

ТЕХНИКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СЕРВИСА

ISSN 2074-1146

№ 3 (77), 2026

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, издается с 2007
года

Учредитель:	 Санкт-Петербургский Государственный Экономический Университет
Редакционный совет:	И.А. Максимцев – ректор СПбГЭУ, д.э.н., профессор – <i>председатель совета</i>; Е.А. Горбашко – проректор по НР СПбГЭУ, д.э.н., профессор – <i>заместитель председателя совета</i>; Г.В. Лепеш – заведующий кафедрой БНиТ от ЧС СПбГЭУ, д.т.н., профессор – <i>главный редактор журнала</i> Члены редакционного совета: И.А. Антипин – д.э.н., доцент, заведующий кафедрой региональной, муниципальной экономики и управления Уральского государственного экономического университета, г. Екатеринбург; Я.В. Зачиняев – д.х.н., д.б.н., профессор, профессор кафедры социального и естественнонаучного образования С.И. Корягин – д.т.н., профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, директор института транспорта и технического сервиса БФУ им. И. Канта, г. Калининград; Российского государственного педагогического университета имени А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург Ю.Г. Лазарев – д. т. н., профессор, директор Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства, Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург; В.Н. Ложкин – д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России; В.В. Пеленко – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Теплосиловые установки и тепловые двигатели» Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна; П.И. Романов – д.т.н., профессор, директор научно-методического центра координационного совета учебно-методического объединения по области образования «Инженерное дело», г. Санкт-Петербург; В.С. Чекалин – д.э.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры государственного и территориального управления СПбГЭУ.
Editorial council:	I.A. Maksimcev – rector SPbGEU, doctor of economic sciences, professor – the chairman of the board; E. A. Gorbashko – vice rector for scientific work SPbGEU, doctor of economic sciences, professor – the vice-chairman of council; G.V. Lepesh – head of the chair the population and territories Safety from emergency situations SPbGEU, the editor-in-chief of the magazine, doctor of engineering sciences, professor – the editor-in-chief of the scientific and technical journal Members of editorial council: I.A. Antipin – Doctor of Economics, Associate Professor, Head of the Department of Regional, Municipal Economics and Management, Ural State University of Economics, Yekaterinburg; Ya.V. Zachinyaev – Doctor of Chemistry, Doctor of Biological Science, professor, professor of department of social and natural-science formation of Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg S.I. Koryagin – Doctor of Engineering Sciences, professor, honored worker of higher school of Russian Federation, the director of institute of transport and the BFU technical service of I. Kant, Kaliningrad; Yu.G. Lazarev – Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Higher School of Industrial, Civil and Road Construction, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg; V.N. Lozhkin – Doctor of Engineering Sciences, professor, honored scientist of Russia, Professor of St. Petersburg University of state fire service of the Ministry of Emergency Situations of Russia; V.V. Pelenko – Doctor of Engineering Sciences, professor, professor of thermal power plant and Heat Engines department of St. Petersburg State University of industrial technologies and design; P. I. Romanov – Doctor of Engineering Sciences, professor, director scientific and methodical center of higher education institutions of Russia (St. Petersburg state polytechnical university), St. Petersburg; V.S. Chekalin – Doctor of Economic Sciences, professor, honored worker of science of the Russian Federation, professor of department of the public and Territorial Department SPbGEU.
Адрес редакции:	191023, Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, д. 30-32, литер А Для писем: 191023, Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, д. 30-32, литер А, офис. 22. Электронная версия журнала: https://unecon.ru/nauka/izdaniya/zhurnal-tehniko-tehnologicheskie-problemy-servisa/e-version/ https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=28520; тел./факс (812) 3604413; тел.: (812) 3684289; +7 921 7512829; E-mail: gregoryl@yandex.ru. Оригинал макет журнала подготовлен в редакции

Санкт-Петербург – 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ДИАГНОСТИКА И РЕМОНТ

Попков Т.Б., Евтюков С.А., Ануфриев Е.А. Оценка влияния неисправностей подвески на увод автомобиля от прямолинейного движения.....3

Пенкин А.Л., Руппель Е.А. Оптимизация состава биотопливных смесей для автомобильных дизелей.....10

Трубицын В.А., Филинова Е.В., Ульянов В.А. Эффективность бригад автослесарей как полисистем со структурно-временным резервированием.....15

Баженков А.А., Чудаков А.В. Теоретическое исследование процесса утилизации литий-ионных аккумуляторов электромобилей с целью повышения эффективности извлечения стратегических металлов.....21

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Сивуда М.Ю., Либерман И.В., Шарков О.В. Перспективы использования большой языковой модели (LLM) на машиностроительном производстве.....27

Лепеш Г.В. Оценка ресурса скрепленных труб при статическом и импульсном нагружении.....33

ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СЕРВИСА

Булатов С.В. Совершенствование логистического процесса управления закупочной деятельностью на станциях технического обслуживания автомобилей.....38

Абрамов П.Р. Анализ распределения интенсивности движения в крупном городе на примере г. Санкт-Петербурга.....43

Бурцев М.Д. Оценка качества маршрутной сети городского наземного пассажирского транспорта.....48

Каракулова О.И., Голов Е.В. Комплексное исследование и перспективы применения новейших типов транспортных развязок на пересечениях дорог со средней интенсивностью движения.....57

Саркисова К.И., Белехов А.А. Формирование перечня практических рекомендаций для повышения безопасности движения на въездах-выездах в жилых комплексах.....65

Трегубова И.М., Преверзев А.А., Трегубов И.М. Анализ оптимизации деятельности эксплуатационного автотранспортного предприятия.....73

Соловьев В.В. Эволюция подходов к оценке эффективности переработки отходов.....78

Билан Ю.В. Маркетинговый подход к повышению инклюзивности транспортных систем городов: концептуальная модель.....84

Хорева Л.В., Белых А.Л. Методика оценки эффектов от реализации промышленного симбиоза: инновационный контекст.....92

Пичугин З.А., Салимьянова И.Г. Структурные дисбалансы как объект управления развитием корпоративной инновационной системы.....98

Кучумов А.В. Туристский комплекс России как стратегический ресурс обеспечения национальной экономической безопасности в условиях геополитических вызовов.....103

Бомбин А.Ю. Интеграция искусственного интеллекта в системы менеджмента качества: модели повышения устойчивости компаний в цифровых экосистемах.....110

Требования, к материалам, принимаемым для публикации в научно-техническом журнале «Технико-технологические проблемы сервиса».....118



ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ПОДВЕСКИ НА УВОД АВТОМОБИЛЯ ОТ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ

Т.Б. Попков¹, С.А. Евтюков², Е.А. Ануфриев³

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
(СПбГАСУ), Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.*

В статье рассмотрены неисправности подвески, вызывающие увод автомобиля. Предложены математические зависимости, вероятностно-логистический метод и алгоритм диагностики для оценки влияния неисправностей подвески на курсовую устойчивость автомобиля.

Ключевые слова: увод автомобиля, подвеска, курсовая устойчивость, безопасность дорожного движения, эксплуатационная безопасность, диагностика.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF SUSPENSION FAULTS ON THE VEHICLE'S DIRECTION FROM LINEAR MOVEMENT

T.B. Popkov, S.A. Evtyukov, E.A. Anufriev

*St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Russia, 190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya str., 4.*

The article discusses suspension malfunctions that cause vehicle deviation. Mathematical dependencies, a probabilistic-logistic method, and a diagnostic algorithm are proposed to assess the impact of suspension malfunctions on vehicle stability.

Keywords: vehicle deviation, suspension, stability, road safety, operational safety, diagnostics.

Введение

Ежегодные экономические потери мирового сообщества от дорожно-транспортных происшествий (ДТП) оцениваются примерно в 3,6 триллиона долларов США, что эквивалентно более 3% глобального внутреннего продукта (ВВП) [1]. По данным Всемирной организации здравоохранения, в мире ежегодно в ДТП погибает порядка 1,2 миллиона человек [2]. Экономический ущерб распределяется крайне неравномерно: в странах с высоким уровнем доходов он достигает до 3% ВВП, в то время как развивающиеся страны могут терять до 5-10% ВВП из-за высокой доли смертей среди экономически активного населения и недостаточных мер профилактики. В Российской Федерации масштаб проблемы также остается острым: в 2025 году на российских дорогах погибло почти 14 тысяч человек, а социально-

экономический ущерб от ДТП по итогам 2024 года превысил 1,5 триллиона рублей [3].

Одной из причин ДТП является потеря курсовой устойчивости автомобиля, проявляющаяся в его произвольном отклонении от прямолинейной траектории – так называемом уводе. Увод снижает управляемость, вызывает повышенный износ шин и деталей ходовой части, а при определенных условиях может непосредственно приводить к аварии [4]. Курсовая устойчивость в значительной степени определяется сохранением геометрической симметрии ходовой части; ее нарушение порождает систематическое боковое усилие.

Современные автомобили оснащены электронными системами стабилизации, способными частично компенсировать небольшие отклонения [5]. Однако они не устраняют последствия серьезных механических неисправностей – люфтов, деформаций, износа упругих

EDN BVAIVK

¹Попков Тимур Борисович – аспирант кафедры наземных транспортно-технологических машин, тел. +7 (812) 575-01-94, e-mail: 9401594@gmail.com;

²Евтюков Сергей Аркадьевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры наземных транспортно-технологических машин, тел. +7 (812) 575-01-95, e-mail: s.a.evt@mail.ru;

³Ануфриев Евгений Андреевич – студент кафедры наземных транспортно-технологических машин, тел. +7 (965) 097-57-71, e-mail: eanufriev521@yandex.ru.

элементов. Согласно теории движения автомобиля, боковой увод колеса возникает под действием боковой нагрузки [6]. Дефекты подвески, нарушая кинематику колес, дополнительно усугубляют процесс увода, что приводит к ложным срабатываниям электронных систем и нестабильному поведению автомобиля в критических режимах.

Увод может быть вызван не только неисправностями подвески, но и дефектами других систем. При торможении асимметрия тормозных усилий (подклинивание суппортов, деформация дисков) создает поворачивающий момент [7]. В трансмиссии – износ ШРУСов, дифференциала, биение полуоси – приводит к асимметрии тяговых усилий, проявляющейся при разгоне. Кроме того, неравномерная загрузка, боковой ветер, уклон дороги, а также человеческий фактор (неполная диагностика, игнорирование начальных признаков) могут маскировать или усугублять увод. Однако наиболее частой и значимой причиной являются дефекты подвески и рулевого управления, которые и будут рассмотрены далее детально.

Анализ неисправностей подвески как основных причин увода

Курсовая устойчивость обеспечивается стабильным положением колес. Любое отклонение от заводских параметров создает предпосылки для возникновения боковых сил. Основные дефекты подвески – люфты, деформации, неисправности амортизаторов и опор.

Люфт – подвижность в соединении, которое должно быть жестко зафиксировано. Он

приводит к изменению положения элементов под нагрузкой, что особенно опасно в динамических режимах.

Износ опоры амортизаторной стойки провоцирует увод автомобиля вследствие неустойчивости угла развала. Более опасным является износ шаровой опоры, при котором возникает люфт, нарушающий угол развала и устойчивость рулевого управления; в критических случаях возможно произвольное перемещение колеса вплоть до потери управления. Износ сайлентблоков вызывает люфт либо снижение эластичности, что ведет к смещению рычага и нарушению схождения; кроме того, изношенные сайлентблоки ускоряют износ шин и ступичных подшипников. Ослабление резьбовых соединений, а также износ плавающих шарниров приводят к неконтролируемым изменениям схождения. Люфт ступичного подшипника, в свою очередь, вызывает вибрации и дополнительный увод [8].

Люфты взаимосвязаны: дефект в одном узле создает повышенную нагрузку на сопряженные детали, ускоряя их износ. Устранение только одного дефекта без полной диагностики не гарантирует восстановления курсовой устойчивости.

Деформации рычагов, стоек, кулаков создают постоянное фиксированное искажение геометрии, не корректируемое штатными регулировками. Скрытые деформации остаются постоянным источником неустойчивости. Типичные неисправности приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние неисправностей подвески на увод автомобиля

Элемент	Дефект	Изменение геометрии	Влияние на увод
Наконечники рулевых тяг	Износ, люфт	Увеличение угла схождения	Нестабильность, увод при торможении
Шаровые опоры	Люфт	Смещение продольного угла наклона стойки	Увод при кренах кузова
Сайлентблоки	Расслоение резины, разрыв резинового массива	Нарушение углов схождения и развала	Увод при разгоне или торможении
Амортизаторы	Утечка жидкости, износ рабочих элементов	Снижение демпфирующей способности	Раскачивание кузова, увеличение колебаний пятна контакта шины с дорогой, увод при наезде на неровность
Пружины	Уменьшение упругости	Смещение угла развала	Увод колеса с просевшей пружиной, ускоренный износ кромки шины
Стабилизатор поперечной устойчивости	Выход из строя или обрыв	Асимметрия жесткости подвески при крене	Перераспределение вертикальных нагрузок между колесами в повороте

Деформация рычага подвески, возникающая, как правило, в результате ударного

воздействия, приводит к изменению его длины и формы, что не может быть скомпенсировано

регулируемыми эксцентриками и требует замены деформированной детали. Аналогичным образом изгиб амортизационной стойки или ее штока искажает углы кастера и развала, вследствие чего автомобиль становится практически неуправляемым. Наиболее критичной является деформация поворотного кулака, которая необратимо изменяет все установочные углы колеса; единственным способом устранения данного дефекта служит замена кулака.

Деформация кузова, проявляющаяся в смещении лонжеронов, кронштейнов или брызговиков, нарушает геометрию подвески, поскольку рычаги и подрамники крепятся непосредственно к кузову. Даже незначительное смещение создает систематическую ошибку в углах установки колес, что делает регулировку сход-развала либо невозможной, либо неэффективной. В таких случаях единственным решением является проведение стальных работ или рихтовка кузова.

Различие в работе амортизаторов на одной оси создает асимметрию демпфирования, вследствие чего колесо с менее эффективным амортизатором при проезде неровностей совершает неконтролируемые вертикальные перемещения. Это вызывает кратковременные изменения углов развала и схождения, которые воспринимаются водителем как увод автомобиля [9]. Подклинивание подшипников верхних опор амортизационных стоек нарушает плавность вращения стойки, что приводит к изменению углов развал-схождения и ухудшению курсовой устойчивости; в таких случаях автомобиль плохо держит прямую линию. Для устранения перечисленных неисправностей требуется замена амортизаторов парами на одной оси, а также замена изношенных опорных подшипников.

Инструментальная оценка курсовой устойчивости автомобиля

Для объективной количественной оценки влияния неисправностей подвески на курсовую устойчивость проводятся дорожные испытания, при которых автомобиль оснащается комплексом датчиков. Ключевыми элементами современной измерительной системы являются [10]:

- Инерциальный измерительный блок (IMU). IMU, содержащий акселерометры и гироскопы, измеряет продольное, поперечное и вертикальное ускорения, а также угловые скорости рыскания, крена и тангажа. Современные IMU, например, iMAR iTraceRT-F402/7, обеспечивают частоту обработки данных до 500 Гц и точность позиционирования до 2 см, что делает их «золотым стандартом» для измерения кинематических параметров движения.

- Система спутниковой навигации (GNSS/GPS) с поддержкой режима реального времени (RTK), обеспечивающая точность позиционирования 1-2 см. Это критически важно для анализа траектории и точной привязки данных к пространственным координатам [11].

- Датчик угла поворота рулевого колеса, необходимый для определения водительского воздействия и корректного анализа управляющих сигналов.

- Оптический датчик скорости и угла увода (Correvit S-Motion), обеспечивающий непосредственное, бесконтактное измерение продольной и поперечной скорости автомобиля относительно дорожного покрытия, что позволяет напрямую измерять угол увода кузова [12].

- Дополнительные датчики: потенциометрические датчики ходов подвески для измерения перемещений колес относительно кузова, и тензометрические ступицы для измерения сил и моментов, действующих в пятне контакта колеса с дорогой [13].

