_7 > P_9$

№ подмножества	Соотношение вероятностей состояний «природы» (важности параметров)
.....
1673	$P_1 > P_2 > P_5 > P_3 > P_9 > P_8 > P_4 > P_6 > P_7$
.....
40320	$P_1 > P_9 > P_2 > P_3 > P_4 > P_5 > P_6 > P_7 > P_8$
40321	$P_2 > P_1 > P_3 > P_4 > P_5 > P_6 > P_7 > P_8 > P_9$
20322	$P_2 > P_1 > P_3 > P_4 > P_5 > P_6 > P_7 > P_9 > P_8$
...	...
362880	$P_9 > P_1 > P_2 > P_3 > P_4 > P_5 > P_6 > P_7 > P_8$

Использование программы [107] исключает субъективизм в оценке технического уровня. В результате ее работы получаем количественное значение показателя эффективности, принадлежащее каждому оцениваемому образцу.

Для практического использования предложенного метода сравнительной оценки технического уровня дорожно-строительных машин, блок-схема реализации которого представлена на рисунке 3.5, разработана специализированная компьютерная программа. Было выявлено, что применение многокритериальной аналитической модели на практике сопряжено с рядом особенностей вычислительного характера. А именно – увеличение количества исследуемых критериев требует применения специальных алгоритмов. Например, для задачи от 1 до 5 критериев – один вид вычислительного алгоритма, а для 9-ти критериев требуется изменить структуру вычислений для экономии ресурсов ЭВМ. Ниже приведен порядок расчета по доработанной автором программе «Методика сравнительной оценки технического уровня дорожно-строительных машин» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022662783, дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 07.07.2022).

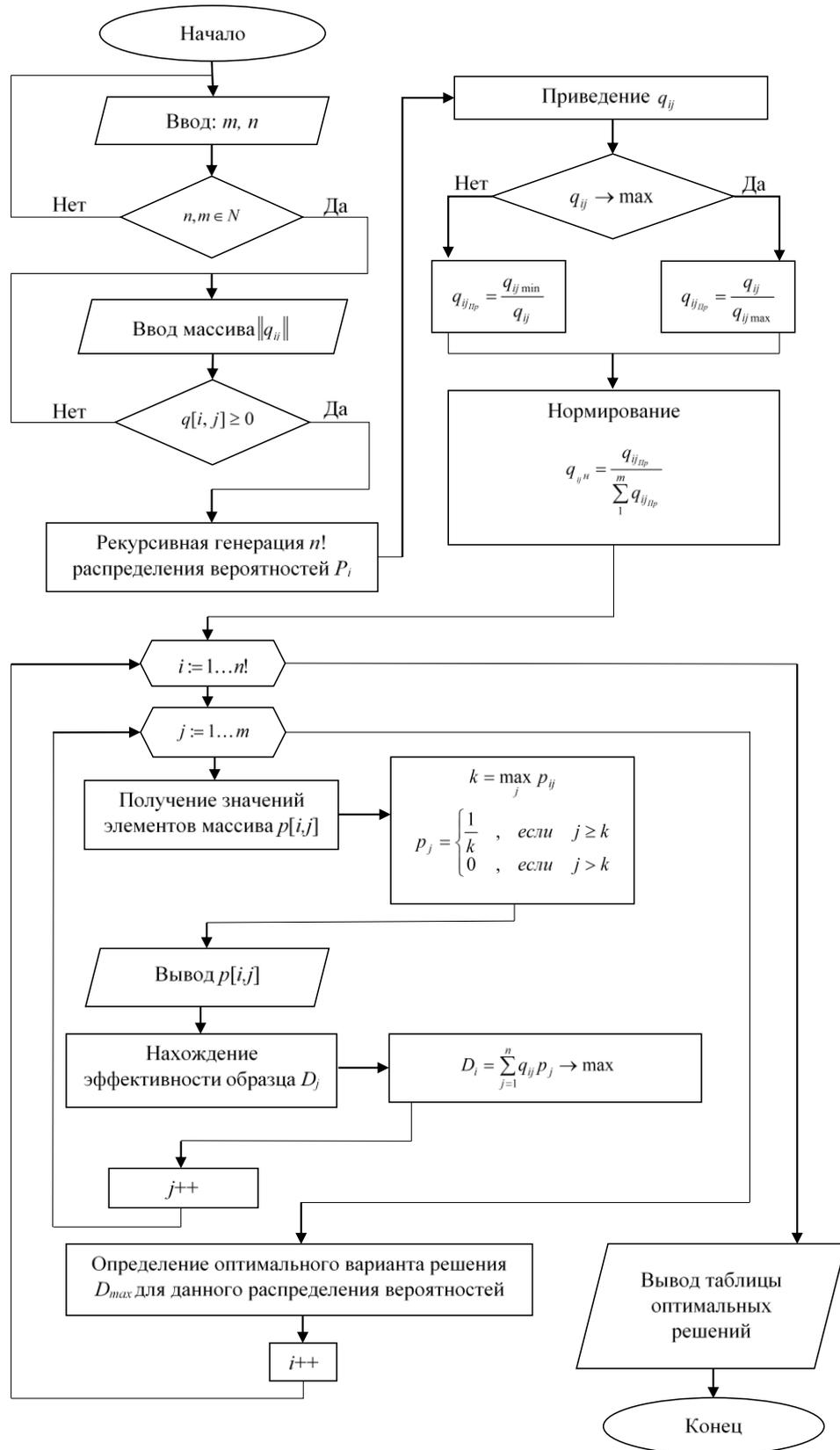


Рисунок 3.5. Алгоритм реализации метода многокритериальной оптимизации выбора машин при их сравнительной оценке

3.3 Алгоритм решения задачи сравнительной оценки технического уровня дорожно-строительных машин с применением программы для ЭВМ

Характеристика программы:

Тип ЭВМ: IBM PC – совместимый ПК

Язык программирования: С#

ОС: Windows XP/ Vista /7/8/10

Объём программы: 18,24 Кб

1) Запускаем программу, рисунок 3.6.

The screenshot shows a window titled 'Form1' with a light blue background. At the top, there are two input fields: 'ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО КРИТЕРИЕВ (N)' and 'ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО РЕШЕНИЙ (M)'. To the right of these fields is a large button labeled 'ВВОД'. Below the input fields is a large, empty rectangular area. At the bottom of the window, there are two buttons: 'НОРМАЛИЗОВАТЬ' on the left and 'РАССЧИТАТЬ' on the right.

Рисунок 3.6. Запуск программы

2) Задаем количество критериев (N) и вариантов решений (M), рисунок 3.7.

The screenshot shows the same window 'Form1' as in Figure 3.6, but with the input fields filled. The first field contains the number '9' and the second field contains the number '8'. The 'ВВОД' button is still present. Below the input fields, a table is visible with columns labeled K1 through K9. The table has a light blue header row and a light blue body row. The columns are labeled K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8, and K9. The last cell in the body row is shaded blue.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9

Рисунок 3.7. Ввод количества критериев оценки и вариантов решений

3) Вводим показатели технических характеристик, задаем целеполагание min/max, рисунок 3.8.

Form1

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО КРИТЕРИЕВ (N)

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО РЕШЕНИЙ (M)

ВВОД

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
D1	18.5	6.1	11,14	1.235	10	11	22,4	10,5	2
D2	18,7								
D3	19,5								
D4	20								
D5	19,5								
D6	18,44								
D7	19,15								
D8	20								
min-max	max	min	max	max	max	max	max	min	max

НОРМАЛИЗОВАТЬ

РАССЧИТАТЬ

Form1

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО КРИТЕРИЕВ (N)

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО РЕШЕНИЙ (M)

ВВОД

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
D1	18.5	6.1	11,14	1.235	10	11	22,4	10,5	2
D2	18,7	7,5	15,15	0,962	16	12	22,4	13	3
D3	19,5	8	15,08	0,972	16	12	25,2	13	3
D4	20	7,5	14,7	0,778	16	16	25,2	12,5	3
D5	19,5	7,5	16,84	1,2	16	20	23,8	13	2
D6	18,44	7,2	13,57	1,061	14	18,7	25,2	9,3	2
D7	19,15	7	14,4	1,053	14	16	22,4	9	2
D8	20	8	13,25	1,143	16	16	25,2	12	3
min-max	max	min	max	max	max	max	max	min	max

НОРМАЛИЗОВАТЬ

РАССЧИТАТЬ

Рисунок 3.8. Ввод исходных данных и задание целеполагания

4) Нажимаем на кнопку «Нормализовать» значения и «Рассчитать», рисунок 3.9.

Form1

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО КРИТЕРИЕВ (N)

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО РЕШЕНИЙ (M)

ВВОД

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
▶ D1	0,120	0,150	0,098	0,147	0,085	0,090	0,117	0,134	0,100
D2	0,122	0,122	0,133	0,114	0,136	0,099	0,117	0,109	0,150
D3	0,127	0,114	0,132	0,116	0,136	0,099	0,131	0,109	0,150
D4	0,130	0,122	0,129	0,093	0,136	0,131	0,131	0,113	0,150
D5	0,127	0,122	0,148	0,143	0,136	0,164	0,124	0,109	0,100
D6	0,120	0,127	0,119	0,126	0,119	0,154	0,131	0,152	0,100
D7	0,125	0,130	0,126	0,125	0,119	0,131	0,117	0,157	0,100
D8	0,130	0,114	0,116	0,136	0,136	0,131	0,131	0,118	0,150
min-max	max	min	max	max	max	max	max	min	max

НОРМАЛИЗОВАТЬ

РАССЧИТАТЬ

Рисунок 3.9. Нормализация исходных значений

5) Результаты расчета выводятся в блокнот отдельным файлом, рисунок 3.10.

↓ | 📄 | 📁 | Загрузки

Файл Главная Поделиться Вид

← → ↕ ↑ ↓ > Этот компьютер > Загрузки

Имя	Дата изменения	Тип	Размер
1. Ranking	24.03.2022 15:03	Приложение	19 КБ
Ranking	24.03.2022 16:01	Текстовый докум...	46 670 КБ

Ranking — Блокнот
Файл Правка Формат Вид Справка

Наилучшие решения при следующих распределениях вероятностей:

1) P1>P2>P3>P4>P5>P6>P7>P8>P9	D1=0,1350; D2=0,1224; D3=0,1238; D4=0,1261; D5=0,1400; D6=0,1275; D7=0,1288; D8=0,1291;	5
2) P1>P2>P3>P4>P5>P6>P7>P9>P8	D1=0,1350; D2=0,1241; D3=0,1256; D4=0,1278; D5=0,1400; D6=0,1275; D7=0,1256; D8=0,1305;	5
3) P1>P2>P3>P4>P5>P6>P8>P7>P9	D1=0,1350; D2=0,1224; D3=0,1238; D4=0,1261; D5=0,1400; D6=0,1275; D7=0,1304; D8=0,1291;	5
4) P1>P2>P3>P4>P5>P6>P8>P9>P7	D1=0,1350; D2=0,1231; D3=0,1229; D4=0,1255; D5=0,1400; D6=0,1275; D7=0,1304; D8=0,1289;	5
5) P1>P2>P3>P4>P5>P6>P9>P8>P7	D1=0,1350; D2=0,1251; D3=0,1249; D4=0,1273; D5=0,1400; D6=0,1275; D7=0,1266; D8=0,1304;	5
6) P1>P2>P3>P4>P5>P6>P9>P7>P8	D1=0,1350; D2=0,1251; D3=0,1249; D4=0,1273; D5=0,1400; D6=0,1275; D7=0,1256; D8=0,1304;	5
7) P1>P2>P3>P4>P5>P7>P6>P8>P9	D1=0,1350; D2=0,1224; D3=0,1238; D4=0,1261; D5=0,1377; D6=0,1280; D7=0,1288; D8=0,1291;	5
8) P1>P2>P3>P4>P5>P7>P6>P9>P8	D1=0,1350; D2=0,1241; D3=0,1256; D4=0,1278; D5=0,1377; D6=0,1280; D7=0,1256; D8=0,1305;	5
9) P1>P2>P3>P4>P5>P7>P8>P6>P9	D1=0,1350; D2=0,1224; D3=0,1238; D4=0,1261; D5=0,1341; D6=0,1310; D7=0,1284; D8=0,1291;	1
10) P1>P2>P3>P4>P5>P7>P8>P9>P6	D1=0,1350; D2=0,1254; D3=0,1269; D4=0,1255; D5=0,1303; D6=0,1276; D7=0,1284; D8=0,1289;	1
11) P1>P2>P3>P4>P5>P7>P9>P8>P6	D1=0,1350; D2=0,1277; D3=0,1294; D4=0,1273; D5=0,1303; D6=0,1276; D7=0,1249; D8=0,1304;	1
12) P1>P2>P3>P4>P5>P7>P9>P6>P8	D1=0,1350; D2=0,1277; D3=0,1294; D4=0,1273; D5=0,1330; D6=0,1245; D7=0,1256; D8=0,1304;	1
13) P1>P2>P3>P4>P5>P8>P7>P6>P9	D1=0,1350; D2=0,1224; D3=0,1238; D4=0,1261; D5=0,1341; D6=0,1310; D7=0,1303; D8=0,1291;	1
14) P1>P2>P3>P4>P5>P8>P7>P9>P6	D1=0,1350; D2=0,1254; D3=0,1269; D4=0,1255; D5=0,1303; D6=0,1276; D7=0,1303; D8=0,1289;	1
15) P1>P2>P3>P4>P5>P8>P6>P7>P9	D1=0,1350; D2=0,1224; D3=0,1238; D4=0,1261; D5=0,1356; D6=0,1310; D7=0,1303; D8=0,1291;	5
16) P1>P2>P3>P4>P5>P8>P6>P9>P7	D1=0,1350; D2=0,1231; D3=0,1229; D4=0,1255; D5=0,1356; D6=0,1310; D7=0,1303; D8=0,1289;	5

Рисунок 3.10. Вывод результатов расчетов в блокнот

б) Так как количество возможных случаев по системе равно $n!$, то при расчете 8 образцов по 9 критериям получаем количество вариантов равно $9!=362880$ вариантам решения.