- Для количественной оценки курсовой устойчивости применяются стандартизированные испытания, регламентированные международными стандартами ISO. Ключевыми из них являются испытание на установившуюся поворачиваемость по ISO 4138:2021, в ходе которого автомобиль движется по окружности с постоянным радиусом при постепенном увеличении скорости до достижения заданного поперечного ускорения; в процессе измеряется угол поворота рулевого колеса, угловая скорость рыскания и поперечное ускорение, на основе чего вычисляется градиент поворачиваемости – показатель склонности автомобиля к недостаточной или избыточной поворачиваемости в условиях установившегося движения. Вторым важным испытанием является тест на ступенчатое изменение рулевого управления по ISO 7401:2011, которое имитирует резкий маневр уклонения: на установившейся скорости рулевое колесо максимально быстро поворачивается на определенный угол и фиксируется в этом положении; измеряемые переходные характеристики (угловая скорость рыскания, поперечное ускорение, угол крена кузова) позволяют определить время запаздывания, время нарастания и коэффициент затухания колебаний автомобиля после завершения маневра, что делает этот тест наиболее показательным для оценки способности автомобиля сохранять курсовую устойчивость при экстренном маневрировании.

Проведение таких испытаний требует специального оборудования и полигонных условий. Однако для массовой практики диагностики это экономически нецелесообразно.

В связи с этим предлагается алгоритм оценки влияния неисправностей подвески на увод ав-

томобиля, основанный на сборе данных с автомобиля в реальных условиях эксплуатации (рис. 1).

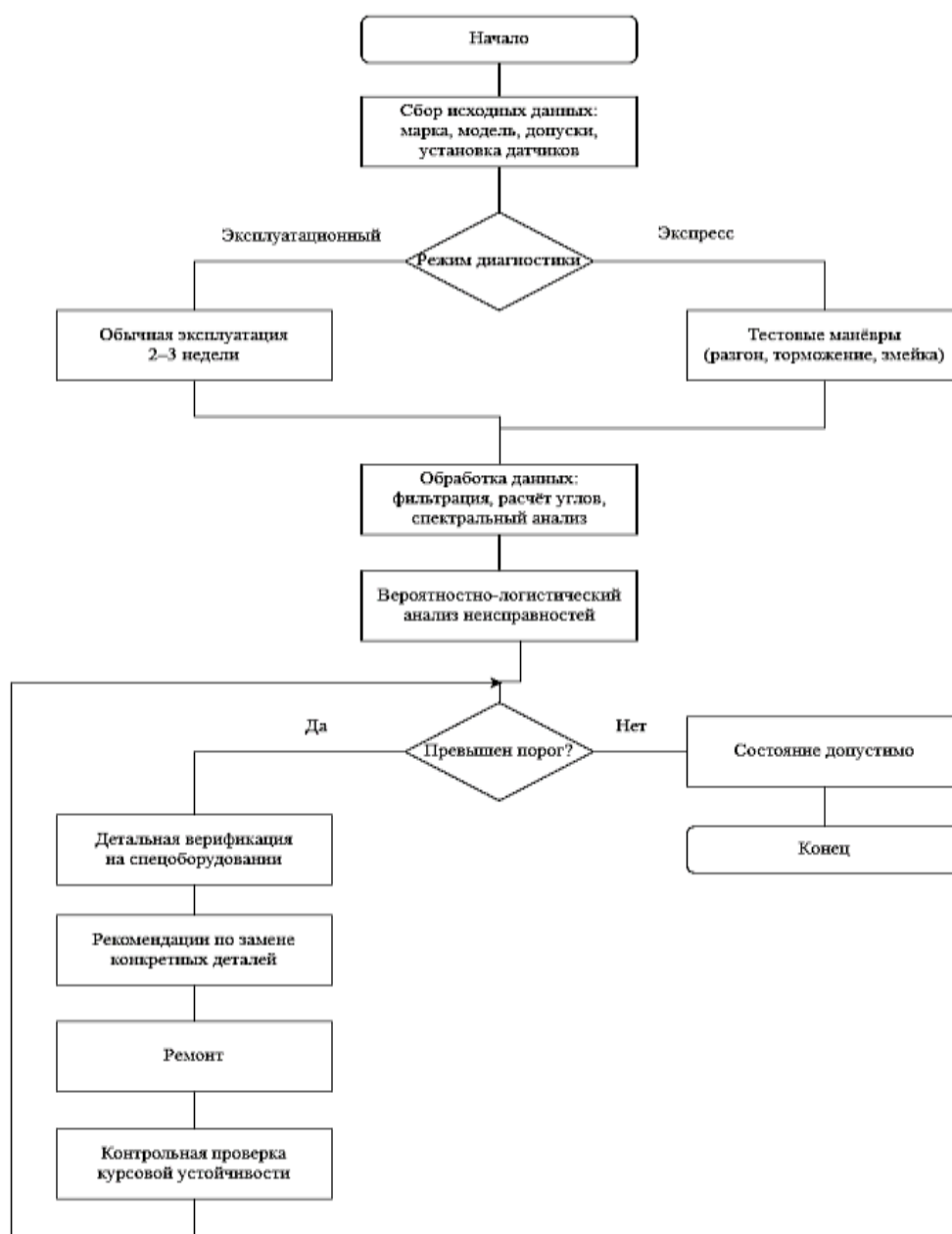


Рисунок 1 – Алгоритм оценки влияния неисправностей подвески на увод автомобиля

Теоретические основы и алгоритм диагностики подвески автомобиля

Основные соотношения, связывающие дефекты подвески с изменением курсовой устойчивости

Стандартной мерой курсовой устойчивости автомобиля является угол увода. В классической теории движения автомобиля связь между боковой силой, возникающей в пятне контакта колеса с дорогой, и углом увода описывается линейной зависимостью [14]:

$$F_y = k_y \cdot \delta, \quad (1)$$

где F_y – боковая сила, действующая на колесо со стороны дороги, Н;

δ – угол увода (угол между направлением качения колеса и его плоскостью вращения), рад;

k_y – коэффициент сопротивления боковому уводу шины (жесткость шины в боковом направлении), Н/рад.

Неисправности подвески (люфты, деформации, износ упругих элементов) вызывают изменение углов установки колес – развала γ и схождения θ . Это приводит к появлению дополнительного угла увода $\Delta\delta$, не связанного с действием внешних сил. Фактический угол увода может быть представлен как:

$$\delta_{\text{факт}} = \delta_{\text{теор}} + \Delta\delta_{\text{неиспр}}, \quad (2)$$

где $\delta_{теор}$ – теоретический угол увода, соответствующий движению автомобиля с исправной подвеской по заданной траектории (определяется конструктивными параметрами и режимом движения), рад;

$\Delta\delta_{неиспр}$ – дополнительный угол увода, обусловленный наличием дефектов подвески, рад.

При малых изменениях углов развала и схождения, что характерно для большинства эксплуатационных дефектов, выполняется приближенное равенство:

$$\Delta\delta_{неиспр} \approx \Delta\gamma + \Delta\theta, \quad (3)$$

где $\Delta\gamma$ – изменение угла развала, вызванное дефектами, рад;

$\Delta\theta$ – изменение угла схождения, рад.

Дополнительная боковая сила, обусловленная дефектами подвески, определяется выражением:

$$\Delta F_y = k_y \cdot \Delta\delta_{неиспр}. \quad (4)$$

Геометрические соотношения, связывающие величины дефектов с изменениями углов развала и схождения, имеют вид:

- для вертикального зазора в шаровой опоре ΔZ (мм) при плече от центра шаровой опоры до центра пятна контакта колеса L (мм) изменение угла развала приближенно равно:

$$\Delta\gamma \approx \tan^{-1} \left(\frac{\Delta Z}{L} \right); \quad (5)$$

- для смещения рычага подвески в изношенном сайлентблоке на величину ΔX (мм) при расстоянии от смещаемого шарнира до противоположного шарнира того же рычага (или колесной базе для задней подвески) B (мм) изменение угла схождения приближенно равно:

$$\Delta\theta \approx \tan^{-1} \left(\frac{\Delta X}{B} \right); \quad (6)$$

- для деформации рычага подвески, вызывающей поперечное смещение колеса ΔY (мм):

$$\Delta\gamma_{деф} \approx \tan^{-1} \left(\frac{\Delta Y}{L} \right). \quad (7)$$

Эти геометрические соотношения служат основой для построения калибровочных моделей для конкретных типов автомобилей, которые используются в программном обеспечении предлагаемого алгоритма.

Организация сбора данных в реальных условиях эксплуатации

Традиционная диагностика подвески на специализированных стендах требует значительных финансовых и временных затрат, а также привлечения высококвалифицирован-

ного персонала. Альтернативой является предлагаемый подход, использующий современные MEMS-датчики (акселерометры, гироскопы, датчики ходов подвески), закрепленные на диагностируемом автомобиле. Данные с датчиков передаются в программное обеспечение, установленное на бортовом компьютере или мобильном устройстве.

Подготовка к диагностике включает установку датчиков и ввод данных об автомобиле (марка, модель, технические характеристики, допустимые значения диагностируемых параметров из нормативной документации).

Режимы сбора данных:

- Эксплуатационный режим – водитель эксплуатирует автомобиль в обычном режиме в течение 2-3 недель; система анализирует крены, ускорения, угловую скорость рыскания, колебания подвески.

- Экспресс-диагностика – механик или опытный водитель выполняет тестовые маневры (резкое ускорение/торможение, «змейка», проезд искусственной неровности); процедура занимает 30-40 минут.

Вероятностно-логистический анализ и принятие решений

Полученные данные обрабатываются с использованием вероятностно-логистического метода, реализованного в программном обеспечении [15, 16]. Процесс включает три этапа.

Этап 1. *Оценка априорных вероятностей отказов.*

Априорные вероятности $P(D_i)$ наличия i -й неисправности D_i определяются на основе статистических данных о надежности узлов (средняя наработка на отказ). При известной интенсивности отказов λ и наработке t :

$$P(D_i) = 1 - e^{-\lambda_i t}, \quad (8)$$

где λ_i – интенсивность отказов для i -го узла, 1/ч (или 1/км);

t – наработка (пробег), ч (или км).

Для малых значений λt допустима линейная аппроксимация:

$$P(D_i) \approx \lambda_i t. \quad (9)$$

Источниками для определения априорных вероятностей отказов могут служить не только научные публикации и ведомственные базы данных, включая результаты, накопленные в ходе эксплуатации автотранспортных предприятий, но и собственные базы данных, сформированные в процессе проведения диагностических работ.

Также для принятия решений в условиях дефицита статистической информации широко применяются экспертные оценки и байесовский метод, который позволяет эффек-

тивно сочетать и обрабатывать как объективные данные, так и субъективный опыт специалистов-экспертов [17, 18].

Этап 2. Расчет апостериорных вероятностей по формуле Байеса.

Пусть зафиксирован комплекс диагностических признаков K . Апостериорная вероятность i -й неисправности вычисляется по обобщенной формуле Байеса [19]:

$$P(D_i|K) = \frac{P(K|D_i) \cdot P(D_i)}{\sum_{j=1}^M P(K|D_j) \cdot P(D_j)}, \quad (10)$$

где $P(D_i|K)$ – апостериорная вероятность i -й неисправности при появлении признаков K ;

$P(K|D_i)$ – условная вероятность наблюдения признаков K при i -й неисправности, значения которой определяются по диагностической матрице;

M – общее число рассматриваемых неисправностей.

После расчета апостериорных вероятностей для всех потенциальных неисправностей выносится предварительное заключение о техническом состоянии. Если для какой-либо неисправности $P(D_i|K)$ превышает заданный порог, состояние признается критическим.

Этап 3. Принятие решения с использованием логистической регрессии.

Дополнительным методом является логистическая регрессия – алгоритм бинарной классификации, позволяющий на основе измеренных значений диагностических признаков $x_1, x_2, \dots, x_n$ оценить вероятность наличия неисправности как принадлежности к определенному классу и принять решение о техническом состоянии автомобиля:

$$p(K) = \frac{1}{1 + e^{-(b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n)}}, \quad (11)$$

где $p(K)$ – вероятность наличия неисправности при данном наборе признаков;

$x_1, x_2, \dots, x_n$ – значения диагностических признаков (например, поперечный крен, частота колебаний кузова);

$b_1, b_2, \dots, b_n$ – коэффициенты регрессии, определяемые по обучающей выборке.

Коэффициенты логистической регрессии устанавливаются в процессе обучения модели и характеризуют степень влияния каждого диагностического признака на итоговую вероятность. Обучение модели, то есть расчет ее коэффициентов, производится на предварительно собранной обучающей выборке, содержащей как значения диагностических признаков, так и сведения об истинном техническом

состоянии автомобиля. В качестве такой выборки используются данные по автомобилям, техническое состояние которых заведомо известно – например, заведомо исправным или с заранее выявленными неисправностями.

Решение принимается путем сравнения расчетной вероятности $p(K)$ с пороговым значением. В задачах технической диагностики порог классификации обычно составляет 0,5 (равновероятное решение), однако при необходимости может смещаться для повышения чувствительности или специфичности диагностики в зависимости от требований достоверности [15]. Если вероятность превышает заданный порог, состояние автомобиля признается критическим и выдаются рекомендации по ремонту; в противном случае состояние признается допустимым.

Алгоритм принятия решений и проведения ремонта

1. Если программный анализ выявил неисправности, вероятность которых превышает заданный порог, формируются рекомендации по целенаправленной замене конкретных деталей (шаровых опор, сайлентблоков, рычагов).

2. Если результат неоднозначен (вероятность ниже порога, но дефект подозревается), требуется детальная верификация с использованием традиционного оборудования (стенд сход-развала, подъемник).

3. После замены деталей проводится обязательная контрольная проверка курсовой устойчивости. Если отклонение траектории превышает допустимую норму, процедура диагностики повторяется.

Таким образом, предложенный подход позволяет перейти от нормативной диагностики («люфт в пределах / за пределами допуска») к параметрической диагностике, прогнозирующей влияние выявленных дефектов на курсовую устойчивость автомобиля.

Заключение

Предложенная кинематико-геометрическая модель влияния дефектов подвески устанавливает количественную связь между величинами зазоров и смещений в сочленениях с изменениями углов установки колес, а также описывает зависимость дополнительной боковой силы от угла увода. Разработан вероятностно-логистический метод оценки неисправностей подвески, основанный на расчете априорных и апостериорных вероятностей отказов с последующей бинарной классификацией технического состояния с помощью логистической регрессии.

Предлагаемый подход предусматривает двухрежимную схему сбора данных (экс-

плутационный режим диагностики и экспресс-диагностика), позволяющую проводить диагностику подвески без использования дорогостоящего полигонного оборудования. Данная схема обеспечивает переход от нормативных методов оценки к параметрической диагностике, прогнозирующей влияние выявленных дефектов на курсовую устойчивость автомобиля и формирующей обоснованные рекомендации по ремонту.

Таким образом, применение разработанного алгоритма будет способствовать повышению эффективности диагностики подвески, снижению трудоемкости и субъективности оценок, а также повышению эксплуатационной безопасности транспортных средств, поскольку своевременное выявление и устранение дефектов подвески является ключевым фактором, существенно снижающим риск возникновения ДТП, что соответствует целевым показателям национального проекта «Инфраструктура для жизни» и Транспортной стратегии Российской Федерации.

Литература

1. IRAP (International Road Assessment Programme). Safety Insights Explorer : [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://irap.org/safety-insights-explorer/\[reference:8\]](https://irap.org/safety-insights-explorer/[reference:8]), свободный. – (дата обращения: 25.04.2026).
2. World Health Organization : [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.who.int/data/gho/data/indicators>, свободный. – (дата обращения: 25.04.2026).
3. РБК Компании. Как безопасность на дорогах влияет на экономику и демографию : [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://companies.rbc.ru/news/aYVRJh7Lrh/kak-bezopasnost-na-dorogah-vliyaet-na-ekonomiku-i-demografiyu/>, свободный. – (дата обращения: 25.04.2026).
4. Кирасиров, О. М. Организация технического обслуживания автомобилей / О. М. Кирасиров, Д. М. Кирасиров, А. М. Кирасиров // Инновационные технологии в АПК, как фактор развития науки в современных условиях : X Международная научно - практическая конференция, посвященная 105-летию кафедры Сельскохозяйственных машин и механизации животноводства (Агроинженерии) ФГБОУ ВО Омский ГАУ, Омск, 16 ноября 2023 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2023. – С. 227-231. – EDN OPRGA.
5. Шилин, А. С. Электронные системы транспортных средств / А. С. Шилин // Современные тенденции развития аграрной науки : Сборник научных трудов международной научно-практической конференции, Брянск, 01–02 декабря 2022 года / Брянский государственный аграрный университет. Том Часть 2. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2022. – С. 721-729. – EDN SANXRL.
6. Атаманов, Ю. Е. Теория подвижного состава : учебно-методическое пособие : в 2 ч. Ч. 1. Колёсный движитель. Тягово-скоростные и тормозные свойства / Ю. Е. Атаманов, В. Н. Плиш. – Минск : БНТУ, 2017. – 193 с. ISBN 978-985-550-556-4 (Ч. 1).
7. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Справочник по экспертизе ДТП. Изд. 3-е перераб. И доп. ИД «Петрополис», Санкт-Петербург, 2020. – 516 с. ISBN 978-5-9676-1152-0.
8. Основные работы по техническому обслуживанию ходовой части и шин автомобиля / Р. А. Газеев, А. С. Исаков, В. И. Бабин [и др.] // Студенческий вестник. – 2022. – № 26-3(218). – С. 44-45. – EDN SAENKM.
9. Филюшин, О. В. Современное техническое обслуживание автомобиля / О. В. Филюшин, А. М. Мошнин // Инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 83-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина (1939-2007), Рязань, 16 ноября 2022 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2022. – С. 248-251. – EDN RCSOH.
10. Днепров, О. Д. Применение нейронных сетей при техническом диагностировании автомобилей и анализе диагностической информации / О. Д. Днепров // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2024. – № 4(70). – С. 27-33. – EDN EVJCHD.
11. Sun, Xiao & Zhuang, Y. & Chen, S. & Shao, Y. & Chen, D.. TIGHTLY-COUPLED RTK/INS INTEGRATED NAVIGATION USING A LOW-COST GNSS RECEIVER AND A MEMS IMU. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XLVI-3/W1-2022. 185-190. DOI:10.5194/isprs-archives-XLVI-3-W1-2022-185-2022.
12. STEPHANT, joanny. "Virtual Sensor: Application to Vehicle Sideslip Angle and Transversal Forces." IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2004. DOI:10.1109/TIE.2004.824857.
13. Патент № 2382346 С1 Российская Федерация, МПК G01M 17/02. Способ определения ЖЕСТКОСТИ и неупругого сопротивления автомобильной шины и стенд для испытаний автомобилей шин: № 2008148407/11: заявл. 08.12.2008: опубл. 20.02.2010 / В. В. Мазур; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Братский государственный университет". – EDN ONIVDA.
14. Кузнецов, Ю. В. Сцепные качества автомобильных шин и дорожных покрытий : Учебное пособие / Ю. В. Кузнецов. – Москва : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2022. – 158 с. – EDN BRBTVI.
15. Tibshirani, R. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction by HASTIE, T., TIBSHIRANI, R., and FRIEDMAN, J. Biometrics, 2010. DOI:10.1007/BF02985802

16. Волохов, А. С. Влияние «геометрии» зависимостей сил бокового увода на характер потери устойчивости прямолинейного движения автомобиля / А. С. Волохов // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 4-1(83). – С. 9-15. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-9-15. – EDN FUXRUQ.

17. Диагностика неисправностей НТТМ на базе шасси грузовых автомобилей с использованием искусственного интеллекта / С. А. Евтюков, А. А. Крюков, И. А. Агапов, Е. А. Зверева // Грузовик. – 2025. – № 4. – С. 31-34. – DOI 10.36652/1684-1298-2025-4-31-34. – EDN FBXSUN.

18. Грушенко, Б. В. Статистическое управление процессом диагностики подвески легкового автомобиля / Б. В. Грушенко // Приоритетные направления научных исследований. Анализ, управление, перспективы : Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Казань, 28 апреля 2023 года. – УФА: Общество с ограниченной ответственностью "Аэтерна", 2023. – С. 47-50. – EDN CFXOWY.

19. Казаринов, Ю. И. Исследование операций и моделирование транспортно-технологических систем : учебное пособие / Ю. И. Казаринов. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2022. – 97 с. – ISBN 978-5-9961-2833-4. – EDN XFWEMG.

УДК 662.758

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА БИОТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

А.Л. Пенкин¹, Е.А. Руппель²

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул..*

В статье рассматриваются проблемы применения биодизеля в качестве топлива на автомобильном транспорте. Предложена оценка оптимизации состава биотопливных смесей – комплексный коэффициент приспособленности к применению в качестве топлива.

Ключевые слова: дизельное топливо, биодизель, бутанол, коэффициент приспособленности, эксплуатационные свойства, автомобильный транспорт.

COMPOSITION OPTIMIZATION OF BIOFUEL BLENDS FOR AUTOMOTIVE DIESELS

A.L. Penkin, E.A. Ruppel

*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Russia, 190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya St..*

The article examines the challenges of using biodiesel as a fuel for road transport. A method for evaluating the optimization of biofuel blend compositions is proposed, based on a comprehensive fuel suitability coefficient.

Keywords: diesel fuel, biodiesel, butanol, suitability coefficient, performance properties, road transport.

Введение.

Технологиям производства биотоплива, и, в частности, биодизеля отводится особое место в Энергетической стратегии РФ на период до 2050 года, создание или локализация производства которых необходимы на территории Российской Федерации до 2050 года [1]. В Климатической доктрине Российской Федерации среди задач федеральным органам государственной власти указано развитие экономических институтов и финансовых механизмов для внедрения технологий, способствующих снижению выбросов парниковых газов транспортом [2]. Применение биодизеля

в качестве топлива на автомобильном транспорте соответствует целям доктрины – их производство и потребление сопровождается меньшими удельными выбросами парникового углекислого газа [3].

Биодизельное топливо – метиловые эфиры жирных кислот (МЭЖК) являются альтернативой традиционному нефтяному дизельному топливу. Мировое производство биодизеля в 2025 году достигло 40 - 42 млн. тонн. Почти 80% этого объема используется автомобильным транспортом [4]. Лидер по производству – Индонезия, а по реализации – Европейский союз, где биодизель составляет около 7%

EDN EILRNL

¹Пенкин Алексей Леонидович – кандидат технических наук, доцент кафедры ТЭТС, тел.: +7 (905) 212-09-59, e-mail: apenkin2008@rambler.ru;

²Руппель Евгений Александрович – аспирант, заведующий учебной лабораторией, тел.: +7 (812) 575-02-00, e-mail: italian@yandex.ru.

от всего объема потребленного топлива дизельными двигателями.

В России рынок МЭЖК находится на начальном этапе развития – потребление транспортом фактически близко к нулю. В общедоступной продаже на АЗС биодизель отсутствует, а незначительные объемы используются в качестве экспериментальных проектов, большей частью, в сельском хозяйстве. Промышленное производство биодизеля, как топлива для транспорта, в России практически не ведется. Основной объем выпускаемых метиловых эфиров классифицируется как продукция химической промышленности или компоненты для смазочных материалов. Одна из причин этого – то, что Россия – крупнейший экспортер нефти, поэтому замена нефтяного дизельного топлива на более дорогой биодизель внутри страны сейчас экономически нецелесообразна. Решением этой проблемы может стать реализация задач Климатической доктрины и Энергетической стратегии в части стимулирования развития технологий производства и расширения применения биодизеля на автомобильном транспорте. Другим препятствием применения биодизеля на транспорте является не соответствие качества биодизельных смесей условиям эксплуатации. Решением здесь может быть оптимизация состава биотопливных смесей (БТС), на это нацелена выполняемая авторами задача.

Материалы и методы

При непосредственном сгорании биотоплив образуется меньше диоксида углерода, что обусловлено меньшей удельной массой углерода в его молекуле по сравнению с нефтяным дизелем, а также наличием кислорода в количестве около 10 % масс., что улучшает полноту сгорания и снижает выбросы несгоревших углеводородов и монооксида углерода, но может являться причиной оксидов азота из-за более высокой температуры сгорания [5]. Чтобы решить эту проблему в биодизельные смеси иногда вводят спирты, в основном этиловый или бутиловый. Из-за ещё большего количества кислорода (21-30 % масс.) и небольшого (допускается до 1% масс.) содержания воды в составе они обладают более высокой скрытой теплотой парообразования, что несколько снижает их энергетическую плотность и максимальную температуру сгорания, но приводит к повышению коэффициента наполнения двигателя, снижению выбросов оксидов азота и углекислого газа [6, 7, 8].

В условиях нашей страны биотопливо можно производить из рапсового, подсолнечного, рыжикового масла и других масличных культур. Наиболее доступным и сбалансированным по свойствам являются МЭЖК рапсового масла, широко используемые также в Европейских странах. МЭЖК допускаются к применению в составе товарного дизельного топлива по ГОСТ 32511-2013 в количестве не более 7 % об. Данный стандарт, по которому сейчас производится дизельное топливо в России, не оговаривает содержание кислородосодержащих добавок и присадок. Следовательно, их введение возможно при условии максимального сохранения прочих требований к свойствам топлива.

В работе проведены сравнительные лабораторные исследования свойств различных БТС. В качестве третьего компонента в БТС дизельного топлива с метиловыми эфирами рапсового масла был выбран нормальный бутиловый спирт (н-бутанол). Приготовленные смеси условно были обозначены как В7Вu8 (7% об. биодизеля и 8 % об. бутанола) и В7Вu3 (7% об. биодизеля и 3 % об. бутанола). Бутанол был выбран по причине наилучшей совместимости как с дизельным, так и биодизельным топливом, способностью образовывать устойчивые растворы, а не эмульсии, его относительной гидрофобности, более высоких, по сравнению с этанолом, цетанового числа (21 ед. против 8 ед.) и температуры вспышки (39 °С против 13 °С). Результаты лабораторных исследований приведены в таблице 1. Исследования были проведены с использованием приборов лаборатории эксплуатационных материалов Автомобильно-дорожного факультета СПбГАСУ (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Испытания БТС в лаборатории эксплуатационных материалов АДФ СПбГАСУ

Таблица 1 – Свойства исходных топлив и биотопливных смесей

Показатель	ДТ-Л сорт С	БиоДТ рапс	н-бутанол	В7Вu8	В7Вu3
Плотность при 15 °С, кг/м ³	832	883	813	833	840
Кинематическая вязкость при 40 °С, мм ² /с	2,86	4,83	2,25	2,91	3,05
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	62	176	41	54	56
Предельная температура фильтруемости, °С	-10	-9	-69	-11	-10
Цетановое число	53	55	18	51	52
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	42,6	36,2	33,5	41,2	42
Стехиометрический коэффициент, кг/кг	14,6	12,5	11,2	14,2	14,3
Содержание углерода, % масс.	87	76	65	84,5	85,5
Содержание кислорода, % масс.	0,004	10,5	21,6	2,47	1,39
Массовая доля серы, мг/кг	6	5	0	5,8	6
Массовая доля воды, мг/кг	80	420	3500	390	210
Содержание СО ₂ в ОГ, кг/кг	3,16	2,8	2,4	3,1	3,13
Стоимость производства 1 т, тыс.руб. (средние значения)	62,4	97,5	70	65,4	64,8

Поскольку биотоплива по своим свойствам отличаются от традиционных топлив, это может повлечь ухудшение эксплуатационных свойств при их использовании. В частности, более высокая плотность и вязкость биотоплив может препятствовать нормальной прокачиваемости и распыливаемости топлива в системе питания дизеля. В том числе для решения этой проблемы в топливную смесь был вовлечён бутанол, как обладающий более низкими значениями плотности и вязкости, и таким образом стабилизирующий данные показатели в полученных смесях.

Однако, из-за наличия в составе кислорода, данные смеси могут вызвать дополнительное окисление элементов системы питания и смазки. Что является относительно незаметным явлением по сравнению с более концентрированными БТС (20% об. и выше). Тем не менее оно способно значительно повлиять на свойства моторного масла из-за прорыва несгоревших газов в картер двигателя [9, 10, 11]. Которых, по причине лучшей полноты сгорания, теоретически должно быть меньше, но кислотность которых и способность влиять на ресурс масла, наоборот, выше, чем у чисто нефтяного дизеля. Эта тема недостаточно развита в имеющихся в открытом доступе исследованиях, поэтому требует дополнительного изучения.

Между тем влияние степени окисления и в целом ресурса моторного масла на долговечность двигателей нельзя переоценить, во многом это определяющий параметр, по которому судят о состоянии двигателя в целом. Поэтому при переходе на новые, альтернативные виды топлива и, в частности, БТС для анализа их применимости в двигателях и влияния на

показатели эксплуатации необходимо оценивать прежде всего их влияние на интенсивность старения моторного масла. Отмечается, что наибольшее влияние на деградацию моторного масла оказывает из всех параметров дизельного топлива содержание в нём серы [12]. Биодизельные топлива имеют в этом отношении преимущество, так как содержание серы в них без дополнительной очистки не превышает требований стандарта для дизельного топлива экологического класса К5 (10 мг/кг). Таким образом, можно выдвинуть гипотезу об их незначительном, по сравнению с нефтяным дизелем, влиянии на параметры моторного масла. Однако за недостатком исследований на эту тему, необходимо провести лабораторные и дорожные испытания, демонстрирующие это влияние.

Результаты и обсуждение

Предлагается в качестве предварительной оценки применимости альтернативных топлив использовать комплексный коэффициент приспособленности, совокупно отражающий степень изменения уровня эксплуатационных свойств исследуемого объекта по сравнению со свойствами исходного, эталонного объекта [13]. В данном случае за объекты оценки принимаются предложенные биотопливные смеси, а за объект сравнения традиционное дизельное топливо. Комплексный коэффициент приспособленности выглядит как функция, зависящая от частных показателей приспособленности (формула 1).

$$K_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot K_{\text{пр}i} \quad (1)$$

где λ_i - критерий уровня значимости i -го показателя приспособленности;

K_{pri} - коэффициент приспособленности по i -му показателю;

n – количество показателей приспособленности.

Указанный частный коэффициент приспособленности определяется как отношение параметра $P_{нест}$, полученного в нестандартных условиях эксплуатации (на БТС), к параметру $P_{ст}$ полученному в стандартных условиях (на нефтяном топливе) (формула 2).

$$K_{пр} = \frac{P_{нест}}{P_{ст}} \quad (2)$$

При этом для позитивных показателей, то есть таких, увеличение которых влечёт улучшение эксплуатационных свойств, по теории квалиметрии, берётся прямое отношение, согласно приведённой формуле 2, а для негативных, то есть влекущих ухудшение данных свойств, согласно обратной формуле, иными словами, в степени -1. При расчёте комплексного коэффициента приспособленности предлагается взять следующий перечень единичных показателей (таблица 2).

Таблица 2 – Единичные показатели качества БТС

Позитивные показатели	Негативные показатели
Температура вспышки	Плотность
Предельная температура фильтруемости	Кинематическая вязкость
Цетановое число	Массовая доля воды
Низшая теплота сгорания	Массовая доля серы
Стехиометрический коэффициент	Содержание углекислого газа в ОГ

Критерии же уровня значимости, или коэффициенты весомости можно рассчитать либо методом экспертных оценок, либо, что более предпочтительно, по методу предельных и номинальных значений [14]. Однако в нашем случае, для упрощения расчёта на предварительном этапе оценки мы присвоим им эмпирические экспертные значения. Результаты расчёта частных коэффициентов приспособленности приведены в таблице 3, критериев значимости и комплексных коэффициентов приспособленности в таблице 4.