Отдельно показано количество областей D_n , принадлежащих эффективным решениям, рисунок 3.11. Показатель ТУ образца определяется количеством принадлежащих ему эффективных решений. В нашем случае лучший образец – $D5=125744$.

362880)	P9>P1>P2>P3>P4>P5>P6>P7>P8	D1=0,1233;	D2=0,1500;	D3=0,1500;	D4=0,1500;	D5=0,1343;	D6=0,1236;	D7=0,1256;	D8=0,1500
Количество областей, принадлежащих решениям:									
D1=53604	D2=53818	D3=12012	D4=13749	D5=125744	D6=10470	D7=73079	D8=20404		

Рисунок 3.11. Вывод количества областей эффективных решений

Выводы по третьей главе

1. Проведено обоснование выбора метода многокритериальной оптимизации для сравнительной оценки технического уровня изделий машиностроения. Установлено, что поиски оптимальных решений выбора с использованием критериев Лапласа, Вальда, Сэвиджа, Гурвица и Фишберна не всегда дают идентичные результаты. В такой ситуации предложено использовать метод районирования Динера – Прудовского.

2. На его основе разработан математический аппарат, позволяющий проводить оценки образцов дорожно-строительных машин (на примере землеройно-транспортных) при разной последовательности приоритетов весомости эксплуатационных свойств, выбранных для проведения сравнения.

3. Для реализации большого количества процедур в рамках предложенного метода разработано специализированное программное обеспечение «Методика сравнительной оценки технического уровня дорожно-строительных машин» (№ 2022662783, дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 07.07.2022). В соответствии с обоснованным в работе перечнем из 9-ти показателей эксплуатационных свойств программа позволяет анализировать $9!$ вариантов приоритетов, т.е. реализовывать 362880 вариантов решений.

ГЛАВА 4. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ ТРАДИЦИОННЫХ И РАЗРАБОТАННОГО МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Сравнение информативности методов проводилось в отношении ряда землеройно-транспортных машин – экскаваторов, бульдозеров, скреперов и строительных автосамосвалов. Из числа традиционных был использован метод кластерного ранжирования, отмеченный по результатам исследования, изложенным во второй главе, как наиболее предпочтительный. Перечень использованных при этом значимых показателей был обоснован в ходе экспертных исследований, результаты которых представлены во 2-й главе диссертации, а распределение показателей по кластерам и обоснование коэффициентов их весомости было выполнено в ходе отдельных экспертных исследований [17, 59, 91, 111, 112, 113, 114, 115]. Результаты выполненных оценок представлены ниже.

4.1 Оценка технического уровня землеройно-транспортных машин методом кластерного ранжирования

4.1.1 Оценка технического уровня экскаваторов

«Основные показатели эксплуатационных свойств, влияющие на эффективность применения экскаваторов, предлагается использовать в соответствии с экспертно обоснованным перечнем» [85] (см. главу 2), представленным в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Значимые показатели эксплуатационных свойств, влияющие на эффективность применения экскаваторов

1. Вместимость ковша, м ³	6. Среднее давление на грунт, МПа
2. Глубина копания, м	7. Удельная мощность, кВт/т
3. Высота подъёма, м	8. Преодолеваемый уклон i , % /100
4. Продолжительность рабочего цикла, мин	9. Скорость машины, м/с
5. Радиус рабочей зоны, м	

Выбранные единичные показатели со значениями q_i целесообразно разбить на две группы: показатели функциональности и показатели подвижности [85].

Показатели функциональности определяют способность экскаватора выполнять функции по прямому назначению – разработка грунтов с погрузкой на транспортирующие машины. Совокупная оценка этих показателей характеризуется обобщённым показателем Q_j при $j = 1$.

Показатели подвижности характеризуют возможность экскаватора маневрировать в карьерах, забоях и в местах разгрузки на ограниченных пространствах, передвигаться по грунтам с низкой несущей способностью, преодолевать подъёмы, предельные по тяговым возможностям ходового оборудования машины при выезде из карьеров. Совокупная оценка этих показателей характеризуется обобщённым показателем Q_j при $j = 2$.

Предлагаемое распределение показателей q_{ji} по группам и их коэффициенты весомости P_{eij} в группах, определённые в ходе экспертной оценки [85], представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Распределение показателей эксплуатационных свойств экскаватора по группам (кластерам)

Показатели функциональности: Q_1 ($P_{k1} = 0,7$)		Показатели подвижности Q_2 ($P_{k2} = 0,3$)	
Наименование	Коэф. весом. P_{ei1}	Наименование	Коэф. весом. P_{ei2}
Вместимость ковша, м ³	0,3	Удельная мощность, кВт/т	0,35
Глубина копания, м	0,1	Скорость машины, м/с	0,2
Высота подъёма, м	0,15	Среднее давление на грунт, МПа	0,3
Продолжительность рабочего цикла, мин	0,25	Преодолеваемый уклон i , % /100	0,15
Радиус рабочей зоны, м	0,2		

В системе обобщённых показателей Q_j коэффициенты их весомости P_{kj} «предлагается ранжировать следующим образом» [85]:

– показатели функциональности Q_1 : $P_{k1} = 0,7$;

– показатели подвижности Q_2 : $P_{k2} = 0,3$.

Сравнение проводилось на примере отечественных и зарубежных экскаваторов 3-й размерной группы. Модельный ряд сравниваемых экскаваторов и их технические характеристики представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Таблица исходных данных для расчета обобщённых и комплексных показателей технического уровня экскаваторов

Коэффициенты весомости комплексных показателей	Коэффициенты весомости единичных показателей в группах	Показатели	Гидравлический привод					Механический привод	
			Komatsu PC130-8	Cat 318D2L	JCB JS 160W	ЭО-3322А	Hyundai R140LC-9S	ЭО-3311Г	ЭО-3211Е
Показатели функциональности									
0,7	0,3	1. Вместимость ковша, м ³	0,5	0,5	0,4	0,5	0,58	0,4	0,4
	0,1	2. Глубина копания, м	5,52	5,87	5,6	6,5	5,5	4,4	4,1
	0,15	3. Высота подъема, м	8,65	8,6	7,1	6	8,5	3	2,8
	0,25	4. Продолжительность цикла,*) мин	0,25	0,23	0,19	0,33	0,18	0,35	0,33
	0,2	5. Радиус рабочей зоны, м	8,29	8,1	6,9	6,56	8,2	4,15	4
Показатели подвижности									
0,3	0,35	1. Удельная мощность кВт/т	73,26	82	81,3	32,1	78	27	23
	0,2	2. Скорость машины, м/с	1,52	1,33	1,9	2,2	1,5	1,2	1,3
	0,3	3. Среднее давление на грунт,*) МПа	3,3	2,3	3,3	4,2	3,6	3	2,8
	0,15	4. Преодолеваемый продольный уклон, % /100	0,42	0,57	0,57	0,5	0,57	0,37	0,37

*) Параметры: продолжительность цикла и среднее давление на грунт, с ростом которых ухудшается Пту, в расчетах принимается величиной, обратной значению показателя, т.е. $1/q$

Результаты расчётов представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты расчёта комплексных и обобщённых показателей технического уровня ($P_{\text{ту}}$) экскаваторов

	Komatsu PC130-8	Cat 318D2L	JCB JS 160W	ЭО-3322А	Hyundai R140LC-9S	ЭО-3311Г	ЭО-3211Е
Функциональность	4,658	4,734	4,441	3,770	5,028	2,554	2,508
Подвижность	26,10	29,18	29,01	11,82	27,77	9,85	8,47
$P_{\text{ту}}$	11,09	12,07	11,81	6,19	11,85	4,74	4,30
РАНГ	4	1	3	5	2	6	7
Отставание от лидера, %	8,1	0,00	2,1	48,8	1,8	60,7	64,4

Анализ данных расчётов показывает, что $P_{\text{ту}}$ лидирующих машин Cat 318D2L, Hyundai R140LC-9S и JCB JS 160W отличаются друг от друга крайне незначительно (на 1,8 ... 2,1 %), что при выборе экскаватора из рассмотренной размерной группы затрудняет обосновать явно выраженный приоритет. Наиболее отстающие модели в группе ЭО-3311Г и ЭО-3211Е имеют показатели $P_{\text{ту}}$ на 60,7...64,4 % ниже, чем у лидирующей машины, что дает основание к их безусловной отбраковке при выборе.

4.1.2 Оценка технического уровня бульдозеров

Значимые показатели эксплуатационных свойств, влияющие на эффективность применения бульдозеров, предлагается использовать в соответствии с перечнем [85] (см. главу 2), представленным в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Значимые показатели эксплуатационных свойств, влияющие на эффективность применения бульдозера

1. Максимальная скорость вперед, км/ч	6. Удельное давление на грунт, МПа
2. Максимальная скорость назад, км/ч	7. Удельная мощность двигателя, кВт
3. Ширина отвала, м	8. Расход топлива, л/час
4. Максимальное расстояние перемещения породы, м	9. Емкость топливных баков, л
5. Габаритная ширина машины, м	

Выбранные единичные показатели со значениями q_i целесообразно разбить на три группы:

- показатели функциональности;
- показатели маневровой подвижности;
- показатели маршевой подвижности.

Показатели функциональности – характеризуют приспособленность машины к выполнению функций по прямому предназначению – перемещению грунта при формировании дорожной насыпи. *Показатели маневровой подвижности* определяют возможность машины перемещаться по грунтовому основанию и маневрировать на ограниченных пространствах участка линейного строительства, преодолевать предельные по тяговым возможностям машины подъёмы, например, при выезде на дорожную насыпь, а также возможность ее транспортирования тяжеловозными автопоездами по дорогам общего пользования. *Показатели маршевой подвижности* определяют возможный суммарно проходимый машиной при производстве работ путь без ее дозаправки.

Предлагаемое распределение показателей q_{ij} по группам и их коэффициенты весомости m_{ji} в группах, а также коэффициенты весомости обобщенных показателей P_j , определённые в ходе экспертной оценки, представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Распределение показателей эксплуатационных свойств бульдозера по группам (кластерам)

Показатели функциональности, Q_1 ($P_1=0,5$)		Показатели маневровой подвижности, Q_2 ($P_2=0,35$)		Показатели маршевой подвижности, Q_3 ($P_3=0,15$)	
Показатели q_{1j}	m_{1i}	Показатели q_{2j}	m_{2i}	Показатели q_{3j}	m_{3i}
1. Максимальная скорость вперед, км/ч	0,25	1. Габаритная ширина машины, м	0,2	1. Расход топлива, л/час	0,7
2. Максимальная скорость назад, км/ч	0,15	2. Удельное давление на грунт, МПа	0,35	2. Емкость топливных баков, л	0,3
3. Ширина отвала, м	0,3	3. Удельная мощность двигателя, кВт/т	0,45		
4. Максимальное расстояние перемещения породы, м	0,3				
Итого	1,0		1,0		1,0

Сравнение проводилось на примере отечественных бульдозеров 10-го тягового класса. Модельный ряд сравниваемых бульдозеров и их технические характеристики представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Таблица исходных данных для расчета обобщённых и комплексных показателей технического уровня бульдозеров

Коэффициенты весомости комплексных показателей	Коэффициенты весомости единичных показателей в группах	Показатели	Б 10 М	Б-170	Т-130	Т.11-Л	ДЗ-240 С	ДЗ-110	ДЗ-170	Б10	Б10МБ	Б10М.0101-Е
Показатели функциональности												
0,5	0,25	1. Максимальная скорость вперед, км/ч	8,7	8,7	10,65	11	8	12,2	12,05	10,4	10,09	10,1
	0,15	2. Максимальная скорость назад, км/ч	10,2	10,2	8,63	14,4	12,2	12,05	12,25	10,2	12,51	12,5
	0,3	3. Ширина отвала, м	3,31	3,31	3,42	4,31	3,22	3,22	3,22	3,31	4,28	3,31
	0,3	4. Максимальное расстояние перемещения породы, км	0,14	0,15	0,16	0,3	0,1	0,12	0,125	0,1	0,3	0,14
Показатели маневровой подвижности												
0,35	0,2	1. Габаритная ширина машины, м ^{*)}	2,48	2,48	2,48	4,31	3,22	3,05	2,48	2,48	3,23	2,48
	0,35	2. Удельное давление на грунт, кгс/см ²	0,74	0,75	0,5	0,78	1,29	0,5	0,76	0,76	0,31	0,54
	0,45	3. Удельная мощность двигателя, кВт/т	9,38	6,39	8,65	6,09	9,43	6,74	7,31	6,88	7,33	7,16
Показатели маршевой подвижности												
0,15	0,7	1. Расход топлива ^{*)} , дал/час	3,4	3,2	3,2	3,6	3,8	2,5	3	2,4	3,5	3,4
	0,3	2. Емкость топливных баков, дал	30	29	29	30	28,5	23	30	30	30	31

*) Параметры: габаритная ширина машины, удельное давление на грунт и расход топлива, с ростом которых ухудшается Пту, в расчетах принимается величиной, обратной значению показателя, т.е. $1/q$

Результаты оценки технического уровня бульдозеров представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Результаты расчёта комплексных и обобщённых показателей $P_{kl} = 0,7$ технического уровня бульдозеров

	Б10М	Б-170	Т-130	Т.11-Л	ДЗ-240 С	ДЗ-110	ДЗ-170	Б10	Б10МБ	Б10М. 0101-Е
Функциональность	4,74	4,74	5,03	6,29	4,83	5,86	5,85	5,15	5,77	5,44
Маневровая подвижность	4,77	3,42	4,67	3,24	4,58	3,80	3,83	3,64	4,49	3,95
Маршевая подвижность	9,21	8,92	8,92	9,19	8,73	7,18	9,23	9,29	9,20	9,51
П _{ту}	5,42	4,91	5,49	5,66	5,33	5,34	5,65	5,24	5,84	5,53
РАНГ	6	10	5	2	8	7	3	9	1	4
Отставание от лидера, %	7,1	15,9	6	3,1	8,8	8,6	3,2	10,2	0,00	5,3

Анализ данных расчётов показывает, что П_{ту} лидирующих машин Б10МБ, Т.11-Л и ДЗ-170 отличаются друг от друга крайне незначительно (на 3,1...3,2 %), что при выборе бульдозера из рассмотренной размерной группы, также, как и в предыдущей задаче по выбору экскаватора, затрудняет обосновать явно выраженный приоритет. Наиболее отстающие модели в группе Б10 и Б-170 имеют показатели П_{ту} на 10,2...15,9 % ниже, чем у лидирующей машины, что дает основание к их возможной отбраковке при выборе.

4.1.3 Оценка технического уровня скреперов

Основные показатели эксплуатационных свойств, влияющие на эффективность применения скреперов, предлагается использовать в соответствии с приведенным во 2-й главе перечнем и представленным в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Показатели эксплуатационных свойств, влияющие на эффективность применения скреперов

1. Грузоподъемность, т	6. Толщина слоя отсыпки, м
2. Эксплуатационная масса, т	7. Максимальное заглубление, м
3. Удельная мощность двигателя, кВт/т	8. Максимальная скорость движения, м/с
4. Вместимость ковша, м ³	9. Минимальная ширина полосы разворота, м
5. Ширина резания (ковша), м	

Выбранные одиночные показатели целесообразно разбить на две группы: показатели функциональности и показатели маневровой подвижности.

«Показатели функциональности – характеризуют приспособленность машины к выполнению функций по прямому предназначению – транспортировке и отсыпке сыпучих грузов. Показатели подвижности определяют возможность машины маневрировать на ограниченных пространствах в карьерах, забоях, в местах разгрузки, в том числе на грунтах с низкой несущей способностью, и преодолевать предельные по тяговым возможностям машины подъёмы, например, при выезде из карьеров.

Распределение единичных показателей по кластерам и их весомости внутри этих кластеров, обоснованы в ходе экспертного исследования (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Распределение показателей эксплуатационных свойств скрепера по группам (кластерам)

Показатели функциональности $Q_1 (P_{k1} = 0,7)$		Показатели подвижности $Q_2 (P_{k2} = 0,3)$	
Наименование показателя	Коэффициент весомости $P_{e i1}$	Наименование	Коэффициент весомости $P_{e i2}$
1. Грузоподъемность, т	0,4	1. Минимальная ширина полосы разворота, м/с	0,3
2. Вместимость ковша, м ³	0,3	2. Эксплуатационная масса, т	0,25
3. Толщина слоя отсыпки, м	0,1	3. Тип и мощность двигателя, т	0,25
4. Ширина резания (ковша), м	0,1	4. Максимальная скорость движения, м/с	0,2
5. Максимальное заглубление, м	0,1		

Коэффициенты весомости обобщённых показателей P_{kj} , предлагаемые по результатам экспертного обоснования:

– показатели функциональности (Q_1) $P_{k1} = 0,7$

– показатели подвижности (Q_2) $P_{k2} = 0,3$

Модельный ряд сравниваемых самоходных скреперов и их технические характеристики представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Таблица исходных данных для расчета обобщённых и комплексных показателей технического уровня самоходных скреперов

Коэффициенты весомости комплексных показателей	Коэффициент весомости единичных показателей в группах	Показатели	МоАЗ 6014	МоАЗ 6071	621 G Cat	ДЗ 13Б
Показатели функциональности						
0,7	0,4	1. Грузоподъемность, т	16	22	22	30
	0,3	2. Вместимость ковша, м ³	11	10	16	16
	0,1	3. Толщина слоя отсыпки, м	0,45	0,45	0,46	0,5
	0,1	4. Ширина резания, м	2,82	2,92	3,02	3,43
	0,1	5. Максимальное заглубление, м	0,3	0,3	0,3	0,2
Показатели подвижности						
0,3	0,3	1. Минимальная ширина полосы разворота ^{*)} , м	8,6	8,2	9,02	12,8
	0,25	2. Эксплуатационная масса ^{*)} , т	36	30	32,2	37,5
	0,25	3. Удельная мощность, кВт/т	4,58	8,7	9,1	7,07
	0,2	4. Максимальная скорость движения, м/с	12,2	13,8	6,14	13,8

*) Параметры: минимальная ширина полосы разворота и эксплуатационная массы, с ростом которых ухудшается $P_{ту}$, в расчетах принимается величиной, обратной значению показателя, т.е. $1/q$

Результаты расчётов представлены в таблице 4.12

Таблица 4.12 – Результаты расчёта комплексных и обобщённых показателей ($P_{ту}$) технического уровня

Показатели	МоАЗ 6014	МоАЗ 6071	621 G Cat	ДЗ 13Б
Функциональность	10,057	12,167	13,978	17,213
Подвижность	3,63	4,98	3,54	4,56
$P_{ту}$	8,13	10,01	10,85	13,42
РАНГ	4	3	2	1
Отставание от лидера, %	39,4	25,4	19,2	0,00

Анализ данных расчётов показывает, что $P_{ту}$ лидирующей машины ДЗ 13Б превышает этот показатель у прочих сравниваемых машин на 19,2...39,4 %, что при выборе скреперов из рассмотренной размерной группы позволяет считать приоритет этой модели безусловным. Это различие оценочной ситуации в сравнении с выше рассмотренными машинами объясняется тем, что значения

базовых показателей эксплуатационных свойств рассматриваемых скреперов существенно отличаются между собой.

Полученные при сравнении землеройно-транспортных машин результаты подтверждает, что рассмотренные традиционные методы оценки П_{ту} можно считать работоспособными с позиции информативности получаемых результатов только при условии значительного различия показателей идентичных свойств, что и без специального исследования может выявить очевидность приоритета в выборе модели.

4.2 Оценка информативности предлагаемого метода многокритериальной оптимизации при определении технического уровня землеройно-транспортных машин

Оценка информативности предлагаемого метода многокритериальной оптимизации проводилась в сравнении с результатами, полученными с применением традиционного метода кластерного ранжирования на примере дорожно-строительных машин: строительных автосамосвалов, экскаваторов, бульдозеров и скреперов. В качестве значимых на всех исследованных машинах было определено по 9 параметров, использованных при расчетах традиционными методами. Это ограничение количества параметров обусловлено с одной стороны по результатам экспертных исследований, с другой – предельными возможностями вычислительной техники, применявшейся для расчетов по методу многокритериальной оценки, предусматривающему по каждому из видов техники расчет $9! = 362880$ различных вариантов приоритетов в значимости параметров. Добавление к рассмотрению еще хотя бы одного параметра требует расчета 3628800 вариантов сравнения. Результаты расчетов приведены в таблицах 4.13–4.16 и проиллюстрированы на рисунках 4.1–4.4.

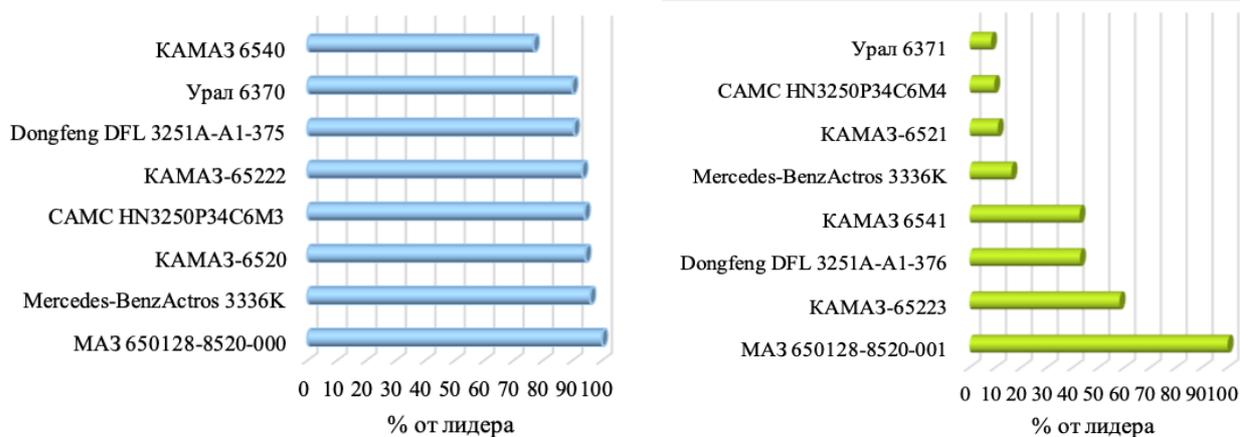
4.2.1. Сравнительная оценка информативности методов определения технического уровня строительных автосамосвалов

Результаты оценки представлены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Результаты сравнительной оценки технического уровня строительных автосамосвалов

	КАМАЗ-6540	Урал 6370	КАМАЗ-65222	КАМАЗ-6520	МАЗ 650128-8520-000	САНС HN3250P34C6M3	Dongfeng DFL 3251A-A1-375	Mercedes-Benz Actros 3336K
Метод кластерного ранжирования								
Пту	11,56	12,52	13,00	13,81	14,55	13,66	13,21	13,74
РАНГ	8	7	6	2	1	4	5	3
Отставание от лидера, %	20,55	14,00	10,67	5,07	0,00	6,10	9,20	5,61
Метод многокритериальной оптимизации								
Количество оптимальных решений (Пту)	53604	53818	12012	13749	125744	10470	73079	20404
РАНГ	4	3	7	6	1	8	2	5
Отставание от лидера, %	57,4	57,2	90,4	89,1	0,0	91,7	41,9	83,8

Сравнение результатов показывает, что оба метода отдают лидерство одной и той же модели – МАЗ 650128-8520-000, однако при кластерном экспертном методе отставание ближайшего образца от лидера составляет 5,1%, а при методе многокритериальной оптимизации – 41,9 %, что свидетельствует о его более высокой информативности. Сделанный вывод наглядно подтверждается графическим отображением результатов сравнительной оценки, приведенном на рисунке 4.1.