Таблица 3 – Частные коэффициенты приспособленности БТС

Показатель	ДТ-Л сорт С	БиоДТ рапс	В7Bu8	В7Bu3
Плотность при 15 °С	1	0,94	1,00	0,99
Кинематическая вязкость при 40 °С	1	0,59	0,98	0,94
Температура вспышки в закрытом тигле	1	2,84	0,87	0,90
Предельная температура фильтруемости	1	0,90	1,10	1,00
Цетановое число	1	1,04	0,96	0,98
Низшая теплота сгорания	1	0,85	0,97	0,99
Стехиометрический коэффициент	1	0,86	0,97	0,98
Массовая доля серы	1	1,20	1,03	1,00
Массовая доля воды	1	0,19	0,21	0,38
Содержание CO ₂ в ОГ	1	1,13	1,02	1,01

Таблица 4 – Уровни значимости параметров и комплексные коэффициенты приспособленности БТС

Показатель	Уровень значимости	вес n-го показателя	БиоДТ рапс	В7Bu8	В7Bu3
Плотность при 15 °С	6	0,12	0,11	0,12	0,12
Кинематическая вязкость при 40 °С	8	0,16	0,09	0,16	0,15
Температура вспышки в закрытом тигле	1	0,02	0,06	0,02	0,02
Предельная температура фильтруемости	5	0,10	0,09	0,11	0,10
Цетановое число	4	0,08	0,08	0,08	0,08
Низшая теплота сгорания	5	0,10	0,08	0,10	0,10
Стехиометрический коэффициент	6	0,12	0,10	0,12	0,12
Массовая доля серы	4	0,08	0,10	0,08	0,08
Массовая доля воды	6	0,12	0,02	0,02	0,05
Содержание CO ₂ в ОГ	5	0,10	0,11	0,10	0,10
Коэффициент приспособленности	50 (сумма)	1,00	0,86	0,90	0,91

В результате расчётов уровня приспособленности БТС к использованию в автомобильных двигателях получены комплексные

коэффициенты приспособленности. Они позволяют сделать вывод о том, что добавление н-

бутанола повышает уровень эксплуатационных свойств топлива относительно чистого биотоплива. Измеренные и полученные расчётным путём значения свойств БТС (таблица 1) показывают, что исследованные БТС по уровню свойств максимально приближены к свойствам нефтяного топлива, выходя из требований ГОСТ к нему только в отношении массовой доли воды, что для смеси В7Вu3 не носит принципиального характера. Это позволяет использовать данную смесь в качестве товарного топлива в автомобильных двигателях без каких-либо вмешательств в конструкцию.

Заключение

Расширение применения биодизеля в качестве топлива на автомобильном транспорте России сегодня возможно при обеспечении экономической целесообразности и соответствии качества биодизельных смесей условиям эксплуатации. Если первое может быть достигнуто при реализации задач Климатической доктрины и Энергетической стратегии, то для второго необходима оптимизация состава биотопливных смесей. Для этого авторами предложен комплексный коэффициент приспособленности БТС к применению в качестве топлива. Полученные зависимости и итоговые коэффициенты могут помочь при комплексной оценке уровня эксплуатационных свойств автомобильных двигателей при переходе на БТС разного состава. Они могут быть дополнены и усовершенствованы для более достоверной и полной оценки. Дальнейшее планируемое развитие работы – анализ влияния типа выбранного топлива на показатели старения моторного масла, как индикатор технического состояния двигателя. Результаты этого исследования будут включены в расчёт комплексного коэффициента приспособленности.

Литература

1. Энергетическая стратегия РФ на период до 2050 года (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 12 апреля 2025 г. № 908-р)
2. Климатическая доктрина Российской Федерации (утверждена Указом Президента от 26.10.2023 № 812)
3. Марков, В. А. Сравнительная оценка альтернативных топлив для дизельных двигателей / В. А. Марков, Е. В. Бебенин, Е. Ф. Поздняков // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – № 5(35). – С. 24-29.
4. Динамика производства биодизельного топлива и методы его получения / Д. Н. Исаматова, О. Ю. Исмаилов, Р. А. Юсупов, З. Саттаров // Universum:

технические науки. – 2025. – № 3-5(132). – С. 38-41. – DOI 10.32743/UniTech.2025.132.3.19555.

5. Medhat Elkelawy, Ali Kamel Abdel-Rahman, Ahmed Abou-Elyazied, Saad Mostafa El-malla. Experimental investigation of the effects of using biofuel blends with conventional diesel on the performance, combustion, and emission characteristics of an industrial burner // Egyptian Sugar Journal December 2022. DOI: 10.21608/esugj.2022.158636.1020.
6. Shumani Ramuhaheli, Christopher Enweremadu. Comparative Experimental Study on the Effects of Biodiesel Mixture with Ethanol and Butanol Blends on Performance and Emission Characteristics of a Diesel Engine Generator // Environmental and Climate Technologies 2025, vol. 29, no. 1. DOI: 10.2478/rtuetct-2025-0024.
7. Rickwinder Singh, Sandeep Singh, Mukesh Kumar. Impact of n-butanol as an additive with eucalyptus biodiesel-diesel blends on the performance and emission parameters of the diesel engine. // Fuel volume 277, October 2020. DOI: 10.1016/j.fuel.2020.118178.
8. LABECKAS, G., SLAVINSKAS, S., MICKEVIČIUS, T. Experimental investigation of biodiesel-n-butanol fuels blends on performance and emissions in a diesel engine. Combustion Engines. 0000, XXX(X), xx-xx. DOI:10.19206/CE-142030
9. Гринченко, К. В. Изменение свойств моторного масла при попадании топлива / К. В. Гринченко, С. В. Корнеев, Р. В. Буравкин // Динамика систем, механизмов и машин. – 2016. – № 1. – С. 158-163.
10. Абашкин, Р. И. Изменение моторного масла в процессе эксплуатации в двигателях внутреннего сгорания / Р. И. Абашкин, А. В. Алехин // Наука и Образование. – 2022. – Т. 5, № 2.
11. Суслов, К. С. Изменения технического состояния моторных масел и двигателей внутреннего сгорания в процессе эксплуатации / К. С. Суслов, А. Ю. Кононов, В. Н. Ретюнских // Новые технологии в учебном процессе и производств : Материалы XXIII научно-технической конференции с международным участием, Рязань, 16–18 апреля 2025 года. – Рязань: Московский политехнический университет, 2025. – С. 239-244.
12. Влияние качества дизельного топлива на работу двигателя / С. В. Корнеев, С. В. Пашукевич, Д. С. Рыбальский [и др.] // Омский научный вестник. – 2017. – № 2(152). – С. 13-16.
13. Руппель, Е. А. Оценка приспособленности транспортных средств к эксплуатации на биоэтанольных смесях / Е. А. Руппель, А. Л. Пенкин // Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: Сборник научных трудов по материалам 83-й международной научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 28–30 января 2025 года. – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2025. – С. 78-84.
14. Квалиметрия и управление качеством. 4.1. Квалиметрия: учеб. пособие / А.Н.Чекмарев. - Самара: Изд-во Самар, гос. аэрокосм, ун-та, 2010. - 172 с.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ БРИГАД АВТОСЛЕСАРЕЙ КАК ПОЛИСИСТЕМ СО СТРУКТУРНО-ВРЕМЕННЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

В.А. Трубицын¹, Е.В. Филинова², В.А. Ульянов³

^{1,3}Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Россия, 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, 64;

²ИП «Е.В. Филинова, Россия, 355035, г. Ставрополь, проспект Маршала Жукова, 2.

В статье изложены вопросы повышения эффективности бригад автослесарей, выполняющих техническое обслуживание и ремонт автомобилей, с использованием структурно - временного резервирования. Предложено усиление контроля за качеством работ со стороны бригадира бригады, его участие в устранении ошибок, допущенных автослесарями. Определены закономерности изменения вероятности безошибочной работы бригады автослесарей как полисистемы от уровня участия бригадира в контроле и резервировании. На примере бригады ТО – 1 проведено моделирование деятельности бригады и получены результаты, подтверждающие эффективность функционально – временного резервирования бригад *работ*.

Ключевые слова: автослесарь, бригада, резервирование, бригадир, надежность деятельности, ошибка, безошибочность, готовность.

EFFECTIVENESS OF AUTO-SERVICE BRIGADES AS POLYSYSTEMS WITH STRUCTURAL AND TEMPORARY RESERVING

V.A. Trubitsyn, E.V. Filinova, V.A. Ulyanov

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University , 64 Leningradsky Prospekt, Moscow, 125319, Russia;

IP "E.V. Filinova, Russia, 355035, Stavropol, Marshal Zhukov Avenue, 2.

The article discusses the issues of increasing the efficiency of auto repair teams performing vehicle maintenance and repair using structural and temporal reservation. It proposes strengthening the quality control by the team leader and their participation in correcting errors made by the auto repair team. The article identifies the patterns of changes in the probability of error-free operation of the auto repair team as a poly-system, depending on the level of participation of the team leader in control and reservation. Using the example of the TO-1 team, the article simulates the team's activities and presents the results that confirm the effectiveness of functional and temporal reservation of teams of workers.

Keywords: auto mechanic, team, reservation, foreman, reliability, error, error-free, readiness.

Введение

Кадровый состав средних станций технического обслуживания автомобилей имеет более 42 % автослесарей, а в комплексных автотранспортных предприятиях их доля составляет около 23 %. Для автослесарей организованы посты обслуживания и ремонта автомобилей и отделения по ремонту и восстановлению агрегатов и узлов. В большинстве автопредприятий автослесари организованы в бригады, которые, обладая определенным профессиональным потенциалом, реализуют технологии обслуживания и ремонта транспортных

средств. Однако роль бригады и возможности резервирования для повышения надежности групповой деятельности не полностью изучены и, вследствие этого, недостаточно используются для обеспечения качества работы и эффективности систем обслуживания и ремонта автомобилей. Анализ работы бригад на автобусных предприятиях показал, что акцент внимания специалистов технических служб смещен в сторону индивидуальных оценок рабочих. При этом системы стимулирования труда построены с учетом этих оценок и не содержат стимулов за качество выполнения бри-

EDN FOZFOD

¹Трубицын Владимир Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации автомобильного транспорта и автосервиса, тел.: +7(925) 320-66-75, e – mail: tva_va@mail.ru;

²Филинова Елена Владимировна - кандидат экономических наук, консультант по бизнес – планированию, резервированию инвестиций, тел.: +7(909) 774-44-23, e – mail: elena_filinova@mail.ru;

³Ульянов Владислав Алексеевич - студент 5-го курса по спец. «Наземные транспортно-технологические средства», тел.: +7(987) 458-44-87, e – mail: vladsalat2015@bk.ru.

гадных целевых заданий. Кроме того, недостаточно используется опыт бригадира как контролера качества выполненных работ и как основного специалиста для резервирования бригады при исправлении ошибок, допущенных автослесарями.

В настоящее время задачи обеспечения эффективности работы бригад автослесарей стали особенно востребованными из-за усложнения конструкций автомобилей, применения новых моделей диагностического и технологического оборудования, повышения требований к соблюдению норм и технических условий при обслуживании и ремонте транспортных средств.

Бригады в системах технического обслуживания (ТО) и ремонта (Р) автомобилей в сочетании с инструментом и оборудованием образуют системы «человек-машина» (СЧМ). При этом бригады рабочих можно отнести к классу полисистем, в состав которых входит группа людей, использующих технические устройства. Автор [1, с.323] предлагает одну из возможных схем контроля со скользящим резервированием, в которой контролирующий оператор наблюдает за действиями N операторов. «В случае ошибки в работе кого – либо из них контролирующий оператор с вероятностью P_r исправляет ее».

Для бригады автослесарей как сложной и динамической системы такое резервирование может быть применено, но с учетом специфики работы и ее особенностей, такими как: множественность связей между рабочими, между рабочими и техническими устройствами; способность к восстановлению упорядоченности (уменьшению неопределенности) после воздействия неблагоприятных факторов (например, уход из бригады отдельных специалистов, неисправности оборудования и др.). Каждая бригада имеет свое целевое задание. Для бригад ТО-1 и ТО-2 целевое задание может быть выражено количеством этих воздействий при высоком уровне безошибочности. Для бригады текущего ремонта – безошибочность восстановления или замены агрегатов в установленное нормативное время. В этих условиях особенно важным является вопрос организации контроля качества работ со стороны наиболее опытных специалистов. Поэтому усиление роли бригадиров в контроле качества работ исполнителей процессов обслуживания и ремонта автомобилей и резервировании для исправления ошибок автослесарей

может быть одним из эффективных управленческих решений.

В таких науках как эргономика, инженерная психология [1, 3, 4], основное внимание фокусируется на системах «человек – машина» (СЧМ), где с позиций надежности определяется вероятность безошибочного выполнения задания, в экономических науках и управлении персоналом приоритетом являются организационные вопросы [6, 10, 13, 15], в социальной психологии [3] акцент делается на психологические аспекты формирования бригад. Достижения в указанных науках дают возможность с учетом специфики производственных процессов обслуживания и ремонта автомобилей определить перспективные направления для повышения эффективности бригад автослесарей за счет использования показателей надежности их деятельности, усиления контроля качества работ со стороны бригадиров. Очевидно, что на каждом автопредприятии необходима разработка системы таких показателей, которые можно было бы определять, обрабатывать и использовать для оценки деятельности и отдельных автослесарей, и бригады в целом.

Материал и методы

Бригады в системах ТО и Р автомобилей представляют собой основные производственные единицы, так как именно они реализуют технологии по поддержанию транспортных средств в исправном состоянии. В то же время бригады являются эргатическими, адаптивными полисистемами, деятельность которых может улучшаться как за счет технических средств (инструмента и оборудования), так и за счет человеческого фактора (контроля за работой автослесарей, исправления ошибок, стимулирования и др.). Авторы [5, 7, 9, 12] при исследовании делают акцент на фактор контроля надежности деятельности человека-оператора. Ряд исследователей [2, 8, 11] обосновывают необходимость резервирования технических систем как инструмента повышения их надежности и эффективности. Действительно, для технических систем вопросы резервирования достаточно хорошо разработаны в теории надежности, особое внимание при этом обращается на резервирование замещением, скользящее резервирование при последовательном и параллельном соединении элементов. Однако для систем с участием человека, таких как коллективы операторов, бригады рабочих, строителей, и др. резервированию уделяется недостаточное внимание.

Целью настоящей работы является повышение надежности деятельности бригад автослесарей на основе введения в работу структурно – временного резервирования. Эту функцию предлагается возложить на бригадира как наиболее опытного специалиста, способного осуществлять контроль за безошибочностью выполнения операций и оказывать необходимую помощь автослесарям по устранению допущенных ошибок. Необходимость введения контрольных функций безошибочности выполнения технологий со стороны бригадира обусловлена тем, что на практике автослесари часто допускают ошибки. Так в ходе экспериментального исследования технологического процесса ТО - 1 на двух московских автобусных предприятиях было установлено, что спе-

циалистами отдела технического контроля обнаруживается в среднем 3,65 ошибок (13 %), которые фиксируются в актах технического состояния, а затем устраняются автослесарями. Анализ актов технического состояния транспортных средств также позволил установить, что обнаружение ошибок осуществляется органолептическими методами с ограниченным применением средств инструментального контроля. Очевидно, что применение средств инструментального контроля необходимо, особенно в случаях, когда органолептические методы не дают возможности обнаружить скрытые ошибки и неисправности.

На рисунке 1 представлена схема функционирования бригады автослесарей как полисистемы со скользящим резервированием.

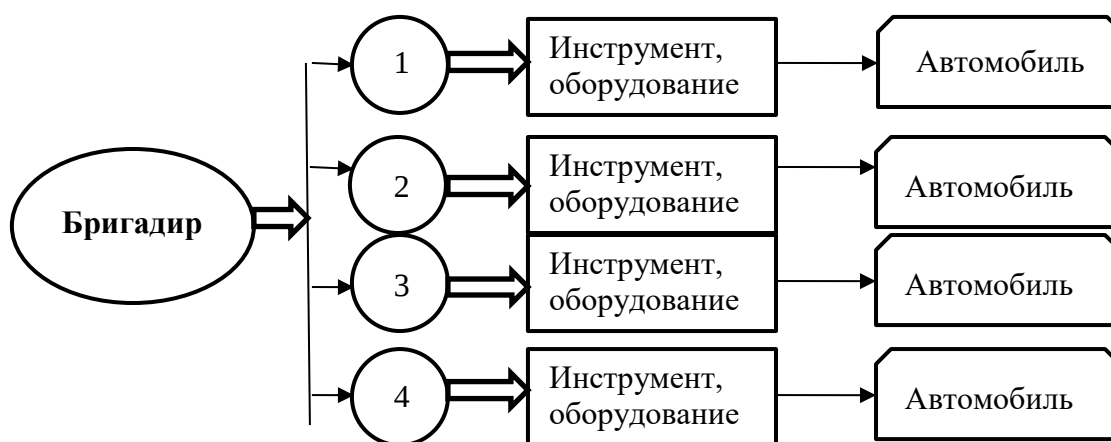


Рисунок 1 – Схема работы бригады автослесарей на параллельных постах со структурно-временным скользящим резервированием (1, 2, 3, 4 – автослесари)

Обработка экспериментальных данных показала, что количество допущенных ошибок распределено по нормальному закону с параметрами: математическое ожидание числа ошибок $m_0 = 3,65$; дисперсия $D(m_0) = 0,372$; среднеквадратичное отклонение $\delta = 0,61$; коэффициент вариации $v = 0,17$.

Автослесари работают на параллельных постах. В случае, когда кто-то из них при выполнении ТО – 1 допускает ошибку, бригадир включается в работу по устранению ошибки, а автослесарь в это время помогает бригадиру и одновременно учится правильному выполнению технологии. После устранения ошибки бригадир при необходимости может оказывать помощь следующему автослесарю. Таким образом, некоторое время расходуется бригадиром на устранение ошибок, то есть происходит скользящее структурно – временное резервирование замещением. Если бригадир будет лишь частично вовлечен в процесс резервирования, то в этом случае следует считать, что только часть бригады обеспечена

резервированием, а другая часть будет выполнять работу со средней для автослесарей вероятностью безошибочной работы.

Бригадир как контролер может осуществлять контроль и оказывать помощь автослесарям, допускающим ошибки, в том случае, когда эти функции будут отражены в его должностной инструкции и в системе стимулирования будут предусмотрены соответствующие поощрения.

Теория / расчет

Определение параметров надежности бригады автослесарей с учетом контроля деятельности и резервирования может осуществляться с помощью формул, применяемых в теории надежности для технических систем [8]. Общим признаком систем является дискретность появления событий: 1) безошибочное выполнение операции (успешность); 2) выполнение операции с ошибкой (неуспешность). При этом вероятности событий подчиняются биномиальному распределению и

определяются с применением уравнений Бернулли. В то же время использование понятий и формул теории надежности для эргатических систем требует учета особенностей роли человека в системе. Так для бригады автослесарей одним из основных параметров, оценивающих качество работы, является вероятность безошибочного выполнения технологии, в том числе с учетом резервирования. При этом определение численного значения этого параметра для бригады существенно отличается от его вычисления при резервировании технических систем, так как бригадир может осуществлять резервирование (контроль и устранение ошибок автослесарей) с некоторой вероятностью P_p , которую необходимо учитывать в формулах. Так, для автослесарей, осуществляющих в составе бригады техническое обслуживание и ремонт автомобилей и его элементов, при целевой установке на безошибочность, вероятность безошибочного выполнения бригадой задания по ТО - 1 со структурно-временным резервированием $P_{бс}$ может быть определена по формуле:

$$P_{бс} = P_p \cdot \sum_{i=0}^m \frac{R^i}{(R-i)! \cdot i!} \cdot P_{бп}^i \cdot (1 - P_{бп})^{R-i} + (1 - P_p) \cdot P_{ба} \quad (1)$$

где P_p – вероятность резервирования (включения в устранение ошибок) бригадиром автослесарей;

$P_{бп}$ – вероятность безошибочной работы бригадира;

$P_{ба}$ – вероятность безошибочной работы автослесарей;

R – количество автослесарей в бригаде;
 i – количество резервных специалистов;

m – максимально возможное число автослесарей, допускающих ошибки, но не приводящее к отказу системы (бригады).

Эффект структурно-временного резервирования может быть определен на основе сравнения вариантов работы бригад без резервирования и с резервированием с учетом затрат на устранение отказов и затрат на резервирование по указанным вариантам по формуле:

$$\mathcal{E}p = C_{yo} - (C_{yp} + C_p), \quad (2)$$

где $\mathcal{E}p$ – эффект резервирования за счет бригадира автослесарей, тыс. руб.;

C_{yo} – затраты на устранения отказов, возникших из-за ошибок автослесарей, без резервирования тыс. руб.;

C_{yp} – затраты на устранение отказов, допущенных автослесарями с учетом резервирования, тыс. руб.;

C_p – затраты на резервирование бригады автослесарей за счет подключения бригадира, тыс. руб.

С учетом преобразований формула определения экономического эффекта $\mathcal{E}p$ примет следующий вид:

$$\mathcal{E}p = N_o \cdot d \cdot \{ [R \cdot (1 - P_{ба}) \cdot C_{э} + (t_{yo} + t_{б}) \cdot g_a] - [R \cdot (1 - P_{бс}) \cdot C_{э} + (t_{yo} + t_{б}) \cdot g_a] \} - [t_p \cdot (g_{бп} + g_{об} + g_k)] \cdot P_p \quad (3)$$

где N_o – количество операций в технологическом процессе;

d – доля ошибок автослесарей, приводящих к отказу автомобиля;

R – количество автослесарей в бригаде;

$P_{ба}$ – вероятность безошибочной работы автослесарей без резервирования;

t_{yo} – среднее время устранения отказа автобуса, час;

$t_{б}$ – среднее время буксировки автобуса с линии, час;

$g_a, g_{бп}$ – часовые тарифные ставки с начислениями соответственно автослесаря и бригадира, тыс. руб./час;

$C_{э}$ – средняя стоимость заменяемого элемента, тыс. руб.;

t_p – продолжительность технологического процесса, час;

$g_{об}$ – затраты на обучение бригадира технологиям контроля и резервирования в пересчете на один час работы, тыс. руб.;

g_k – затраты на приобретение инструмента и контрольных устройств для бригадира в пересчете на один час работы, тыс. руб.

С использованием формул (1) и (3) было проведено моделирование выполнения технологического процесса ТО-1 автобусов. Изменялась вероятность резервирования P_p выполнения процесса ТО-1 бригадиром бригады, определялась вероятность безошибочной работы бригады автослесарей $P_{бс}$ и экономический эффект.

При этом были приняты следующие допущения:

- автослесари имеют одинаковый разряд, что делает их равнозначными элементами полисистемы (бригады);

- инструмент и оборудование приняты как высоконадежные элементы полисистемы, что в целом обосновывается тем, что осмотровые каналы и подъемники достаточно надежны на длительном промежутке времени, инструмент при отказе быстро заменяется;

- бригадир может включаться в работу, если хотя бы один автослесарь допустил ошибку, при этом включение бригадира может быть частичным (при $P_p < 1$), но в этом случае охвачена резервированием будет лишь часть бригады;

- принято, что вероятность функционального отказа бригады наступает при 2-х автослесарях, допустивших ошибки.

Условиями для проведения моделирования были выбраны параметры, которые достаточно устойчиво проявлялись в практической деятельности автослесарей автобусных предприятий. Так, моделировалась деятельность бригады из 4 человек, работающих на 4 постах ТО-1 под руководством бригадира. При этом вероятность безошибочного выполнения работы автослесарем без резервирования $Pб =$

0,87 (по результатам эксперимента); вероятность исправления ошибки бригадиром $Pбр = 0,98$ (по результатам эксперимента). Другие параметры: $N = 29$, $R = 4$ чел., $d = 0,24$; $tyo = 1,2$ час; $tб = 2$ час; $ga = 0,76$ тыс. руб.; $tp = 5$ час; $gбр = 0,82$ тыс. руб.; $Cэ = 12$ тыс. руб.; $gоб = 0,02$ тыс. руб.; $gк = 0,144$ тыс. руб.

Результаты моделирования приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Изменения экономического эффекта от уровня резервирования бригады автослесарей при выполнении ТО – 1 автобусов

Pp	Показатели деятельности бригады				
	$Pбс$	$Суо$, тыс. руб.	$Сур$, тыс. руб.	$Сп$, тыс. руб.	$Эр$, тыс.руб.
$Pp = 0$	$Pбс = 0,870$	60,34	60,34	0,0	0,0
$Pp = 0,2$	$Pбс = 0,892$	60,34	54,36	1,02	4,97
$Pp = 0,4$	$Pср = 0,914$	60,34	46,98	2,05	11,31
$Pp = 0,6$	$Pбс = 0,936$	60,34	39,60	3,07	17,67
$Pp = 0,8$	$Pср = 0,958$	60,34	32,29	4,10	23,95
$Pp = 1,0$	$Pбс = 0,980$	60,34	24,92	5,12	30,31

Анализ данных моделирования показывает, что эффект резервирования начинает проявляться уже на начальном этапе. Так при $Pp = 0,2$ он составляет 4,97 тыс. руб. за пять часов выполнения четырех ТО - 1 на параллельных постах (более 1,2 млн. руб. в год). Если бригадир полностью включен в процесс резервирования $Pp = 1,0$, то достигается максимальный эффект равный более 30 тыс. руб. за указанный период (около 8,0 млн. руб. в год). При этом эффект резервирования активно проявляется тогда, когда бригадир не реализует функции как отдельный исполнитель работ, а работает только как контролер с исполнением технологий по устранению ошибок, допущенных автослесарями, повышая тем самым общую надежность бригады по уровню безошибочности.

Результаты и обсуждение

В настоящее время резервирование как метод повышения надежности активно используется для технических систем и незначительно для СЧМ. Тем ценнее работа авторов [15, с.101], которые рассматривая вопросы организации работы водителей на руднике при перевозке руды, считают важным иметь резерв водителей как инструмент повышения вероятности безошибочной работы группы, включающей в себя основного и резервного водителей. Проведенные ими исследования показали, что при равенстве интенсивности ошибок этих водителей общая вероятность безошибочной работы на установившемся периоде деятельности по величине приближается к единице. Авторы рекомендуют проводить структурное и временное резервирование, а также иметь на

предприятии базу данных параметров надежности производственного персонала для ее использования при формировании групп исполнителей, чтобы обеспечить высокое качество работ.

В работе [16, с. 240] авторы при проведении исследований на автоцентре «ГАЗ» установили, что «35 -39 % операций выполнены с нарушением технологии» и рекомендуют меры по усилению контроля за деятельностью автослесарей, оснащение их инструментом, предотвращение пропуска операций.

В указанных работах резервирование и объективный контроль деятельности производственного персонала признаются как эффективные меры повышения качества работ. С учетом рекомендаций названных исследователей, теоретических положений теории надежности и инженерной психологии в настоящей статье изложены вопросы повышения эффективности работы бригад автослесарей.

Выводы

Исследование и моделирование деятельности бригад автослесарей показало, что имеется возможность повышения качества работы автослесарей за счет резервирования их деятельности путем использования профессионального опыта наиболее подготовленных и мотивированных работников, таких как бригадир.

Повышение безошибочности выполнения технологий и эффективности бригады автослесарей предлагается осуществлять за счет структурно – временного резервирования с усилением роли бригадира, которому доверить проведение контроля и оказание помощи автослесарям в устранении допущенных ошибок.

При этом для бригадира определить стимулирующие показатели, учитывающие безошибочную работу членов бригады.

В качестве основных показателей деятельности бригады целесообразно принять: вероятность безошибочной работы бригады автослесарей при выполнении целевого задания; экономический эффект от резервирования. Расчет указанных показателей возможно осуществлять силами специалистов центра управления производством и производственно – технического отдела, которые в ежедневном режиме фиксировали бы указанные показатели и ежемесячно направляли их для определения премий автослесарям бригады.

Важным фактором также является оснащение бригады современными видами инструмента и оборудования с встроенными контрольными приборами, с помощью которых можно было бы определять ошибки исполнителей и неисправности узлов и агрегатов автомобиля, прошедших техническое обслуживание.

Литература

1. Смирнов Б.А., Гулый Ю.И., Харченко А.А. Эргономическая оценка систем «человек-машина». – Х.: Изд-во «Гуманитарный центр», 2014. – 404 с.
2. Зорин В.А., Павлов А.П. Курс лекций по дисциплине «Теоретические основы ремонта транспортно-технологических машин» / В.А. Зорин, А.П. Павлов. – М.: МАДИ, 2014. – 184 с.
3. Краснов А.В. Социальная психология: психология малых групп [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.В. Краснов; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2020. – 1,24 Мб; 88 с. Режим доступа: http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnic_posobiya/krasnov-socialnaya-psixologiya-psixologiya-malix-grupp.pdf.
4. Талашманова К.А. К проблеме понимания профессиональной надежности субъекта/ Журнал «Человеческий капитал», № 3 (135), 2020. – с. 239-244.
5. Трубицын В.А. Моделирование системы ТО и Р автомобилей с учетом влияния надежности деятельности автослесарей / В.А. Трубицын // Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: сб. науч. тр. по материалам 83 – ой научно – методической и научно – исследовательской конференции МАДИ. – М.: МАДИ, 2025. – с. 37 – 41.
6. Терентьева О.А. Исследование показателей надежности многокомпонентной эргатической системы с учетом надежности человека – оператора // Журнал «Математические структуры и моделирование», 2024. № 2 (70). – с. 113-118.
7. Курганов В.М., Грязнов М.В. Структурное резервирование на автомобильном транспорте. Мир транспорта. 2014; (5): – с.6 – 15.
8. Александровская Л.Н., Афанасьев А.П. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем: Учебник. – М.: Логос, 2003. – 208 с.
9. Крюков О.В. Методология резервирования объектов электроэнергетики с целью повышения их надежности // Журнал «Электроцех». 2023. № 8, с. 27 – 38.
10. Агеев А.М., Буков В.Н. Эффективность резервирования избыточной системы посредством супервизоров конфигураций // Надежность и качество сложных систем. 2022. № 1, с. 67 – 82. doi:10.21685/2307 – 2022-1-8
11. Гельфман Т.Э., Пирхавка А.П. Оценка эффективности скользящего резервирования радиоэлектронных средств. Russ. Technol. J. 2023; 11(5) 45 – 53. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2023-11-5-45-53>.
12. Дидманидзе О.Н., Трубицын В.А. Эффективность контроля безошибочности деятельности автослесарей при выполнении обслуживания и ремонта автомобилей // Научный информационный сборник ВИНТИ РАН. Транспорт: наука, техника, управление. 2025. № 9. – с. 7 – 10. DOI: 10.36535/0236-1914-2025-09-2.
13. Трубицын В.А. Закономерности групповой деятельности бригад производственных рабочих автопредприятий / Трубицын В.А. // Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: сб. науч. тр. по материалам 82 – ой научно – методической и научно – исследовательской конференции МАДИ. – М.: МАДИ, 2024. – с. 170 – 174.
14. Крылов Г.А., Поживилов Н.В. Определение нормы расхода запасных частей для планово-предупредительного ремонта подвижного состава автотранспортного предприятия // Научно-технический журнал «Мир транспорта и технологических машин» № 4-3 (87), 2024. – с. 75-79.
15. Магеря Л.Ф., Владимиров В.Н., Бадалов В.В. Расчетные методы оценки совместной надежности основного и резервного персонала // Журнал: Техника – технологические проблемы сервиса, № 1 (11), 2010. – с. 97 – 102.
16. Мальцев Д.В., Репецкий Д.С. Контроль производственного персонала при выполнении работ технического обслуживания автомобилей. Мир транспорта. 2020; 18 (6): 238 – 247. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-6-238-247>

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УТИЛИЗАЦИИ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ МЕТАЛЛОВ

А.А. Баженов¹, А.В. Чудаков²

Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II, Россия, 199106, г Санкт-Петербург, 21-я линия Васильевского острова, 2-4/45Г.

В статье предложен комплекс теоретических моделей, формирующих методологическую основу для преодоления указанных ограничений. Научная новизна заключается в системной формализации задачи рециклинга ЛИА как проблемы управления гетерогенными материальными потоками и разработке трёх взаимосвязанных теоретических конструктов: 1) модели многокритериальной оптимизации для классификации и маршрутизации объектов утилизации; 2) модели термодинамического управления фазовыми превращениями в пирометаллургическом переделе; 3) динамической имитационной модели оценки жизненного цикла на основе системной динамики. Результатом работы является не конкретное технологическое решение, а теоретический фундамент для генерации таких решений, обеспечивающий повышение системной эффективности рециклинга за счёт априорной оптимизации управляющих воздействий.

Ключевые слова: литий-ионные аккумуляторы, утилизация, рециклинг, гидрометаллургия, пирометаллургия, кобальт, литий, электромобили, экономическая оценка, циклическая экономика, термодинамическое моделирование, теория систем, динамическая оценка жизненного цикла.