а)

б)

Рисунок 4.1. Соотношение оценок Пту автосамосвалов:

а) метод кластерного ранжирования; б) метод многокритериальной оптимизации

4.2.2 Сравнительная оценка информативности методов определения технического уровня экскаваторов

Результаты оценки представлены в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Результаты сравнительной оценки технического уровня экскаваторов

	Komatsu PC130-8	Cat 318D2L	JCB JS 160W	ЭО-3322А	Hyundai R140LC-9S	ЭО-3311Г	ЭО-3211Е
Метод кластерного ранжирования							
Пту	11,09	12,07	11,81	6,19	11,85	4,74	4,30
РАНГ	4	1	3	5	2	6	7
Отставание от лидера, %	8,11	0,00	2,12	48,75	1,81	60,71	64,39
Метод многокритериальной оптимизации							
Количество оптимальных решений (Пту)	41296	160860	6380	60482	93862	0	0
РАНГ	4	1	5	3	2	6	7
Отставание от лидера, %	74,3	0,0	96,0	62,4	41,6	100,0	100,0

Представленные результаты показывают, что оба метода отдают лидерство одним и тем же моделям – Cat 318D2L (1-е место) и Hyundai R140LC-9S (2-е место), однако при кластерном экспертном методе отставание между ними составляет 1,8 %, а при методе многокритериальной оптимизации – 41,6 %, что, как и в случае с автосамосвалами, свидетельствует о его более высокой информативности. Графическое отображение результатов сравнительной оценки приведено на рисунке 4.2.

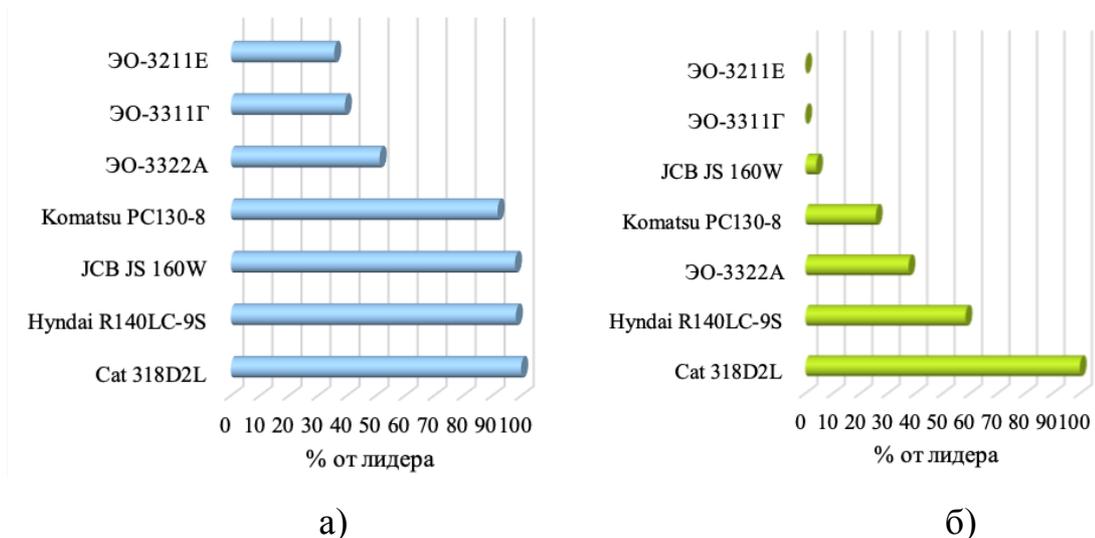


Рисунок 4.2. Соотношение оценок Пту экскаваторов:

а) метод кластерного ранжирования; б) метод многокритериальной оптимизации

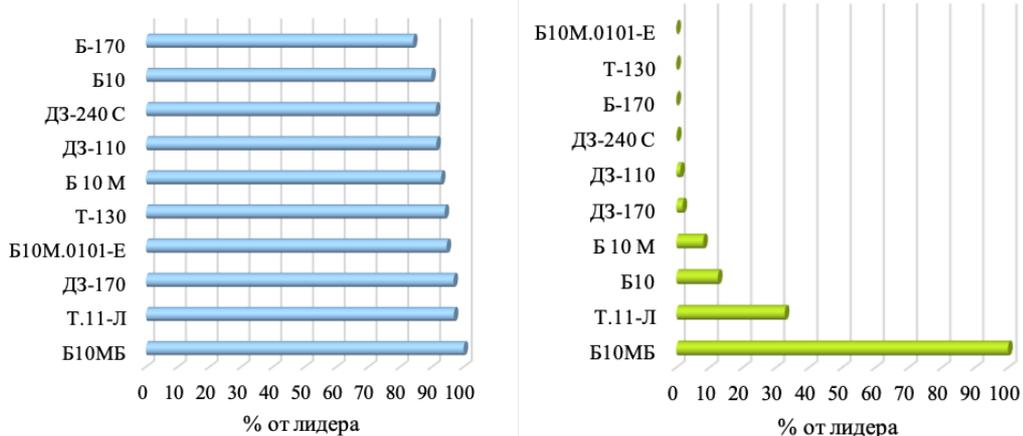
4.2.3 Сравнительная оценка информативности методов определения технического уровня бульдозеров

Результаты оценки представлены в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Результаты сравнительной оценки технического уровня бульдозеров

	Б 10 М	Б-170	Т-130	Т.11-Л	ДЗ-240 С	ДЗ-110	ДЗ-170	Б10	Б10МБ	Б10М.0101-Е
Метод кластерного ранжирования										
П _{ТУ}	5,42	4,91	5,49	5,66	5,33	5,34	5,65	5,24	5,84	5,53
РАНГ	6	10	5	2	8	7	3	9	1	4
Отставание от лидера, %	7,12	15,4	5,98	3,08	8,78	8,59	3,17	10,18	0,00	5,34
Метод многокритериальной оптимизации										
Количество оптимальных решений (П _{ТУ})	18756	84	0	75756	372	2760	4296	29012	231844	0
РАНГ	4	8		2	7	6	5	3	1	
Отставание от лидера, %	91,9	100	100	67,3	99,8	98,8	98,1	87,5	0,0	100

В соответствии с полученными результатами оба метода отдают лидерство одним и тем же моделям – Б10МБ (1-е место) и Т.11-Л (2-е место), однако при кластерном экспертном методе разница между ними составляет 3,8%, а при методе многокритериальной оптимизации – 67,3 %, что подтверждает более высокую информативность последнего. Графическое отображение результатов сравнительной оценки приведено на рисунке 4.3.



а)

б)

Рисунок 4.3. Соотношение оценок П_{ТУ} бульдозеров:

а) метод кластерного ранжирования; б) метод многокритериальной оптимизации

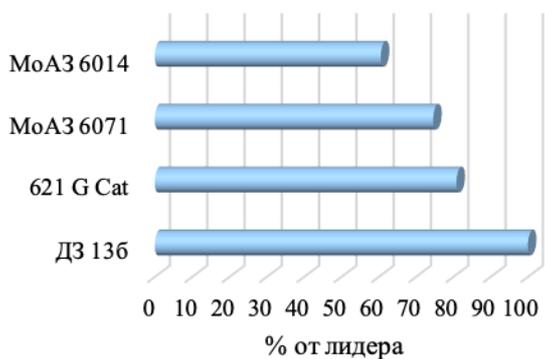
4.2.4 Сравнительная оценка информативности методов определения технического уровня самоходных скреперов

Результаты оценки представлены в таблице 4.16.

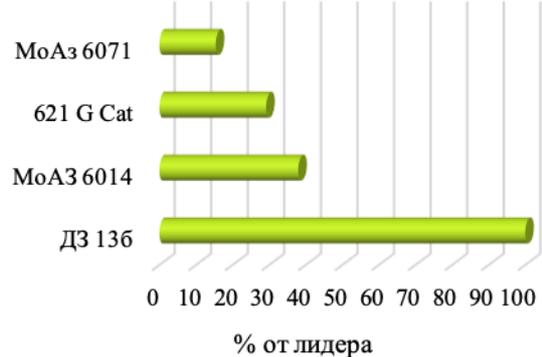
Таблица 4.16 – Результаты сравнительной оценки технического уровня скреперов.

	МоА3 6014	Моаз 6071	621 G Cat	ДЗ 136
Метод кластерного ранжирования				
П _{ту}	8,13	10,01	10,85	13,42
РАНГ	4	3	2	1
Отставание от лидера, %	39,42	25,38	19,15	0,00
Метод многокритериальной оптимизации				
Количество оптимальных решений (П _{ту})	75448	30620	58010	198802
РАНГ	2	4	3	1
Отставание от лидера, %	62,0	84,6	70,8	0,0

В соответствии с полученными результатами кластерный экспертный метод отдает лидерство модели – ДЗ 136 с приоритетом над ближайшей следующей машиной 621G Cat (2-е место) в 19,2 %, а при методе многокритериальной оптимизации этот же лидер имеет приоритет над ближайшей моделью МоА3 6014 (2-е место) – 62 %, что подтверждает более высокую информативность этого метода. Графическое отображение результатов сравнительной оценки приведено на рисунке 4.4.



а)



б)

Рисунок 4.4. Соотношение оценок П_{ту} скреперов:

а) метод кластерного ранжирования; б) метод многокритериальной оптимизации

Таким образом, проведенные расчеты подтвердили более высокую информативность предлагаемого метода безэкспертной оценки ТУ землеройно-транспортных машин, основанного на многокритериальной оптимизации значимых параметров эксплуатационных свойств в сравнении с методами, основанными на экспертных оценках их весомости. Разработанное программное обеспечение метода существенно сокращает время проведения расчетов, которое сводится практически лишь к заполнению формализованных компьютерных бланков ввода исходной информации.

4.3 Сравнительная оценка конкурентоспособности транспортно-технологических машин с использованием метода многокритериальной оценки их технического уровня

Технический уровень машин в настоящем исследовании определяется исходя их параметров значимых показателей эксплуатационных свойств, доступных потребителю в её техническом описании. Он характеризует уровень технического совершенства машины с позиции реализации её возможностей по функциональному предназначению и определяет конструктивно-расчетную производительность изделия. Однако, в эксплуатации эта производительность снижается за счет затрат нормативного рабочего времени на выполнение технических мероприятий по поддержанию и восстановлению работоспособного состояния машины, зависящих от её надежности. Уровень технического совершенства машины с позиции её надежности может быть оценен комплексным показателем надежности – коэффициентом технического использования ($K_{ти}$). С учетом этого рассчитанные показатели ТУ сравниваемых машин ($П_{ту}$) целесообразно скорректировать, умножив их на соответствующие значения $K_{ти}$.

Исходя из классического представления о конкурентоспособности изделия, как соотношения его цены и качества, и приняв за условную характеристику качества скорректированное значение показателя технического уровня в виде $П_{ту} \cdot K_{ти}$, для определения конкурентоспособности машин предлагается

воспользоваться зависимостью, отражающей количество условных единиц качества изделия, приходящихся на одну единицу затрат:

$$K = \frac{\Pi_{\text{ТУ}} \cdot K_{\text{ТИ}}}{C_{\text{П}} + C_{\text{Э}}}, \text{ руб}^{-1}, \quad (4.1)$$

где K – показатель конкурентоспособности машины, руб^{-1} ;

$K_{\text{ТИ}}$ – коэффициент технического использования машины при реализации нормативно установленной производителем системы ее технического обслуживания и ремонта;

$C_{\text{П}}$ – стоимость приобретения машины, приведенная к одному году ее использования, руб.;

$C_{\text{Э}}$ – годовые эксплуатационные затраты на поддержание работоспособного состояния машины, руб.