THEORETICAL STUDY OF THE RECYCLING PROCESS OF LITHIUM-ION BATTERIES OF ELECTRIC VEHICLES IN ORDER TO INCREASE THE EFFICIENCY OF EXTRACTION OF STRATEGIC METALS

A.A. Bazhenov, A.V. Chudakov

St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Russia, 199106, St. Petersburg, 21st line of Vasilievsky Island, 2-4/45G.

The article offers a set of theoretical models that form a methodological basis for overcoming these limitations. The scientific novelty lies in the systematic formalization of the problem of recycling waste as a problem of managing heterogeneous material flows and the development of three interrelated theoretical constructs.: 1) models of multi-criteria optimization for classification and routing of recycling facilities; 2) models of thermodynamic control of phase transformations in pyrometallurgical conversion; 3) dynamic simulation model of life cycle assessment based on system dynamics. The result of the work is not a specific technological solution, but a theoretical foundation for generating such solutions, ensuring an increase in the system efficiency of recycling due to a priori optimization of control actions.

Keywords: lithium-ion batteries, recycling, recycling, hydrometallurgy, pyrometallurgy, cobalt, lithium, electric vehicles, economic assessment, cyclical economy, thermodynamic modeling, systems theory, dynamic life cycle assessment.

Введение

Глобальная электрификация транспорта, сопровождающаяся экспоненциальным ростом парка электромобилей, сформировала новый класс техногенных вызовов, центральным из которых является проблема обращения с отработавшими литий-ионными аккумуляторами (ЛИА) [1, 3, 6]. Прогнозируемые объёмы

данного типа отходов, достигающие миллионов тонн в год в ближайшем десятилетии, трансформируют его из узкоэкологической проблемы в комплексную задачу, лежащую на пересечении материаловедения, экономики ресурсов и национальной безопасности [2, 4, 5]. Дуализм ЛИА как объекта – сочетание опасных свойств и высокой концентрации стратегических металлов (лития, кобальта, никеля) –

EDN FPZUTU

¹Баженов Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: z4m62@yandex.ru;

²Чудаков Алексей Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, e-mail: 9213864343@mail.ru.

требует принципиально новых подходов к его переработке, выходящих за рамки простой утилизации и ориентированных на создание замкнутых материальных циклов [7, 14, 25]. Для стран, испытывающих дефицит в данных видах сырья, разработка эффективной системы рециклинга становится императивом технологического суверенитета [17, 18, 26].

Критический анализ существующих промышленных методов – пирометаллургии и гидрометаллургии – позволяет выявить не столько их технологические недостатки, сколько фундаментальные системные ограничения, проистекающие из самой природы данных процессов [19, 20]. Пирометаллургия, основанная на высокотемпературном восстановлении, демонстрирует высокую робастность к вариациям входного сырья, но принципиально неселективна по отношению к литью, переводя его в химически инертные шлаковые фазы [22-24]. Гидрометаллургия, напротив, обладает высокой селективностью, но критически зависит от однородности и предсказуемости состава перерабатываемого материала, что делает её уязвимой к гетерогенности реальных потоков отходов [8, 10, 12]. Таким образом, возникает системный парадокс, при котором универсальность и эффективность по целевому компоненту оказываются взаимоисключающими свойствами в рамках единого, жестко детерминированного технологического процесса.

Разрешение данного парадокса, как представляется, лежит не в плоскости эволюционного совершенствования отдельных операций, а в переходе к новой парадигме, основанной на принципах адаптивного управления сложной системой. Это требует разработки соответствующего теоретико-методологического аппарата. Целью настоящего теоретического исследования является построение комплекса концептуальных моделей, формализующих процесс рециклинга ЛИА как задачу оптимизации управления гетерогенными, динамическими и стохастическими материальными потоками. В рамках достижения поставленной цели решаются следующие задачи: 1) проведение системного анализа ограничений традиционных методов и обоснование необходимости перехода к адаптивным системам; 2) разработка принципов и структуры модели многокритериальной классификации объектов утилизации; 3) формулировка теоретических основ модели управления фазовым составом

промежуточных продуктов; 4) построение концепции динамической имитационной модели для оценки стратегической устойчивости системы рециклинга.

1. Системный анализ ограничений традиционных методов как основа для теоретической формализации проблемы

Любой технологический процесс рециклинга можно рассматривать в качестве оператора, преобразующего входной поток сырья в набор выходных продуктов. Эффективность такого оператора традиционно оценивается через его селективность и полноту извлечения. Однако для работы с гетерогенными потоками более релевантными становятся такие характеристики, как робастность (устойчивость к вариациям входных данных) и гибкость (способность к перенастройке).

Пирометаллургический оператор обладает максимальной робастностью, действуя по принципу «силового» разделения, основанного на различиях в температурах плавления и сродстве к кислороду. Однако этот оператор по отношению к литью является, по сути, энтропийным, приводящим к его диспергированию и стабилизации в сложных силикатных матрицах. Последующее извлечение литья из такой матрицы требует преодоления значительного энергетического барьера, что с точки зрения теории процессов делает данный путь термодинамически и экономически невыгодным.[11, 13, 19]

Гидрометаллургический оператор реализует принцип «тонкого» разделения, основанного на различиях в химической активности. Его эффективность описывается нелинейными функциями от множества параметров (кислотность, окислительно-восстановительный потенциал, морфология частиц, минералогическая форма соединений). Как следствие, данный оператор обладает низкой робастностью: незначительное отклонение состава сырья от оптимума ведет к резкому снижению селективности и полноты извлечения. Необходимость точной «подстройки» оператора под конкретное сырье делает систему негибкой и затратной в условиях разнородного и изменчивого потока.[9,20,23]

Вывод из проведенного анализа заключается в том, что повышение общей эффективности системы рециклинга невозможно через линейное улучшение отдельных операторов.

Требуется системная реорганизация, предполагающая введение метауровня управления, который осуществляет динамическое распределение гетерогенного потока между специализированными, но более простыми и эффективными операторами. Это переводит проблему из технологической плоскости в плоскость теории принятия решений, оптимизации и управления сложными системами. [15, 16, 21]

2. Теоретические основы построения адаптивной системы рециклинга ЛИА

2.1. Концепция и принципы многокритериальной модели классификации и маршрутизации

Ключевым элементом перехода к адаптивной системе является механизм интеллектуального анализа входящего потока и принятия решений о его дальнейшей судьбе. В основе предлагаемой модели лежит отказ от редуционистского подхода, сводящего аккумуляторный модуль лишь к его химической формуле. Вместо этого вводится концепция многомерного вектора состояния объекта, включающего:

- Технологический атрибут: тип катодного материала, массогабаритные характеристики.

- Функциональный атрибут (признаки деградации): остаточная энергоёмкость, динамика роста внутреннего сопротивления, история эксплуатационных нагрузок.

- Структурный атрибут: физическая архитектура модуля, тип элементов, способ соединения.

Для каждого потенциального технологического маршрута (например, R_{pyr} – пирометаллургия с последующей гидрометаллургией шлака; R_{hyd} – прямая гидрометаллургия) определяется векторный функционал ожидаемой эффективности. Компоненты этого функционала оценивают:

- Прогнозную экономическую ценность извлечения.

- Экологический баланс процесса (сокращение углеродного следа, минимизацию образования токсичных вторичных отходов).

- Ресурсоёмкость (удельные затраты энергии, воды, реагентов).

Таким образом, задача классификации формализуется как задача выбора оптимального отображения $M: X \rightarrow R$, ставящего в со-

ответствие каждому вектору состояния X такой маршрут R_{opt} , который максимизирует взвешенную сумму компонент векторного функционала. Весовые коэффициенты при этом отражают текущие стратегические приоритеты системы (максимизация прибыли, выполнение экологических нормативов, минимизация энергопотребления). Данная модель трансформирует этап первичной обработки из механической операции в процедуру поддержки принятия решений на основе данных и оптимизационных алгоритмов.

2.2. Теоретические основы модели управления фазовыми превращениями в пирометаллургическом контуре

Для снятия ключевого ограничения пирометаллургии предлагается концепция перехода от пассивного формирования шлака к активному синтезу промежуточного продукта с заданными свойствами. Данная модель основывается на рассмотрении пирометаллургического процесса не как метода извлечения металлов, а как способа целенаправленной трансформации сложной оксидной системы ($Li_2O-CoO-NiO-Al_2O_3-SiO_2-Fe_2O_3$) в управляемую гетерофазную структуру.

Суть модели заключается в теоретическом обосновании возможности управления распределением лития между фазами в шлаке путем варьирования управляющих параметров системы: температуры (T), окислительного потенциала газовой фазы (p_{O_2}) и, что наиболее важно, состава вводимой модифицирующей добавки (флюса). В качестве целевых объектов управления рассматриваются не сами элементы, а термодинамически стабильные фазы, которые могут их содержать. Задача моделирования сводится к определению области параметров, в которой доминирующими становятся не стабильные силикаты лития (например, сподумен $LiAlSi_2O_6$), а метастабильные или менее распространенные, но химически более активные соединения, такие как металалюминат лития ($LiAlO_2$) или его ферриты.

Теоретической основой для решения этой задачи являются расчеты фазовых диаграмм равновесия в многокомпонентных системах и минимизация свободной энергии Гиббса. Модель позволяет априорно, без проведения натурных экспериментов, прогнозировать влияние состава флюса (например, введение CaO , CaF_2 , B_2O_3) на сдвиг фазовых равновесий в пользу образования целевых соедине-

ний лития. Это создает принципиальную возможность для проектирования гибридных пиromеталлургических режимов, в которых шлак перестает быть отходом и становится ценным сырьем для последующего высокопродуктивного гидрометаллургического передела.

2.3. Концепция динамической имитационной модели системной оценки (LCA-TEA)

Оценка эффективности отдельных решений, принимаемых на тактическом уровне, недостаточна для обеспечения долгосрочной устойчивости системы рециклинга в целом. Для этой цели предлагается концепция модели, основанной на методологии системной динамики, которая позволяет исследовать нелинейное поведение сложной системы «источники отходов – логистика – перерабатывающие мощности – рынок вторичных материалов» во временной перспективе.

Модель представляет собой сеть взаимосвязанных уровней (накопителей) и регулируемых потоков между ними. К ключевым уровням можно отнести: объем аккумулированных непереработанных отходов, степень загрузки производственных линий, запасы произведенных концентратов и товарных металлов. Потоки моделируют движение материальных и сопутствующих финансовых ресурсов.

Принципиальной особенностью модели является учет нелинейных обратных связей и внешних возмущающих воздействий, таких как:

- Стохастическая динамика мировых цен на литий, кобальт, никель.
- Детерминированный тренд изменения морфологии потока отходов (непрерывный рост доли LFP- и NMC-аккумуляторов с низким содержанием кобальта).
- Эволюция регуляторной политики (налоги на выбросы, ужесточение нормативов утилизации).

Интегральным выходным показателем модели выступает кумулятивный дисконтированный эффект за плановый период, агрегирующий операционную прибыль и монетизированную экологическую эффективность (стоимость избежанного ущерба). Главная ценность модели заключается в её способности к сценарному анализу и идентификации точек бифуркации – критических значений ключевых параметров (например, пороговой доли LFP-

батарей или пороговой цены на кобальт), при достижении которых оптимальная стратегия управления системой кардинально меняется. Это переводит управление из реактивного в проактивный, стратегический режим.

2. Синтез теоретических моделей и принципы построения адаптивной системы

Предложенные модели не являются изолированными конструкциями, а образуют единую теоретическую архитектуру для систем рециклинга нового поколения. Их взаимодействие можно описать как трехуровневую иерархию:

1. *Тактический уровень (модель 2.1):* Осуществляет оперативную классификацию входящих объектов и распределяет их по технологическим маршрутам, максимизируя локальный критерий эффективности.

2. *Технологический уровень (модель 2.2):* На основе данных о составе направленного на переработку потока рассчитывает оптимальные параметры работы технологических агрегатов для достижения целевых показателей по извлечению компонентов.

3. *Стратегический уровень (модель 2.3):* На основе долгосрочных трендов и прогнозов корректирует целевые установки и весовые коэффициенты для тактического уровня, обеспечивая адаптацию всей системы к макроэкономическим и технологическим изменениям.

Таким образом, система перестает быть линейным конвейером и становится самонастраивающейся сетью с обратными связями. Материальные потоки динамически перераспределяются между технологическими модулями, параметры работы которых постоянно реоптимизируются. Это позволяет преодолеть парадокс «универсальность vs. эффективность» за счет гибкой декомпозиции общей задачи на специализированные подзадачи.

4. Ожидаемые теоретические результаты и направления верификации

Разработка и апробация описанного модельного комплекса позволит получить следующие ключевые теоретические результаты:

1. Формализованный методологический каркас для сравнительного анализа и проектирования систем рециклинга, учитывающий не только технологические, но и информационно-управленческие аспекты.

2. Теоретически обоснованные корреляции между составом модифицирующих добавок, термодинамическими параметрами процесса и фазовым составом образующихся шлаков, направленные на мобилизацию лития.

3. Принципы и алгоритмы для построения адаптивных систем управления, способных поддерживать целевую эффективность в условиях высокой неопределённости и изменчивости входных данных.

4. Критерии и индикаторы системной устойчивости проектов в области рециклинга, полезные для стратегических инвесторов и органов государственного регулирования.

Верификация предложенных моделей должна осуществляться по следующим направлениям: для модели классификации – сопоставление с решениями экспертов и историческими данными; для термодинамической модели – верификация расчетных фазовых диаграмм данными физико-химического анализа реальных шлаков; для динамической модели – калибровка на ретроспективных данных рынков сырья и использование сценарного прогнозирования.

Заключение

В данной работе осуществлён системный теоретический анализ проблемы рециклинга литий-ионных аккумуляторов электромобилей. Показано, что фундаментальные ограничения традиционных пиро- и гидрометаллургических методов носят системный характер и не могут быть преодолены в рамках парадигмы изолированного технологического совершенствования.

В качестве альтернативы предложен и детально обоснован комплекс теоретических моделей, образующих основу для создания адаптивных, интеллектуальных систем рециклинга. Научная новизна заключается в последовательной формализации задачи как проблемы управления гетерогенными потоками и разработке трёх взаимодополняющих моделей: многокритериальной оптимизации для тактического управления, термодинамической для управления процессами трансформации и динамической имитационной для стратегического планирования. Синтез данных моделей задаёт новое направление для научных исследований, смещая фокус с поиска «идеального» единого процесса к проектированию гибкой и устойчивой архи-

тектуры управления, способной эволюционировать вместе с изменяющимся объектом переработки и внешними условиями. Дальнейшая работа должна быть направлена на алгоритмическую и программную реализацию предложенных концепций, их верификацию и интеграцию в инструментарий цифрового проектирования предприятий циклической экономики.