Стоимость приобретения определяется для потребителя ценой машины, а затраты на эксплуатацию $C_{\text{Э}}$ – стоимостью выполнения работ по ТО и ремонту машин на станциях их сервисного обслуживания (с учетом затрат на материалы), расходом и стоимостью ГСМ, шин, аккумуляторов и т.п. Определению коэффициента $K_{\text{ТИ}}$, затрат $C_{\text{П}}$ и $C_{\text{Э}}$ посвящено множество исследований, и это не является целью данной работы, их расчет производится по общепринятым методикам [116]. При этом значения $K_{\text{ТИ}}$ выбираются на основе экспериментальных данных, полученных в ходе эксплуатации изделия, но могут быть определены расчетным путем, как потенциальные, на основании нормативов производителя по организации системы обеспечения работоспособного состояния машин: рекомендуемой годовой наработке, периодичности и трудоемкости плановых и ожидаемых внеплановых технических воздействий по ТО и ремонту.

Оценка работоспособности изложенного подхода проведена на примере сравнения показателей конкурентоспособности зарубежного автосамосвала Scania-R380 и его отечественного аналога КАМАЗ 6580-87 при различных методах оценки их ТУ. Исходные данные для расчетов показателя ТУ приведены в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Характеристики для расчета технического уровня зарубежного и отечественного автосамосвалов

№	Показатель	Целеполагание	Scania-P380 (6x4)	КАМАЗ 6580-87 (6x4)
1	Грузоподъемность, т	max	24	25,5
2	Максимальная нагрузка на односкатный мост, т	min	9	9
3	Удельная мощность двигателя, кВт/т	max	7,17	7,19
4	Запас хода, тыс. км	max	0,859	0,982
5	Число передач в трансмиссии	max	18	16
6	Объем кузова, м ³	max	16	16
7	Максимальная скорость движения, м/с	max	23,6	25
8	Минимальный радиус поворота, м	min	11,3	11
9	Сцепной вес машины, т	max	30	32

Оценка конкурентоспособности проводилась по показателям первого года эксплуатации машины при общем сроке службы 8 лет с годовым пробегом 60 тыс. км [23] без внеплановых ремонтных воздействий. С учетом этого затраты на эксплуатацию принимались только в виде годовых затрат на плановое ТО без учета затрат на приобретение шин и аккумуляторов. В связи с высокой схожестью у сравниваемых машин показателей путевого расхода топлива затраты на него в расчет не вводились.

Исходные данные и результаты расчета $K_{ти}$, $C_{п}$ и $C_{э}$ представлены в таблицах 4.18 – 4.20

Таблица 4.18 – Стоимостные показатели приобретения автосамосвалов

№	Показатель	Scania-P380	Камаз 6580-87
1	Стоимость приобретения, млн.руб	19,4	12,5
2	Срок службы, лет	8	
3	Стоимость приобретения, приведенная к одному году, млн.руб/год	2,425	1,563

Таблица 4.19 – Показатели системы ТО автосамосвала КАМАЗ

Вид ТО	Пробег автомобиля, км	Трудоемкость ТО, нормо-час	Стоимость ТО с учетом материалов, руб
ТО-2500	2500	10,3	27387,5
ТО-1	10000	2,8	54600
ТО-1	20000	2,8	54600
ТО-1 + ТО-2 + СО	30000	14,5	79931,25
ТО-1	40000	2,8	54600
ТО-1	50000	2,8	54600
ТО-1 + ТО-2 + СО	60000	14,5	79931,25
ИТОГО за 60 тыс. км		50,5	405650
Коэффициент технического использования $K_{ти}$		0,974	

Таблица 4.20 – Показатели системы ТО автосамосвала Scania

Вид ТО	Пробег автомобиля, км	Трудоемкость ТО, нормо-час	Стоимость ТО с учетом материалов
X	10000	2,3	18260
S, R	20000	8,2	88666,25
X	30000	2,3	18260
M	40000	5	95100
X	50000	2,3	18260
S, T6	60000	4,6	90022,5
ИТОГО за 60 тыс. км		24,7	328568,8
Коэффициент технического использования $K_{ТИ}$		0,987	

Результаты сравнительной оценки конкурентоспособности машин при расчете $\Pi_{ТУ}$ различными методами приведены в таблице 4.21

Таблица 4.21 – Результаты расчета конкурентоспособности автосамосвалов Scania-P380 и КАМАЗ-6580-87

Модель автосамосвала	$\Pi_{ТУ}$	$K_{ТИ}$	Сп. млн.руб	Сэ, млн.руб	K , руб ⁻¹
Метод кластерного ранжирования					
Scania-P380	15,61	0,987	2,425	0,329	5,6
КАМАЗ-6580-87	16,22	0,974	1,563	0,406	8,0
Метод многокритериальной оптимизации					
Scania-P380	112716 (31%)*	0,987	2,425	0,329	11,1
КАМАЗ-6580-87	250164 (69%)*	0,974	1,563	0,406	34,1

*) процентная доля от общего количества решений

Анализ данных таблицы 4.21 показывает, что при расчете $\Pi_{ТУ}$ методом кластерного ранжирования автосамосвал КАМАЗ-6580-87 имеет минимальное конкурентное преимущество перед автосамосвалом Scania-P380 по $\Pi_{ТУ}$ – на 3,8%, но по показателю «цена-качество» (K) оно возрастает до 30% несмотря на более низкое значение $K_{ТИ}$ и более высокую стоимость эксплуатации $C_э$, что обусловлено значительно меньшей стоимостью его приобретения $C_п$. При оценке $\Pi_{ТУ}$ методом многокритериальной оптимизации КАМАЗ 6580-87 сохраняет конкурентное преимущество. В силу более высокой информативности предложенного метода в зависимости (4.1) значимое влияние на результат оказывают не только значения $C_п$ (она выше у Scania-P380) и $C_э$ (она выше у

КАМАЗ-6580-87), но и значения $P_{ТУ}$, различающиеся на 55% в пользу автосамосвала КАМАЗ-6580-87. Показатель «цена-качество» при этом показывает уверенное преимущество отечественной машины – на 67,4%

Полученный результат соответствует практическим оценкам потребителей и подтверждает повышение объективности выбора машины при использовании метода многокритериальной оптимизации при оценке ее ТУ.

Выводы по четвертой главе

1. Сравнительные расчеты значений технического уровня ($P_{ТУ}$) землеройно-транспортных машин, проведенные традиционным экспертным методом кластерного ранжирования, показали состоятельность метода только при существенных различиях значений показателей эксплуатационных свойств машин, отобранных в качестве значимых для проведения оценки. В этом случае разница полученных значений $P_{ТУ}$ между лидирующими и наиболее отстающими образцами достигает 16...65%, что может служить основанием для выбраковки отстающих машин из рассмотрения предпочтений.

2. Применение этого метода для обоснования предпочтений в выборе приоритета среди лидирующих образцов в группе сравниваемых машин проблематично, так как высокая схожесть у них значений показателей эксплуатационных свойств дает в результате расчетов крайне незначительные различия $P_{ТУ}$ – 2...5%. Это исключает безусловный выбор предпочтения в приобретении образца.

3. Безэкспертный метод многокритериальной оптимизации, основанный на выборе образца по результатам полного перебора возможных приоритетов показателей эксплуатационных свойств, обеспечивает существенно более значимую разницу $P_{ТУ}$ лидирующих образцов в группе сравниваемых машин, которая достигает 42 ... 67 % и является убедительным аргументом в пользу выбора лидера.

4. Количество параметров эксплуатационных свойств, используемых для расчетов по методу многокритериальной оценки на основе полного перебора всех возможных вариантов приоритетов по их значимости, ограничивается только предельными возможностями вычислительной техники, так как связано с большими объемами вычислений, например, для 9 параметров просчитывается 362880 различных вариантов сравнения, а для 10 параметров их количество возрастает уже до 3628800 вариантов.

5. Проведенные расчеты подтвердили более высокую информативность оценки конкурентоспособности машины при использовании метода безэкспертной оценки ТУ, основанного на многокритериальной оценке значимости параметров эксплуатационных свойств в сравнении с методами, основанными на экспертных оценках их весомости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Современный рынок ТТМ для дорожно-строительной отрасли представлен большим их многообразием. Обеспечить в такой ситуации объективность выбора потребителем наиболее эффективного образца из значительного числа однотипных машин проблематично без решения актуальной научной задачи – усовершенствования и разработки методов оценки конкурентоспособности машин», в том числе в части определения их технического уровня, как важного комплексного показателя качества.

2. Анализ существующих традиционных методов оценки технического уровня промышленной продукции показал, что их результаты не всегда обеспечивают получения однозначного заключения, что объясняется субъективизмом подходов, основанных на экспертных оценках.

3. В интересах повышения объективности традиционных методов при оценке ТУ землеройных машин (экскаваторов, бульдозеров, скреперов и строительных автосамосвалов) в работе было проведено их усовершенствование путем обоснования минимально достаточного перечня значимых показателей эксплуатационных свойств, распределения свойств в кластеры по принципу формирования целевых комплексных показателей, обоснования коэффициентов весомости единичных и комплексных показателей свойств.

4. Оценка состоятельности усовершенствованных методов (матричный метод, прямое и кластерное экспертное ранжирование показателей свойств) в отношении сравнительной оценки ТУ землеройных ТТМ показала, что все исследованные методы дают полную схожесть результатов по выявлению лидирующих образцов, однако значимое различие показателей ТУ проявляется лишь между лидирующим и наиболее отстающим образцами (до 21...23%), что представляется достаточно информативным, но сами методы целесообразно использовать только для предварительного выявления и выбраковки из рассмотрения существенно отстающих моделей.

5. Высокая схожесть значений показателей эксплуатационных свойств современных ТТМ в рамках одной классификационной группы приводит к крайне незначительным различиям в численных значениях показателей ТУ лидирующих образцов (не более 5...6%). Столь низкая информативность традиционных методов не обеспечивает однозначности при окончательном установлении приоритетов в приобретении машины потребителем.

6. В результате исследования установлена возможность использования уточненного матричного метода для определения конструктивных направлений повышения ТУ машин, основанного на проведении вертикального и горизонтального матричного анализа показателей эксплуатационных свойств сравниваемых образцов с представлением результатов в виде лепестковых диаграмм.

7. Результаты оценки состоятельности традиционных методов показали, что для принятия решения о приоритете образца в условиях неопределенности в выборе значимых показателей, необходимости учета показателей, обладающих высокой схожестью значений, и недостаточной информативности существующих методов, полагаться только на опыт экспертов некорректно. Решать такие задачи целесообразно с использованием многокритериальных оптимизационных математических моделей.

8. В рамках диссертационного исследования разработан метод сравнительной оценки ТУ транспортно-технологических машин с использованием многокритериальной оптимизационной математической модели, базирующийся на методе доминирования критериев и позволяющий безэкспертно определять лидерство при выборе образцов путем полного перебора всех возможных вариантов приоритетов показателей значимых эксплуатационных свойств при различных целеполаганиях их влияния на показатель ТУ. Разработаны математическая модель и компьютерная программа реализации метода. Его применение обеспечивает существенно более значимую разницу показателей ТУ лидирующих образцов в группе сравниваемых машин, которая достигает 42 ... 67 % и является убедительным аргументом в пользу выбора лидера.

9. Технико-экономическая оценка эффективности выбора образцов с использованием метода многокритериальной сравнительной оценки их ТУ, подтвердила его практическую работоспособность в выявлении наиболее конкурентоспособной модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тиханов, А.С. Заметки по вопросам нашего дорожного строительства в ближайшем будущем / А.С. Тиханов, гражданский инженер – Санкт-Петербург: тип. Э. Арнольда, 1907. – 157 с.
2. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: утв. распоряжением правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. №3363-р [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/727294161>.
3. Конспект лекций по курсу «Технология строительных процессов» (для студентов специальности 7.010104 «Профессиональное обучение. Промышленное, гражданское и сельскохозяйственное строительство») / Сост. Т.Н. Годун - Мариуполь: Изд-во ПГТУ, 2007. – 149 с.
4. Фасхиев, Х.А. Анализ методов оценки качества и конкурентоспособности грузовых автомобилей // Методы менеджмента качества. – 2001. – № 3. – С. 24-28; № 4. – С. 21 – 26.
5. Калашников, В. В. Качественный анализ поведения сложных систем методом пробных функций. – Москва: Наука, 1978. - 248 с.
6. Гличев, А.В. Основы управления качеством продукции. – Москва: АМИ, 1998. – 354 с.
7. Шор, Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности [Текст]. - Москва: Сов. радио, 1962. – 552 с.
8. Аркатова, Н.А. Влияние социальных факторов на долю рынка российских автомобилей // Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. М., МГТУ «МАМИ», № 2 (10), 2010. С. 219 – 224.
9. Афанасьев, А.С. Практика применения метода экспертных оценок для обоснования параметров технологических машин /Афанасьев А.С., Пушкарев А.Е. // В сборнике: Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2021. Сборник тезисов VIII Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2021. С. 139-143.

10. Басманов, С.В. Оптимизация параметров карьерных автосамосвалов для повышения их технического уровня: диссертация кандидата технических наук: 05.05.06. – Кемерово, 2012. – 203 с.

11. Бородина, Ю.В. Метод обоснования требований к рациональной структуре парка автомобилей-такси в крупных городах: диссертация кандидата технических наук: 05.22.10. – Санкт-Петербург, 2018. – 169 с.

12. Буянкин, А.В. Комплексная оценка и прогнозирование показателей эксплуатации карьерных автосамосвалов: диссертация кандидата технических наук: 05.05.06. – Кемерово, 2004. – 305 с.

13. Воронов, А.Ю. Оптимизация параметров экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов / А.Ю. Воронов, А.А. Хорешок, Ю.Е. Воронов, Д.М. Дубинкин, А.Ю. Воронов // Горная промышленность. – 2022. – № 5. – С. 92 – 98.

14. Воронов, А.Ю. Оптимизация показателей функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов по критерию качества / А.Ю. Воронов, А.А. Хорешок, Ю.Е. Воронов, В.Г. Ромашко, А.Ю. Воронов // Горное оборудование и электротехника. – 2020. – № 6 (152). – С. 19-24.

15. Глебов, А.В. Методика оценки технического уровня карьерных автосамосвалов: диссертация кандидата технических наук: 25.00.22. – Екатеринбург, 2001. – 133 с.

16. Добромиров, В.Н. Всеобщее управление качеством: учебно-методическое пособие / В.Н. Добромиров, А.В. Новожилова; СПбГАСУ. – СПб., 2017. – 122 с.

17. Добромиров, В.Н. Сравнительная оценка технического уровня автосамосвалов отечественного и зарубежного производства / В.Н. Добромиров, У.Н. Мейке, А.С. Ли, А.О. Породько // «Автомобильные дороги и транспорт»: сб. Статей магистрантов и аспирантов. Вып. 1; СПбГАСУ. – СПб., 2018 – 232 с. С. 126 – 130.

18. Загребельная, Н.С. Международная конкурентоспособность автомобилестроительных компаний США: диссертация кандидата экономических наук: 08.00.14. – Москва, 2009. – 210 с.

19. Крылов, В.П. К вопросу учета удовлетворенности потребителей в управлении качеством автомобилей / В.П. Крылов, В.С. Клековкин // Качество и жизнь, Ижевск, 2005. — №6. — С. 94 – 98.

20. Козловский, В.Н. Совершенствование инструментов управления разработкой, а также поддержания и улучшения продукции автопрома в производстве / В.Н. Козловский, Д.И. Благовещенский, О.В. Пантюхин, Д.В. Айдаров // Известия Тульского государственного университета. – 2022. – № 5. – С. 28 – 36.

21. Козловский, В.Н. Инструменты мониторинга удовлетворенности потребителей качеством автомобилей в эксплуатации / В.Н. Козловский, Д.И. Благовещенский, Н.А. Антонова, С.А. Васин // СТИН. – 2023. №1. – С. 30 – 35.

22. Костин, И.М. Методы обеспечения конкурентоспособности грузовых автомобилей на этапе разработки: диссертация кандидата технических наук: 05.05.03. – Набережные Челны, 2001. – 186 с.

23. Костин, И.М. Техничко-экономическая оценка грузовых автомобилей при разработке / И.М. Костин, Х.А. Фасхиев. - Набережные Челны: Изд-во Кам. политехн. ин-та, 2002 (ИПЦ ин-та). – 480 с.

24. Кришталь, Н.В. Методы оценки стратегической конкурентоспособности машиностроительной продукции: диссертация кандидата экономических наук: 08.00.05. – Санкт-Петербург, 2006. – 183 с.

25. Крылов, В.П. Управление параметрами качества при производстве автомобилей на основе системного анализа их конкурентоспособности: диссертация кандидата технических наук: 05.05.03, 05.13.01. – Ижевск, 2010. – 209 с.

26. Лифиц, И.М. Теория и практика оценки конкурентоспособности товаров и услуг / И. М. Лифиц. – 2 изд., доп. и испр. - Москва: Юрайт, 2001. – 223 с.

27. Кутьков, Г. М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства: Учебник / Г. М. Кутьков. - М.: КолосС, 2004. — 504 с.

28. Мандровский, К.П. Оценка конкурентоспособности дорожно-строительных машин: на примере одноковшового гусеничного экскаватора: 05.05.04. – Москва, 2008. – 190 с.
29. Парфенов, А.П. Состояние и перспективы развития конструкций тракторов в странах - членах СЭВ и СФРЮ [Текст]. – Москва, 1975. – 39 с.
30. Попова, Е.В. Методика оценки конкурентоспособности сложной технической продукции: на примере авиационной техники: диссертация кандидата экономических наук: 08.00.05. – Москва, 2006. – 154 с.
31. Репин, С.В. Анализ рынка дорожно-строительных машин в России и эволюция потребительских качеств этих машин / С.В. Репин, С.Е. Максимов, А.В. Зазыкин, В.Е. Чечуев // Строительные и дорожные машины. – 2019. – № 7. – С. 3 – 12.
32. Романенко, А.А. Совершенствование таможенных мер регулирования ввоза дорожно-строительной техники на территорию таможенного союза: диссертация кандидата экономических наук: 08.00.05. – Москва, 2010. – 161 с.
33. Смирнова, О.В. Оценка конкурентоспособности продукции: Научные труды Вольного экономического общества России. – 2010. – С. 642 – 648.
34. Смирнов, П.И. Методика выбора легковых автомобилей на основе оценки эксплуатационных затрат: диссертация кандидата технических наук: 05.22.10. – Санкт-Петербург, 2020. – 194 с.
35. Таран, В.А. Маркетинг и конкуренция: путь интеграции в мировую экономику. – Н. Новгород: Волго-Вят. кн. изд-во, 1995. – 178 с.
36. Фасхиев, Х.А. Обеспечение качества и конкурентоспособности специальных автомобилей при проектировании / Х.А. Фасхиев, М.Г. Закиев // Справочник. Инженерный журнал. – 2008. – №4 (133). – С. 41-47.
37. Фасхиев, Х.А. Определение конкурентоспособности предприятия: Журнал Маркетинг в России и за рубежом. – 2009. – № 4.
38. Шайхутдинов, И.Ф. Формирование параметров конкурентоспособного грузового автомобиля на стадии разработки технического задания: диссертация кандидата технических наук: 05.05.03. – Набережные Челны, 2006. – 151 с.

39. Чудаков, Е. А. Новости автомобильной техники: Основные тенденции в развитии конструкции бензинового автомобиля: [Доклад, чит. в МАК 11/VI 1924 г.] / Е. Чудаков. - Москва : Мотор, 1924. – 64 с.
40. Великанов, Д.П. Автомобильные транспортные средства. – М., Транспорт, 1977. – 326 с.
41. Гольд, Б.В. Конструирование и расчет автомобиля [Текст]: [Учебник для вузов] / Б. В. Гольд, д-р техн. наук проф. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машгиз, 1962. – 463 с.
42. Зимелев, Г.В. Теория автомобиля [Текст] / Проф. Г. В. Зимелев. – Москва: Машгиз, 1959. – 312 с.
43. Илларионов, В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учебник для вузов. М.: Транспорт, 1989. – 255 с.
44. Ипатов, М.И. Технико-экономический анализ проектируемых автомобилей. М.: Машиностроение, 1982. – 272 с.
45. Островцев, А.Н. Основы проектирования автомобилей [Текст]: [Учеб. пособие для студентов специальности «Автомоб. Транспорт» вузов]. – Москва: Машиностроение, 1968. – 204 с.
46. Фалькевич, Б.С. Теория автомобиля [Текст]: [Учебник для вузов] / Б. С. Фалькевич, д-р техн. наук проф. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машгиз, 1963. – 239 с.
47. Марат Хуснуллин доложил Президенту о достижениях строительной отрасли в рамках нацпроектов в 2021 году. Правительство России: [сайт]. URL: <http://government.ru/news/44116/> (дата обращения 10.02.2022).
48. Кабмин за 2021 год выделил 166 млрд рублей на опережающий ремонт дорог в регионах. ТАСС: информационное агентство России: [сайт]. URL: <https://tass.ru/ekonomika/13247233> (дата обращения: 10.02.2022).
49. Мейке, У.Н. Исследование состоятельности методов оценки технического уровня строительных автосамосвалов / У.Н. Мейке // Технический журнал «Грузовик: транспортный комплекс, спецтехника». – 2022. – № 6. – С. 13 – 22.

50. Постановление Правительства РФ от 05.12.2001 N 848 (ред. от 20.09.2017, с изм. от 12.10.2017) «О Федеральной целевой программе «Развитие транспортной системы России (2010 – 2021 годы)».

51. Распоряжение Правительства РФ от 27.11.2021 N 3363-р «О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года».

52. Технический регламент Таможенного союза (ТР ТС 014/2011) «Безопасность автомобильных дорог». Утвержден решением Таможенного союза от 18 октября 2011 г. №827.

53. Федеральное дорожное агентство РОСАВТОДОР [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rosavtodor.gov.ru/>.

54. Федеральная служба государственной статистики РОССТАТ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru>.

55. Государственная программа Российской Федерации «Развитие транспортной системы». Утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 20 декабря 2017 г. №1596.

56. Проектирование автомобильных дорог: требования, нормы, этапы проектной деятельности. Дорианс – проектно-изыскательные работы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://dorians.ru/blog/proektirovanie-avtomobilnykh-dorog/>.

57. Интернет-портал «Карьеры России» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.karyer.info/>.

58. Нерудас. Песок, щебень: цены на карте [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://nerudas.ru>.

59. Мейке, У.Н. Повышение конкурентоспособности НТТМ как одна из актуальных проблем современного строительного производства / У.Н. Мейке, К.И. Фомин, М.М. Блиндер // Актуальные проблемы современного строительства: материалы LXXIV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых [5 – 9 апреля 2021 года]: в 2 ч. – Ч. 2. – Санкт-

Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2021. – 220 с. С. 35 – 44.

60. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации «Об утверждении перечня продукции для целей реализации государственной поддержки организаций, реализующих корпоративные программы повышения конкурентоспособности» от 2 июля 2020 года №2095.

61. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. ГОСТ Р ИСО 9000-2015.

62. Портер, М. Конкуренция / Майкл Портер; [пер. с англ. О. Л. Пелявского и др.]. - М. [и др.]: Вильямс, 2005. - 602 с.

63. Друкер, П.Ф. Энциклопедия менеджмента: [Текст]: [Весь Питер Друкер в одной книге: лучшие работы по менеджменту, написанные за 60 лет] / Питер Ф. Друкер; [пер. с англ. О. Л. Пелявского]. – Москва [и др.]: Вильямс, 2004. – 421 с.

64. Котлер, Ф. 300 ключевых вопросов маркетинга: отвечает Филип Котлер / Ф. Котлер; [пер. с англ. О. Литвиновой]. - Москва: Олимп-Бизнес, 2008. – 198 с.

65. Фишер, С. Экономика: Пер. с англ. / Стенли Фишер, Рудигер Дорнбуш, Ричард Шмалензи; Общ. ред. и предисл. Г. Г. Сапова; Акад. нар. хоз-ва при Правительстве Рос. Федерации. - М.: Дело, 2002 (Моск. тип. № 2). – 829 с.