Литература

1. Автомобиль и экология / Б. Н. Белоусов, В. Н. Добромиров, Д. В. Аврамов, Н. В. Мартынов // Автомобильная промышленность. – 2019. – № 8. – С. 1-7. – EDN SECNDX.
2. Аракелян А. Г. Масштабы эксплуатации современных электромобилей // Научное образование. 2020. № 3(8). С. 299-300.
3. Холин Ю.Ю., Дмитриенко В.П., Песецкий В.И. Разработка технологии гидрометаллургической переработки активных масс отрицательных электродов щелочных аккумуляторов. // Электрохимическая энергетика. Саратов: 2006, т.6, вып. 4, с. 216 - 226.
4. Холин Ю.Ю., Песецкий В.И., Дмитриенко В.П. Извлечение активной массы положительного электрода в процессе переработки щелочных аккумуляторов. // Электрохимическая энергетика. Саратов.: 2007, т.7, вып. 3, с. 68-72.
5. Белехов, А. А. Разработка алгоритма проведения оценки возможности внесения изменений в конструкцию транспортных средств, находящихся в эксплуатации / А. А. Белехов, В. Н. Горшков // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 6(59). – С. 182-187. – EDN XGRJFJ.
6. Белехов, А. А. Качественная оценка возможности внесения изменений в конструкцию транспортных средств, находящихся в эксплуатации / А. А. Белехов // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 6(65). – С. 221-227. – DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-6-221-227. – EDN YPNFVB.
7. Волкова Т.С., Рудских В.В., Орлова В.А., Тананаев И.Г. Выделение лития из водных растворов методами выпаривания и осаждения и стабильность полученных соединений при хранении на воздухе. // Журнал прикладной химии. 2015. Т. 88. Вып. 9. С. 1240-1247 (Scopus, Web of Science).
8. Волкова Т.С., Рудских В.В., Джевелло К.А. Влияние значения pH раствора на коэффициенты распределения лития и примесных элементов на стадии сорбции // Журнал прикладной химии. 2016. Т. 89. Вып. 10. С. 1322-1327 (Scopus, Web of Science).
9. Герасимов Д. В. Перспективы использования электромобилей // Евразийский научный журнал. 2016. № 7. С. 213-215.
10. Евтюков, С. А. Методология управления рациональным сроком службы автомобиля / С. А. Евтюков, А. В. Терентьев, Г. Гинзбург // Мир транспорта

- и технологических машин. – 2017. – № 1(56). – С. 3-10. – EDN YHWVBJ.
11. Зингер, Д. Ю. Система интеллектуального выбора станций зарядки электромобилей / Д. Ю. Зингер, Н. В. Подопригра, А. В. Терентьев // Транспорт России: проблемы и перспективы : Материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 09–10 ноября 2022 года / ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, Коллектив авторов. Том 2. – Санкт-Петербург: Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2022. – С. 107-110. – EDN NHFQYZ.
12. Ишбулатова А.И., Кусова И.В. Гранулирование как способ утилизации лузги подсолнечника. В: Труды IV международной научно-практической конференции «Проблемы обеспечения безопасности» (БЕЗОПАСНОСТЬ-2022), посвященной 90-летию УГАТУ. Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет; 2022. С. 252-255.
13. Кравченко, П. А. О цифровых технологиях обеспечения безопасности дорожного движения в Российской Федерации / П. А. Кравченко, А. М. Плотников, Е. М. Олещенко // Транспорт Российской Федерации. – 2018. – № 4(77). – С. 12-16. – EDN XYUMCL.
14. Ложкин, В. Н. Прогноз экстремального загрязнения воздуха водным и автомобильным транспортом: на примере вантовых переходов Санкт-Петербурга и Владивостока / В. Н. Ложкин, О. В. Ложкина, В. Н. Добромиров // Вода и экология: проблемы и решения. – 2017. – № 3(71). – С. 134-146. – DOI 10.23968/2305-3488.2017.21.3.134-146. – EDN ZUEHNV.
15. Лысоконь А. Е., Алфимов Д. Г., Дейкин Е. Д. Сравнение бензиновых автомобилей и электромобилей с позиции сохранения окружающей среды // Вестник современных исследований. 2018. № 10.1(25). С. 321-322.
16. Математические модели принятия решений в интеллектуальных транспортных системах / А. В. Терентьев, И. В. Арифиллин, В. Д. Егоров, А. Ю. Андреев // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2021. – № 1(64). – С. 106-113. – EDN RVWWIZ.
17. Мельникова А.С. Способы утилизации литий-ионных источников тока. В: Труды международной научной экологической конференции «Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития», Краснодар, 24-26 марта 2020 года. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина; 2020. С. 202-204.
18. Метод оптимизации температурного диапазона литий-ионных батарей на основе планирования цикла зарядки электротранспорта в реальном времени / Р. Н. Сафиуллин, А. Ф. Залюбовский, К. В. Сорокин, В. В. Камлюк // Тушение пожаров и проведение аварийно-спасательных работ при ликвидации последствий ДТП с электромобилями : Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Ниш, 25 сентября 2024 года – 26 2025 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России" (федеральный центр науки и высоких технологий), 2025. – С. 144-151. – EDN MYRZVR.
19. Метод оптимизации зарядно - разрядных режимов с учетом различных композиционных составов литий - ионных источников тока горных машин / Р. Н. Сафиуллин, Р. Р. Сафиуллин, А. А. Унгефук, К. В. Сорокин // Устойчивое развитие горных территорий. – 2025. – Т. 17, № 1(63). – С. 134-150. – DOI 10.21177/1998-4502-2025-17-1-134-150. – EDN OI DPDT.
20. Плотников, А. М. О текущих результатах деятельности по достижению целевого уровня безопасности дорожного движения в регионах России / А. М. Плотников, С. В. Жанказиев, Д. О. Гурия // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 5(84). – С. 45-49. – EDN OTTRYJ.
21. Сафиуллин, Р. Н. Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства транспортных средств / Р. Н. Сафиуллин, А. С. Афанасьев, Р. Р. Сафиуллин. – Москва-Берлин : Директ-Медиа, 2018. – 1 с. – ISBN 978-5-4475-9658-3. – EDN YNNRON.
22. Терентьев, А. В. Оценка качества автомобиля / А. В. Терентьев, Р. Капустин // Записки Горного института. – 2016. – Т. 219. – С. 449-454. – EDN WWWWSX.
23. Федоров, В. А. Моделирование задач проблемы обеспечения безопасности дорожного движения / В. А. Федоров, П. А. Кравченко // Вестник гражданских инженеров. – 2004. – № 1. – С. 161-168. – EDN JZFZZZ.
24. Черняев, И. О. Система технического осмотра транспортных средств: итоги 5 лет реформ / И. О. Черняев // Автотранспортное предприятие. – 2016. – № 6. – С. 2-5. – EDN WAOVIT.
25. Черняев, И. О. Модель функциональной структуры системы контроля технического состояния транспортных средств / И. О. Черняев // Известия Международной академии аграрного образования. – 2017. – № 35. – С. 193-198. – EDN ZQTDVP.
26. Экологическая безопасность транспортно-технологических средств / З. А. Годжаев, Д. В. Аврамов, Н. В. Мартынов [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2019. – Т. 13, № 2. – С. 40-47. – DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-2-40-47. – EDN KKBVDV



МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 004.896

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОЛЬШОЙ ЯЗЫКОВОЙ МОДЕЛИ (LLM) НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

М.Ю. Сивуда¹, И.В. Либерман², О.В. Шарков³

*Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (БФУ им. И. Канта)
Россия, 236016, г. Калининград, ул. А. Невского 14.*

Рассматривается применение одной из перспективных технологий искусственного интеллекта – больших языковых моделей (LLM) для повышения эффективности проектирования, производства и сервисного обслуживания изделий машиностроения. Дается описание возможностей применения LLM и реализуемые преимущества при выполнении типовых задач на машиностроительном предприятии – диагностики технологического оборудования, разработки технической документации, раскроя листового материала.

Ключевые слова: искусственный интеллект, автоматизация производства, изделие машиностроения, индустрия 4.0.

PROSPECTS FOR USING A LARGE LANGUAGE MODEL (LLM) IN MECHANICAL ENGINEERING PRODUCTION

M. Yu. Sivuda, I. V. Liberman, O. V. Sharkov

Immanuel Kant Baltic Federal University (IKBFU), Russia, 236016, Kaliningrad, A. Nevsky str., 14.

The article discusses the application of one of the promising artificial intelligence technologies – large language models (LLM) to improve the efficiency of design, production and service of mechanical engineering products. The article describes the possibilities of using LLM in a mechanical engineering enterprise and the benefits realized when performing typical tasks – diagnostics of process equipment, development of technical documentation, cutting of sheet material.

Keywords: artificial intelligence, industrial automation, mechanical engineering product, Industry 4.0.

На современном этапе развития машиностроительного производства находят широкое применение системы автоматизации различных производственных процессов от CAD/CAM/CAE до ERP и MES [1–6], которые позволяют существенно повысить эффективность реализации всех этапов жизненного цикла изделий машиностроения – проектирование, производство, сервисное обслуживание и др.

В тоже время принципы традиционной автоматизации, основанной на жестких правилах и предопределенных процессах, перестают в полной мере отвечать требованиям гибкого и высокоточного современного машиностроительного производства.

Основная проблема заключается в построении архитектуры современных производственных процессов. Подход Industry 4.0 [6–9] к промышленному производству на данный момент времени построен преимущественно

EDN GRILIC

¹Сивуда Максим Юрьевич – студент высшей школы Киберфизических систем, тел. +7(4012)59-55-85, e-mail: mysivuda@stud.kantiana.ru;

²Либерман Ирина Владимировна – кандидат физико-математических наук, директор высшей школы Киберфизических систем, тел. +7(4012)59-55-85; e-mail: iliberman@kantiana.ru;

³Шарков Олег Васильевич – доктор технических наук, профессор высшей школы Киберфизических систем, тел. +7(4012)59-55-85; e-mail: osharkov@kantiana.ru.

на вертикально интегрированных, но горизонтально изолированных системах. Например, CAD-системы (Computer Aided Design) отвечает за виртуальное проектирование, ERP-системы (Enterprise Resource Planning) – за планирование ресурсов и логистику, а MES-системы (Manufacturing Execution System) – за управление исполнением на уровне отдельного подразделения. Каждая из этих систем – мощный специализированный инструмент, но они говорят на разных языках и оперируют замкнутыми наборами данных.

В результате происходит «фрагментация» различных этапов жизненного цикла изделий машиностроения. Инженер-конструктор при работе с CAD-системами видит геометрию изделия, но не всегда имеет оперативный доступ к реальным данным о дефектах с прошлых партий, хранящихся в MES-системах. Планировщик в ERP-системах, формируя график, опирается на усредненные нормативы, но не может учесть отдельные нюансы текущего состояния оборудования, которые известны только оператору на линии. Это не проблема недостатка данных, а наоборот, их избытка. Как показывает анализ, до 80...90 % информации, хранящийся в корпоративных хранилищах организаций и предприятий не используются при принятии локальных решений, потому что извлечь её в режиме реального времени весьма сложно, а в ряде случаев невозможно.

Одним из путей решения данной проблемы является использование возможностей искусственного интеллекта, в частности большой языковой модели LLM (Large Language Model), которая является не очередным инструментом классической автоматизации, а принципиально новым подходом – интеллектуальным интерфейсом, способным связать воедино разрозненные потоки данных, опыт человека, сложные технологические процессы и оборудование [10–14].

LLM представляют собой качественно новый этап в организации и мониторинге жизненного цикла изделий машиностроения. В отличие от моделей машинного обучения ML (Machine Learning), которые работают с числовыми векторами и паттернами, LLM обладают способностью к генеративному пониманию. Они не просто классифицируют данные, а анализируют смысл из множества источников – нормативных документов, текстовых отчетов, схем, телеметрии, устных инструкций и т.п. Это позволяет им выступать в роли универсального переводчика между человеком и ма-

шиной, превращая абстрактные запросы в конкретные действия и интерпретируя сложные технологические процессы и физические явления на языке, понятном специалисту.

Интеграция LLM в производственный цикл меняет саму природу взаимодействия с данными. Вместо того чтобы требовать от инженера знания конкретного языка запроса к базе данных, LLM позволяет задавать вопросы естественным языком: «Почему на станке № 45 в последней смене увеличился процент брака?» Система способна проанализировать журналы событий MES-системы, параметры качества из QC-системы, данные о температурном режиме и даже свериться с технической документацией в CAD-системе, чтобы выявить корреляции и предложить гипотезы. Это сокращает время анализа с часов до минут.

В отличие от классического ML, где под каждую новую задачу требуется сбор датасета и обучение модели, LLM могут адаптироваться к новым контекстам, опираясь на уже имеющиеся знания. Это существенно сократить время внедрения в производство новой продукции. LLM-интерфейс, проанализировав историю запусков похожих изделий машиностроения и текущие мощности, способен предложить оптимальный маршрут, составить список необходимых проверок и даже сгенерировать инструкцию для оператора – все это в режиме реального времени.

Более того, LLM становятся мостом между цифровой и физической средой. Они могут интерпретировать голосовые команды оператора, переводить их в точные настройки для машины, а затем анализировать результат, предлагая корректировки. Это не замена человека, а его усиление. Специалист высвобождается из цепочки рутинных вычислений и ручного сопоставления данных, получая возможность сосредоточиться на творческом решении проблем, стратегическом планировании и контроле над критически важными аспектами.

Переход от жесткой автоматизации к гибкому интеллектуальному взаимодействию с помощью LLM – стратегическая задача для отечественного машиностроения, стремящегося к устойчивости, эффективности и лидерству в XXI веке.

LLM не просто анализируют данные, они «понимают» их смысл в рамках сложного и длительного процесса реализации жизненного цикла изделий машиностроения. Это подтверждается технологическим сдвигом 2025 года, когда в обучении моделей доминировал подход RLVR (Reinforcement Learning from Verifiable Rewards) [15]. Этот метод позволил

моделям спонтанно вырабатывать стратегии рассуждения, разбивать сложные задачи на промежуточные вычисления и итеративно искать решение.

В контексте производства это означает, что LLM способны работать с неструктурированной информацией: технической документацией, логами датчиков, устными инструкциями операторов, схемами и даже изображениями. Они могут интерпретировать естественный язык так же, как это делает человек, но с вычислительной мощностью, позволяющей обрабатывать терабайты данных в реальном времени. LLM становится интеллектуальным интерфейсом, «цифровым двойником сознания» инженера или оператора. Ее задача – связать воедино «узкие места» данных, людей и машин.

Общий принцип работы LLM-системы можно привести на следующем примере (рис.1). На технологической линии возникла проблема – система контроля QC Lab зафиксировала снижение качества продукции.

Вместо того чтобы оператор вручную искать причину в логах MES-системы, а инженер-технолог сверялся с данными в ERP-системе, оператор формирует NLQ-запрос: «Почему вчерашняя партия имела брак на 5% выше нормы?». LLM, интегрированная в систему, не просто выполняет SQL-запрос к базе данных, а проводит многофакторный анализ. Она коррелирует данные с датчиков (температура, вибрация, давление и др.) из SCADA, информацию о смене операторов из MES-системы, данные о поставщике сырья из ERP-системы и эталонную геометрию из CAD-системы, сопоставляя их даже с неформальными записями в журнале смены. Затем она генерирует гипотезу: «Скорее всего, проблема связана с повышением влажности в цехе в ночную смену, что повлияло на свойства материала. Рекомендуется проверить систему вентиляции и провести дополнительный контроль влажности перед подачей материала на линию».

Рассмотрим более детально возможности использования LLM на машиностроительном производстве в следующих ситуациях.

1. Диагностика поломок на станках с ЧПУ [16–18]

При традиционной системе сервисного обслуживания станков оператор фиксирует сбой и вызывает инженер-механика, который проводит визуальный осмотр. Затем начинается ручной перебор данных: логи контрол-

лера (часто в сыром, непонятном формате), показания датчиков телеметрии (температура, вибрация), история обслуживания в MES-системе. Этот процесс занимает часы, а иногда и дни, если неисправность неочевидна. Простой станка стоит дорого – не только потерянная выручка, но и срыв сроков по заказам.

Внедрение LLM, действующей по схеме RAG (Retrieval-Augmented Generation) [19], кардинально меняет динамику. Система не ждет, пока человек начнет анализ. Она постоянно сканирует поток данных. Когда возникает аномалия (например, резкий скачок вибрации или ошибка позиционирования), модель мгновенно получает доступ к векторной базе знаний, содержащей технические отчеты, истории предыдущих поломок и схемы узлов.



Рисунок 1 – Функциональная схема работы LLM-системы.

Ключевое преимущество – скорость агрегации. Там, где человеку требуется вручную открывать десятки файлов, LLM выполняет поиск и анализ за секунды. Например, система анализирует 10,000 строк логов и выдает не просто список ошибок, а сформулированную гипотезу: «Скорее всего, износ подшипника шпинделя (корневая причина), так как вибрация на частоте 1200 Гц коррелирует с повышением температуры охлаждающей жидкости, что подтверждается записью в журнале планового технического обслуживания от 15 числа».

Экономический эффект здесь измеряется в сокращении времени диагностики с часов до минут (рис. 2). Это не просто удобство, а прямое сохранение производственного ритма и сокращение затрат на сверхурочные работы персонала.

2. Генерация технической документации [20–21]

Разработка технической документации – одна из наиболее трудоемких и ответственных задач инженерного отдела машиностроительного предприятия. Инженер-конструктор проводит часы, а иногда и дни, за составлением инструкций по эксплуатации, технических описаний и карт контроля качества на основе чертежей САПР. Процесс рутинный, но критически важный для безопасности и соответствия стандартам (ГОСТ, ISO и др.). Ошибка в документации может привести к неправильной сборке или аварии.