66. Каплан, Р.С. Сбалансированная система показателей [Текст]: от стратегии к действию / Роберт С. Каплан, Дейвид П. Нортон; [пер. с англ. М. Павловой]. – Москва: Олимп-Бизнес, 2008. – 294 с.

67. Каплан, Р.С. Организация, ориентированная на стратегию: Как в новой бизнес-среде преуспевают орг., применяющие сбалансир. систему показателей / Роберт С. Каплан, Дейвид П. Нортон; [Пер. с англ. М. Павлова]. - М.: Олимп-Бизнес, 2004. – XVIII, 392 с.

68. Милгром П., Робертс Дж. Экономика, организация и менеджмент: в 2-х т. / Пер. с англ. И.В. Розмаинского, Д.Е Тетерина, К.А. Холодилина под редакцией И.И. Елисеевой и В.Л. Тамбовцева — СПб.: Экономическая школа, 1999. — т. 1 – 472 с., т. 2 – 424 с.

69. Методические указания по оценке технического уровня и качества промышленной продукции [Текст]: РД 50-149-79 / Гос. ком. СССР по стандартам; [Отв. исполн. к. т. н. М.И. Примаков и др.]. – Москва: Изд-во стандартов, 1979. – 123 с.

70. Катанаев, Н.Т. Моделирование макро- и микроэкономических промышленных объектов / Катанаев Николай Трофимович; М-во образования и науки РФ, Московский гос. технический ун-т «МАМИ». – Москва: Московский гос. технический ун-т «МАМИ», 2006. – 116 с.

71. Райзберг, Б.А. Целевые программы в системе государственного управления экономикой [Текст] / Б. А. Райзберг. – Москва: Маросейка: Лаборатория Книги, 2012. – 331 с.

72. Азоев, Г.Л. Конкуренция: анализ, стратегия и практика / Г.Л. Азоев. – Москва : АОЗТ «Центр экономики и маркетинга», 1996. – 207 с.

73. Ковалев, В.В. Финансы организаций (предприятий) [Текст] : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «Финансы и кредит», «Бухгалтерский учет и аудит», «Мировая экономика», «Налоги и налогообложение» / В. В. Ковалев, Вит. В. Ковалев. – Москва: Проспект, 2008. – 352 с.

74. Кочетов, В.В. Инженерная экономика [Текст]: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов 658400 «Организация и управление наукоемкими производствами», специальности 073900 «Менеджмент высоких технологий», а также для студентов технических и инженерно-экономических специальностей / В. В. Кочетов, А. А. Колобов, И. Н. Омельченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – 655 с.

75. Кравцова, В.И. Инновационная модель развития: Теория и практика нововведений / В.И. Кравцова, А.Л. Карунин [и др.] – М.: Изд-во «Информпечать» ИТРК РСНП, 1998. – 192 с.

76. Сорокина, Г.П. Развитие системы управления конкурентоспособностью в автомобильной промышленности: диссертация доктора экономических наук:

08.00.05 / Сорокина Галина Петровна; [Место защиты: Ун-т машиностроения]. – Москва, 2012. – 331 с.

77. Сорокина, Г.П. Конкурентоспособность в автомобильной промышленности. От инноваций и технопарков до конкурентоспособности предприятий: Основные научные результаты диссертационных исследований. – М.: ИПЦ «Глобус», 2005, С. 206 – 264.

78. Фатхутдинов Р.А. Конкурентоспособность [Текст]: Россия и мир 1992 – 2015 / Р. А. Фатхутдинов. - Москва: Экономика, 2005. – 605 с.

79. Фатхутдинов, Р.А. Конкурентоспособность организации в условиях кризиса: экономика, маркетинг, менеджмент [Текст] / Р. А. Фатхутдинов. – Москва: Маркетинг, 2002. – 885 с.

80. Система показателей качества продукции. Автомобили грузовые. Номенклатура показателей: государственный стандарт Союза ССР ГОСТ 4.401-88: взамен ГОСТ 4.401-85: введен с 01.01.89 до 01.01.94. / Государственный комитет СССР по стандартам. - Москва: Изд-во стандартов, 1988. – 9 с.

81. Система управления качеством продукции. Экспертные методы оценки качества промышленной продукции. Основные положения: государственный стандарт Союза ССР ГОСТ 23554.0-79 / Государственный комитет СССР по стандартам. – Москва: Изд-во стандартов, 1986. – 22 с.

82. Система управления качеством продукции. Экспертные методы оценки качества промышленной продукции. Организация и проведение экспертной оценки качества продукции: государственный стандарт Союза ССР ГОСТ 23554.1-79 / Государственный комитет СССР по стандартам. – Москва: Изд-во стандартов, 1980. – 29 с.

83. Определение коэффициентов весомости при комплексной оценке технического уровня и качества продукции: государственный стандарт Союза ССР ГОСТ 24294-80 / Государственный комитет СССР по стандартам. – Москва: Изд-во стандартов, 1982. – 9 с.

84. Глебов, А.В. Определение значимости показателей при оценке уровня качества геотехники / А.В. Глебов // Известия Тульского государственного университета. – 2021. – №1. – С. 123 – 137.

85. Мейке, У.Н. Методика подбора автосамосвалов для землеройно-транспортных комплектов машин / У.Н. Мейке // Магистратура-автотранспортной отрасли: материалы II Всероссийской межвузовской конференции «Магистерские слушания». 26 – 27 октября 2017 г. В 2 ч.; СПбГАСУ. – СПб., 2017 – Ч. 1 – 218 с. С. 175 – 181.

86. Энциклопедия машиностроения XXL. Оборудование, материалы, механика и... [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mash-xxl.info/map/> (дата обращения 04.04.2022).

87. Методика установления коэффициентов весомости при комплексной оценке технического уровня изделий Минавтопрома: РД 37.001.041-86. – М.: Минавтопром, 1986.

88. Коммерческая деятельность предприятия: учеб. пособие / О. В. Пигунова, Е.П. Науменко. – Минск: Вышэйшая школа, 2014. – 255 с.

89. Фазлулина, М.Э. Факторно-матричный метод исследования конкурентоспособности продукции тракторной промышленности: диссертация кандидата экономических наук: 08.00.05 / Фазлулина Малика Энверовна; [Место защиты: Моск. гос. машиностроит. ун-т (МАМИ)]. – Москва, 2012. – 150 с.

90. Мейке, У.Н. Методы прогнозирования и оценки технического уровня наземных транспортно-технологических машин / У.Н. Мейке // Сборник научных трудов молодых учёных Кафедры наземных транспортно-технологических машин. Издательский дом «Петрополис», Санкт-Петербург, 2017. – 116 с. С. 85-97.

91. Meike, U. A method for the comparative assessment of the technical quality of dump trucks with different structures (Методика сравнительной оценки технического уровня самосвалов различных компоновочных схем) / U. Meike, V. Dobromirov, E. Lukashuk // Architecture and Engineering, Volume 5 Issue 3, 2020, pp. 49 – 55. DOI: 10.23968/2500-0055-2020-5-3-49-55.

92. Межгосударственный стандарт. Машины землеройные. Самосвалы. Терминология и торговые спецификации. ГОСТ ISO 7132-2017 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data/704/70446.pdf> (дата обращения 09.09.2021)

93. Мушик, Э. Методы принятия технических решений / Э. Мушик, П. Мюллер. Пер. с нем. – М.: Мир, 1990. – 208 с.

94. Принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования / А.Н. Борисов и др.; отв. ред. А.Н. Борисов. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.

95. Черноруцкий, И.Г. Методы принятия решений / И.Г. Черноруцкий. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.

96. Терентьев, А.В. Научно-методический подход к многокритериальной оценке срока эксплуатации автомобиля: диссертация доктора технических наук: 05.22.10 / Терентьев Алексей Вячеславович; [Место защиты: С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т]. – Москва, 2018. – 303 с.

97. Таха. Введение в исследование операций / Таха, А. Хэмди. – М.: Мир, 2001, – С. 354 – 370.

98. Таха. Введение в исследование операций / Таха, Хемди А. – М.: ИД «Вильямс», 2005. – 912 с.

99. Штойер, Р. Многокритериальная оптимизация: теория, вычисления, приложения / Р. Штойер. – М.: Наука, 1982, – С.14 – 29, С. 146 – 258.

100. Динер, И.Я. Исследование операций / И.Я. Динер. – Ленинград: ВМОЛУА, 1969. – 606 с.

101. Прудовский, Б.Д. Векторная оптимизация / Б.Д. Прудовский, А.В. Терентьев // Сб. трудов 2-ой международной научно-практической конференции Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении. Том 1. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2014. – С. 64 – 66.

102. Прудовский, Б.Д. Методы определения множества Парето в некоторых задачах линейного программирования/ Б.Д. Прудовский, А.В. Терентьев // Записки

Горного института. Том 211. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. – С. 89 – 90.

103. Прудовский, Б.Д. Методы решения многокритериальных автотранспортных задач / Б.Д. Прудовский // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГАСУ, 2015. –2(49), – С. 154 – 159.

104. Карелина, М.Ю. Аналитическое определение весовых коэффициентов при многокритериальной оценке эффективности автотранспортных средств / М.Ю. Карелина, И.В. Арифуллин, А.В. Терентьев // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2018. – № 1 (52). – С. 3 – 9.

105. Мейке, У.Н. Исследование возможности применения метода районирования для выбора дорожно-строительных машин / У.Н. Мейке, А.В. Терентьев, В.Н. Добромиров // Строительные и дорожные машины. – 2022. – № 6. – С. 26 – 31.

106. Терентьев, А.В. Система определения оптимальных моделей автомобилей для парка автотранспортного предприятия: Свидетельство о государственной регистрации программа для ЭВМ № 2017618101, дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 21.07.2017 / А.В. Терентьев, А.С. Афанасьев, В.А. Терентьева.

107. Мейке, У.Н. Программа для сравнительной оценки технического уровня дорожно-строительных машин: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022662783, дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 07.07.2022 / У.Н. Мейке, В.Н. Добромиров.

108. Терентьев, А.В. Методы принятия решений в условиях неопределённого состояния «внешней среды» / А.В. Терентьев, Б.Д. Прудовский // Транспортное планирование и моделирование: сб. трудов Международной научно-практической конференции (26-27 мая 2016) СПбГАСУ. – СПб., 2016 С. 145–149.

109. Терентьев, А.В. Развитие метода районирования / А.В. Терентьев // Материалы 4-й международной научно-практической конференции. Инновации на транспорте и в машиностроении. – СПб.: НМСУ «Горный», 2016 – С. 127–130.

110. Терентьев, А.В. Методы районирования, как методы оптимизации автотранспортных процессов / А.В. Терентьев, Д.Б. Ефименко, М.Ю. Карелина // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГАСУ, 2017 № 6 (65). С. 291–294.

111. Мейке, У.Н. Модернизация одноковшового экскаватора применением рукояти изменяемой длины / У.Н. Мейке, В.В. Пищулина, А.Ю. Клименко // Актуальные проблемы современного строительства: материалы 72-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в 2-х ч.; СПбГАСУ. – СПб., 2019. – Ч 2. – 155 с. С. 113 – 129.

112. Мейке, У.Н. Методика выбора автомобильных базовых шасси для транспортно-технологических машин строительной отрасли на основе оценки их технического уровня / У.Н. Мейке // Двадцать четвертая Санкт-Петербургская ассамблея молодых ученых и специалистов; Правительство Санкт-Петербурга, Комитет по науке и высшей школе. Санкт-Петербург, 2019. – 242 с. С. 155 – 156.

113. Мейке, У.Н. Сравнительная оценка автосамосвалов с жесткой и шарнирно-сочлененной рамой в условиях дорожно-строительного производства / У.Н. Мейке, В.Н. Добромиров, К.И. Фомин // Вестник гражданских инженеров. 2020. №4 (81). С. 174 – 181.

114. Мейке, У.Н. Исследование путей повышения технического уровня снегоочистительных машин на базе тракторных шасси / У.Н. Мейке, В.Д. Габидулин, А.В. Серебряков, Р.Н. Турсунов // Магистратура – автотранспортной отрасли: материалы V Всероссийской межвузовской конференции «Магистерские слушания» [23 октября 2020 г.]; СПбГАСУ. – СПб., 2021. – 406 с. С. 67 – 73.

115. Мейке, У.Н. Обоснование показателей эксплуатационных свойств автосамосвалов, значимых для экспресс-оценки их технического уровня потребителем / У.Н. Мейке // Строительные и дорожные машины. – 2022. – № 8. – С. 23 – 28.

116. Техническая эксплуатация автомобилей: [Учеб. по спец. "Автомобили и автомоб. хоз-во" / Е. С. Кузнецов, В. П. Воронов, А. П. Болдин и др.]; Под ред. Е. С. Кузнецова. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва: Транспорт, 1991. - 416 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет»
(СПбГАСУ)

ул. 2-я Красноармейская, д. 4, Санкт-Петербург, 190005

22.04.2022 № 68.06.03/09

[Внедрение материалов диссертации
в учебный процесс]



АКТ

внедрения материалов кандидатской диссертации
**«Методы оценки технического уровня транспортно-технологических машин
 для дорожно-строительной отрасли»**
 аспиранта, ассистента Мейке Ульяны Николаевны
 в учебный процесс Санкт-Петербургского государственного
 архитектурно-строительного университета

Комиссия в составе:

канд.техн.наук, доц. А.В. Зазыкина – декана АДФ;

д-р.техн.наук, доц. С.С. Евтюкова – зав. кафедрой транспортных систем;
 д-р.техн.наук, проф. А.Е. Пушкарева – профессора кафедры наземных
 транспортно-технологических машин; канд.техн.наук, доц. И.О. Черняева –
 зав. кафедрой технической эксплуатации транспортных систем;
 канд.техн.наук, доц. Т.В. Виноградовой – доцента кафедры наземных
 транспортно-технологических машин, секретаря комиссии – настоящим актом
 подтверждает внедрение материалов кандидатской диссертации аспиранта,
 ассистента Мейке Ульяны Николаевны «Методы оценки технического уровня
 транспортно-технологических машин для дорожно-строительной отрасли»,
 выполненной на кафедре наземных транспортно-технологических машин
 (НТТМ) в учебный процесс выпускающей кафедры НТТМ автомобильно-
 дорожного факультета для изучения дисциплин: «Автотракторный

транспорт», «Исследования и испытания наземных транспортно-технологических машин» студентами направления подготовки 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», профиль «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные средства и оборудование»; 15.04.03 «Прикладная механика», профиль «Вычислительная механика технических систем».

Результаты диссертационной работы, внедренные в учебный процесс и размещенные на портале <https://moodle.spbgasu.ru>, изложены в публикациях:

- Добромиров В.Н., Мейке У.Н. Методы прогнозирования и оценки технического уровня наземных транспортно-технологических машин // Сборник научных трудов молодых учёных. Кафедры наземных транспортно-технологических машин. Издательский дом «Петрополис», Санкт-Петербург, 2017. -116 с. С. 85-97.

- Добромиров В.Н., Мейке У.Н., Ли А.С., Породько А.О. Сравнительная оценка технического уровня автосамосвалов отечественного и зарубежного производства // «Автомобильные дороги и транспорт»: сб. Статей магистрантов и аспирантов. Вып. 1; СПбГАСУ. – СПб., 2018 – 232 с. С.126-130.

- Добромиров В.Н., Лукашук Е.Р., Мейке У.Н. A method for the comparative assessment of the technical quality of dump trucks with different structures (Методика сравнительной оценки технического уровня самосвалов различных компоновочных схем) // Architecture and Engineering. 2020 №3, с. 49-55.

- Добромиров В.Н., Арифиллин И.В., Фомин К.И., Мейке У.Н. Концептуальная оценка возможности создания отечественного сочлененного автосамосвала для использования по всем видам дорог и местности // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2021. - № 2 (65). – С. 18-25.

- Мейке У.Н., Лукашук Е.Р. Обоснование рациональной компоновочной схемы автосамосвалов для дорожно-строительной отрасли // Труды XXV Московской международной межвузовской научно-технической конференции

студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых (14 мая 2021г., Москва) «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы»; РУТ, 2021. – С. 199-202.

Использование результатов кандидатской диссертационной работы «Методы оценки технического уровня транспортно-технологических машин для дорожно-строительной отрасли» аспиранта, ассистента кафедры наземных транспортно-технологических машин У.Н. Мейке обсуждено на заседании учебно-методической комиссии автомобильно-дорожного факультета Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета «21» апреля 2022г., протокол №5.

Председатель комиссии:
декан АДФ, к.т.н., доцент

Секретарь комиссии:
доцент кафедры НТТМ,
к.т.н., доцент

Члены комиссии:
зав. кафедрой ТС,
д.т.н., доцент
профессор кафедры НТТМ
д.т.н., профессор
зав. кафедрой ТЭТС
к.т.н., доцент



А.В. Зазыкин



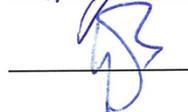
Т.В. Виноградова



С.С. Евтюков



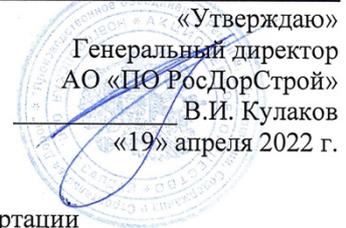
А.Е. Пушкарев



И.О. Черняев

**Акционерное Общество
«ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ РЕМОНТА,
ОБСЛУЖИВАНИЯ, СОДЕРЖАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ДОРОГ» АО
«ПО РосДорСтрой»**

*175400, Новгородская обл., г. Валдай, проспект Васильева, дом 16, литер Б,
ОГРН 1097847050718, ИНН 7841403995, КПП 530201001*



«Утверждаю»

Генеральный директор
АО «ПО РосДорСтрой»

В.И. Кулаков

«19» апреля 2022 г.

АКТ

внедрения результатов кандидатской диссертации
«Методы оценки технического уровня транспортно-технологических машин
для дорожно-строительной отрасли»
ассистента, аспиранта ФГБОУ ВО СПбГАСУ
Мейке Ульяны Николаевны

Научные результаты диссертационной работы «Методы оценки технического уровня транспортно-технологических машин для дорожно-строительной отрасли», выполненной аспирантом, ассистентом кафедры «Наземные транспортно-технологические машины» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» Мейке У.Н., внедрены в АО «ПО РосДорСтрой» в части применения разработанного ею метода сравнительной оценки технического уровня дорожно-строительных машин с использованием многокритериальной оптимизационной математической модели. Метод был использован для обоснования приоритета в выборе дорожных машин, связанных с содержанием и ремонтом федеральной автомобильной дороги А-118 в Санкт-Петербурге и Ленинградской области.

В результате внедрения на производстве программы для сравнительной оценки технического уровня дорожно-строительных машин удалось оперативно отобрать из состава парка предприятия наиболее эффективные машины для работы на конкретных объектах:

1. производственная база «Мурино» 31 км А-118;
2. производственная база «Вантовый мост» 56 км А-118,

что привело к экономии временных ресурсов на 12%, а также к повышению рентабельности использования дорожных машин в течение длительного периода времени не ниже, чем на 5%.

Руководитель службы содержания А-118 (КАД)

А.В. Серебряков

СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ № СДС.ТП.СМ.01824-10

СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ № СДС.ТП.СМ.01825-10





Общество с ограниченной ответственностью
«Лидер - Строй»
603155, Нижегородская область, г. Нижний Новгород,
ул. Минина, д. 19/6, оф. 6
тел: +7910-791-27-64 e-mail: office@ls051.ru
ИНН 5260481538/КПП 526001001
ОГРН 1225200001058

«Утверждаю»

Директор филиала
Нижний Новгород
М.Г. Шпрайзер
«12» мая 2022 г.

АКТ

внедрения результатов кандидатской диссертации
«Методы оценки технического уровня транспортно-технологических машин
для дорожно-строительной отрасли»
ассистента, аспиранта ФГБОУ ВО СПбГАСУ
Мейке Ульяны Николаевны

Научные результаты диссертационной работы «Методы оценки технического уровня транспортно-технологических машин для дорожно-строительной отрасли», выполненной аспирантом, ассистентом кафедры «Наземные транспортно-технологические машины» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» Мейке У.Н., используются при обоснования выбора дорожных машин для содержания и ремонта автомобильных дорог в Нижегородской области в интересах обеспечения выполнения производственного плана на объектах производственных баз «М7 Волга 399 км», «М7 Волга 500 км» и «М7 Волга 555 км».

В результате применения разработанной в рамках диссертации программы для сравнительной оценки технического уровня дорожно-строительных машин удалось предотвратить невыполнение плана на производстве в 76% случаев, а также снизить перерасход производственных ресурсов на 4,5%, что значительно повысило эффективность работы транспортно-технологических машин на объектах автомобильной дороги федерального значения М7 Волга.

Председатель комиссии:

Директор по эксплуатации и содержанию автомобильных дорог

Члены комиссии:

Начальник производственного участка №1

Мастер производственного участка №1



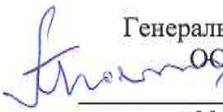
А.А. Хаснаев

В.В. Горбунов

С.С. Филинков

Общество с ограниченной ответственностью «Миларин»

198320, город Санкт-Петербург, город Красное Село, улица Свободы, 63, литер А
ИНН 7805120198, КПП 780701001, ОГРН 1037811051101
Тел/факс:(812) 741-15-72; E-mail: melarin@melarin.ru

«Утверждаю»
Генеральный директор
ООО «Миларин»

А.Б. Носков
«22» июня 2022 г.

АКТ

внедрения результатов кандидатской диссертации
«Методы оценки технического уровня транспортно-технологических машин
для дорожно-строительной отрасли»
ассистента, аспиранта ФГБОУ ВО СПбГАСУ
Мейке Ульяны Николаевны

Научные результаты диссертационной работы «Методы оценки технического уровня транспортно-технологических машин для дорожно-строительной отрасли», выполненной аспирантом, ассистентом кафедры «Наземные транспортно-технологические машины» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» Мейке У.Н. внедрены в транспортной компании ООО «Миларин» в части применения разработанного ею метода сравнительной оценки технического уровня дорожно-строительных машин с использованием многокритериальной оптимизационной математической модели. Метод был использован для обоснования приоритета в выборе автотягачей для региональных и внутрироссийских перевозок при обновлении автомобильного парка предприятия в 2021 году. Результаты сравнительных расчетов подтвердили целесообразность приобретения отечественных седельных тягачей типа КАМАЗ-5490 взамен тягачей Scania, выработавших установленный технический ресурс. Обоснованность выбора подтверждена технико-экономической оценкой результатов эксплуатации этих машин за годовой период. При увеличении годовых расходов на эксплуатацию отечественных автомобилей на 1,54 млн. руб. снижение затрат на их приобретение составило 106 млн. руб. при сохранении требуемого уровня эксплуатационной производительности парка.

Генеральный директор ООО «Миларин»





А.Б. Носков

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022662783

**Программа для сравнительной оценки технического
уровня дорожно-строительных машин**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный архитектурно-
строительный университет» (RU)*

Авторы: *Добромиров Виктор Николаевич (RU), Мейке
Ульяна Николаевна (RU)*

Заявка № 2022662204

Дата поступления 28 июня 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 07 июля 2022 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU

2022662783

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации
(свидетельства):
2022662783

Дата регистрации: **07.07.2022**

Номер и дата поступления
заявки:
2022662204 28.06.2022

Дата публикации: 07.07.2022

Контактные реквизиты:
нет

Авторы:

**Добромиров Виктор Николаевич (RU),
Мейке Ульяна Николаевна (RU)**

Правообладатель:

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Санкт-Петербургский
государственный архитектурно-
строительный университет» (RU)**

Название программы для ЭВМ:

Программа для сравнительной оценки технического уровня дорожно-строительных машин

Реферат:

Программа предназначена для сравнительной оценки технического уровня дорожно-строительных машин при их выборе потребителем. Принимая решение в условиях неопределенности, недостаточной информированности, необходимости учета и оценки обширного перечня показателей при высокой схожести их значений, полагаться на опыт экспертов недостаточно. Для решения таких задач целесообразно использовать многокритериальные оптимизационные математические модели, применение которых на практике сопряжено с рядом особенностей вычислительного характера. В программе реализованы специальные алгоритмы, которые позволяют решать поставленные задачи сравнительной оценки по достаточно большому количеству критериев и экономящие вычислительные ресурсы ЭВМ. Программу рекомендуется применять в дорожно-строительных организациях для обоснования предпочтений при приобретении техники. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК. ОС: Windows XP/ Vista /7/8/10.

Язык программирования: C#

Объем программы для ЭВМ: 18,24 КБ