Интеграция LLM с CAD-системами позволяет автоматизировать этот процесс. Модель, обученная на технической литературе и стандартах, «читает» чертеж: определяет базовые поверхности, критические допуски, классы точности. Затем, следуя шаблону, она генерирует текст инструкции.

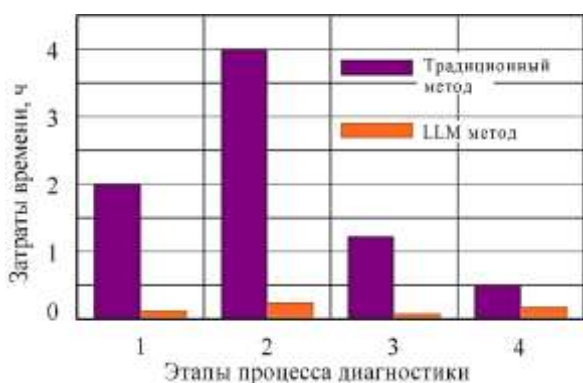


Рисунок 2 – Сравнение времени диагностики поломок станков с ЧПУ: 1 – визуальный осмотр и сбор данных; 2 – перебор логов и схем; 3 – формирование гипотезы; 4 – составление акта ремонта

Это ускоряет создание документации в разы. Вместо того чтобы инженер тратил 8 часов на написание технической документации для новой детали, он тратит 30 минут на проверку и корректировку сгенерированного LLM текста. Это высвобождает сотни человеко-часов в год для инженерного отдела, позволяя сконцентрироваться на инновациях и конструкторских разработках. Такая автоматизация гарантирует и единообразие стиля, и соответствие нормам, минимизируя человеческий фактор в критически важной области. Качество документации при этом остается стабильно высоким, так как модель опирается на проверенные источники (RAG), а не на «память» универсальной модели.

3. Оптимизация раскроя материала [23–25]

Оптимизация раскроя листового материала – классическая задача комбинаторной оптимизации, где цена ошибки измеряется в тоннах дорогого металла. Традиционные алгоритмы в CAD/CAM-системах часто ищут решение, минимизирующее только отходы материала, игнорируя стоимость самого процесса резки. Как показывают исследования, оптимальный раскрой с точки зрения площади может оказаться слишком дорогим из-за большого количества точек врезки или сложных траекторий холостого хода.

Здесь LLM выступает не как оптимизатор сам по себе, а как интеллектуальный интерфейс к базе данных стоимостных параметров, описанной в контексте исследования оптимизации техпроцессов. Система интегрируется с CAD-системой и базой данных, содержащей точные данные о стоимости реза для конкретных материалов и оборудования (толщина листа, тип реза, стоимость единицы пути инструмента).

Сценарий работы выглядит следующим образом:

- Инженер загружает чертеж в CAD.
- LLM анализирует геометрию деталей и текущие настройки раскроя.
- Запрашивая данные из базы, модель оценивает не только процент отходов, но и прогнозируемую стоимость процесса (время реза, износ инструмента).
- Система предлагает альтернативную схему раскроя, учитывая как экономию материала, так и скорость/стоимость резки. Например: «Предлагаю сгруппировать детали для совместного реза, что увеличит отходы на 2%, но сократит количество точек врезки на 40%, снизив общую стоимость обработки листа на 15%».

Такой подход превращает LLM из простого генератора текста в аналитический инструмент, способный учитывать множество скрытых переменных. Экономия достигается за счет комплексного подхода: снижается не только расход материала, но и себестоимость обработки.

В целом можно сделать вывод, что LLM не заменяет человека, а усиливает его возможности. Она берет на себя роль «генератора гипотез» и посредника между сложными цифровыми системами и человеком. Это особенно важно в условиях дефицита квалифицированных кадров и ухода опытных наладчиков. Вместо того чтобы создавать 50-страничную инструкцию, опытный специалист может

«обучить» LLM на исторических кейсах и схемах. Впоследствии система будет в реальном времени подсказывать новичкам шаги наладки, адаптируясь к конкретной конфигурации оборудования и текущей ситуации.

Литература

1. Фролов Е.Б., Загидуллин Р.Р. Промышленный софт для планирования машиностроительного производства: ERP, APS, MES // Конструкторское бюро. 2021. № 4. С. 50–59.
2. Питеркин С.В. Практика применения ERP-систем // Машиностроитель. 2009. № 10. С. 2–7.
3. Дозорцев В.М., Кнеллер Д.В., Соркин Л.Р., Шестков Н.В. Новые подходы к профессиональной подготовке специалистов по промышленной автоматизации. Часть 2. Высокотехнологичные системы класса MES // Автоматизация в промышленности. 2010. № 1. С. 5–10.
4. Белов В.Ф., Гаврюшин С.С., Занкин А.И. Архитектура цифровой платформы исследования и проектирования инноваций в машино- и приборостроении // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2021. № 3(732). С. 3–15. doi: 10.18698/0536-1044-2021-3-3-15.
5. Rodionov D., Lyukhter A., Prokoshev V. 3D modeling of laser robotic complex motion in CAM Spaces // Proceedings of the 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). Vladivostok, Russia. 2019. P. 1–6. doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934248.
6. Mantravadi S., Møller C. An overview of next-generation manufacturing execution systems: How important is MES for industry 4.0? // Procedia manufacturing. 2019. Vol. 30. P. 588–595. doi: 10.1016/j.promfg.2019.02.083.
7. Евгеньев Г.Б. Российские технологии создания систем класса «Индустрия 4.0». Часть 1. // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2018. № 8(701). С. 50–63. doi: 10.18698/0536-1044-2018-8-50-63.
8. Афанасьев А.А. Индустрия 4.0: к вопросу о перспективах цифровой трансформации промышленности в России // Вопросы инновационной экономики. 2023. Т. 13, № 3. С. 1427–1446. doi: 10.18334/vinec.13.3.117880.
9. Hamrol A., Gawlik J., Śladek J. Mechanical engineering in Industry 4.0 // Management and Production Engineering Review. 2019. Vol. 10. С. 14–28. doi: 10.24425/MPER.2019.129595.
10. Лапкин Я.Д., Матвеев В.Д. Сравнительный анализ больших языковых моделей для автономных робототехнических систем // Экстремальная робототехника. 2025. № 1(36). С. 110–115.
11. Вакушин А.А., Клебанов Б.И. Применение больших языковых моделей в имитационном моделировании // Инженерный вестник Дона. 2024. № 2(110). С. 624–636.
12. Ma K, Grandi D, McComb C, Goucher-Lambert K. Conceptual design generation using large language models // Proceedings of the ASME 2023 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Vol. 6. Boston, Massachusetts, USA. 2023. Art. V006T06A021. doi: 10.1115/DETC2023-116838.
13. Li X., Sun Y., Sha Z. LLM4CAD: Multimodal large language models for three-dimensional computer-aided design generation // Journal of Computing and Information Science in Engineering. 2025. Vol. 25, No. 2. Art. 021005-1.
14. Hua, Y., Wang, R., Wang, Z., Wang, G., Yan, Y. Knowledge graph with deep reinforcement learning for intelligent generation of machining process design // Journal of Engineering Design. 2025. Vol. 36, No. 11. P. 2072–2106. doi: 10.1080/09544828.2024.2338342.
15. Чуранов С., Трунов С. Система технического мониторинга и диагностики современного станочного оборудования и станков с ЧПУ // КИП и автоматика: обслуживание и ремонт. 2020. № 12. С. 4–12.
16. Козлов А.А., Козлов А.М. Развитие системы диагностики станков с ЧПУ // Воронежский научно-технический Вестник. 2021. Т. 4, № 4(38). С. 51–58. doi: 10.34220/2311-8873-2022-51-58.
17. Мосур В.Г., Шарков О.В. Диагностика геометрической точности металлорежущего оборудования с использованием современных измерительных систем // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2023. №3(65). С. 28–32.
18. Baek Ja. H., Kim J.L. Optimizing LLM performance for regulatory text comprehension based on an advanced RAG framework // Journal of Korean Institute of Intelligent Systems. 2025. Vol. 35, No. 1. P. 65–71. doi: 10.5391/jkiis.2025.35.1.65.
19. Левый Д.В., Лакалина Н.Ю. Разработка элементов автоматизированной системы проектирования приводов главного движения металлорежущих станков с формированием технической документации в Компас-3D // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2021. № 6(350). С. 26–32. doi: 10.33979/2073-7408-2021-350-6-26-32.
20. Решетникова А.В., Феофанов А.Н. Автоматизация поиска ошибок в текстовой технической документации на изделия машиностроения, приборостроения и строительства // Технология машиностроения. 2025. № 4. С. 56–60.
21. Бирюков В.П., Дозоров А.В. Лазерные системы для упрочнения, наплавки деталей и точного раскроя листового материала // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2006. № 1. С. 60–66.
22. Шептунов, И. Комплексное решение раскроя листового материала UPNEST & UPEDITOR для промышленных предприятий // САПР и графика. 2018. № 11(265). С. 49–51.
23. Гуреев Г.Д., Гуреев Д.М. Разработка процесса лазерно-ультразвукового раскроя листового металла и устройства для его реализации // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки. 1. Фролов Е.Б., Загидуллин Р.Р. Промышленный софт для планирования машиностроительного производства: ERP, APS, MES // Конструкторское бюро. 2021. № 4. С. 50–59.

2. Питеркин С.В. Практика применения ERP-систем // *Машиностроитель*. 2009. № 10. С. 2–7.
3. Дозорцев В.М., Кнеллер Д.В., Соркин Л.Р., Шестков Н.В. Новые подходы к профессиональной подготовке специалистов по промышленной автоматизации. Часть 2. Высокотехнологичные системы класса MES // *Автоматизация в промышленности*. 2010. № 1. С. 5–10.
4. Белов В.Ф., Гаврюшин С.С., Занкин А.И. Архитектура цифровой платформы исследования и проектирования инноваций в машино- и приборостроении // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. 2021. № 3(732). С. 3–15. doi: 10.18698/0536-1044-2021-3-3-15.
5. Rodionov D., Lyukhter A., Prokoshev V. 3D modeling of laser robotic complex motion in CAM Spaces // *Proceedings of the 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*. Vladivostok, Russia. 2019. P. 1–6. doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934248.
6. Mantravadi S., Möller C. An overview of next-generation manufacturing execution systems: How important is MES for industry 4.0? // *Procedia manufacturing*. 2019. Vol. 30. P. 588–595. doi: 10.1016/j.promfg.2019.02.083.
7. Евгеньев Г.Б. Российские технологии создания систем класса «Индустрия 4.0». Часть 1. // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. 2018. № 8(701). С. 50–63. doi: 10.18698/0536-1044-2018-8-50-63.
8. Афанасьев А.А. Индустрия 4.0: к вопросу о перспективах цифровой трансформации промышленности в России // *Вопросы инновационной экономики*. 2023. Т. 13, № 3. С. 1427–1446. doi: 10.18334/vinec.13.3.117880.
9. Hamrol A., Gawlik J., Śladek J. Mechanical engineering in Industry 4.0 // *Management and Production Engineering Review*. 2019. Vol. 10. С. 14–28. doi: 10.24425/MPER.2019.129595.
10. Лапкин Я.Д., Матвеев В.Д. Сравнительный анализ больших языковых моделей для автономных робототехнических систем // *Экстремальная робототехника*. 2025. № 1(36). С. 110–115.
11. Вакушин А.А., Клебанов Б.И. Применение больших языковых моделей в имитационном моделировании // *Инженерный вестник Дона*. 2024. № 2(110). С. 624–636.
13. Ma K, Grandi, D, McComb C, Goucher-Lambert K. Conceptual design generation using large language models // *Proceedings of the ASME 2023 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*. Vol. 6. Boston, Massachusetts, USA. 2023. Art. V006T06A021. doi: 10.1115/DETC2023-116838.
14. Li X., Sun Y., Sha Z. LLM4CAD: Multimodal large language models for three-dimensional computer-aided design generation // *Journal of Computing and Information Science in Engineering*. 2025. Vol. 25, No. 2. Art. 021005-1.
15. Hua, Y., Wang, R., Wang, Z., Wang, G., Yan, Y. Knowledge graph with deep reinforcement learning for intelligent generation of machining process design // *Journal of Engineering Design*. 2025. Vol. 36, No. 11. P. 2072–2106. doi: 10.1080/09544828.2024.2338342.
16. Чуранов С., Трунов С. Система технического мониторинга и диагностики современного станочного оборудования и станков с ЧПУ // *КИП и автоматика: обслуживание и ремонт*. 2020. № 12. С. 4–12.
17. Козлов А.А., Козлов А.М. Развитие системы диагностики станков с ЧПУ // *Воронежский научно-технический Вестник*. 2021. Т. 4, № 4(38). С. 51–58. doi: 10.34220/2311-8873-2022-51-58.
18. Мосур В.Г., Шарков О.В. Диагностика геометрической точности металлорежущего оборудования с использованием современных измерительных систем // *Технико-технологические проблемы сервиса*. 2023. №3(65). С. 28–32.
19. Baek Ja. H., Kim J.L. Optimizing LLM performance for regulatory text comprehension based on an advanced RAG framework // *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*. 2025. Vol. 35, No. 1. P. 65–71. doi: 10.5391/jkiis.2025.35.1.65.
20. Левый Д.В., Лакалина Н.Ю. Разработка элементов автоматизированной системы проектирования приводов главного движения металлорежущих станков с формированием технической документации в Компас-3D // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2021. № 6(350). С. 26–32. doi: 10.33979/2073-7408-2021-350-6-26-32.
21. Решетникова А.В., Феофанов А.Н. Автоматизация поиска ошибок в текстовой технической документации на изделия машиностроения, приборостроения и строительства // *Технология машиностроения*. 2025. № 4. С. 56–60.
23. Бирюков В.П., Дозоров А.В. Лазерные системы для упрочнения, наплавки деталей и точного раскроя листового материала // *Проблемы машиностроения и надежности машин*. 2006. № 1. С. 60–66.
24. Шептунов, И. Комплексное решение раскроя листового материала UPNEST & UPEDITOR для промышленных предприятий // *САПР и графика*. 2018. № 11(265). С. 49–51.
25. Гуреев Г.Д., Гуреев Д.М. Разработка процесса лазерно-ультразвукового раскроя листового металла и устройства для его реализации // *Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки*. 2004. № 26. С. 134–140.

ОЦЕНКА РЕСУРСА СКРЕПЛЕННЫХ ТРУБ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ И ИМПУЛЬСНОМ НАГРУЖЕНИИ

Г.В. Лепеш¹

*Санкт-Петербургский государственный экономический университет (СПбГЭУ),
Россия, 191023, Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, д. 30-32, литер А.*

В статье приведены результаты исследования ресурса скрепленных радиальным натягом толстостенных труб, изготовленных из высокопрочной конструкционной стали, нагружаемых в процессе эксплуатации циклическими внутренними импульсными нагрузками. Построены зависимости ресурса внешней и внутренней трубы в зависимости от натяга.

Ключевые слова: труба, натяг, механические свойства, напряжения, трещина, цикл, ресурс.

EVALUATION OF THE LIFE OF BONDED PIPES UNDER STATIC AND PULSED LOADING

G.V. Lepesh

*Sankt-St. Petersburg State University of Economics (SPbGEU),
Russia, 191023, St. Petersburg, nab. Griboyedov Canal, 30-32, letter A.*

The article presents the results of a study of the service life of thick-walled pipes bonded by radial tension, made of high-strength structural steel, loaded during operation by cyclic internal pulse loads. The resource dependencies of the external and internal tubes are constructed depending on the tension.

Keywords: pipe, tension, mechanical properties, stresses, crack, cycle, resource.

Введение

Толстостенные трубы производятся в машиностроительной промышленности с целью создания аппаратов большой мощности. В процессе эксплуатации они, как правило, нагружаются внутренним давлением. Во многих случаях это давление носит импульсный характер. При нагружении трубы давлением, как внутренним, так и внешним, наибольшие напряжения возникают во внутренних приканальных слоях трубы. Так, что обеспечение прочности толстостенных труб производят созданием запасов конструктивной прочности, как за счет увеличения толщины стенки трубы, так и за счет применения операций скрепления и автоскрепления, обеспечивающих разгрузку приканальных слоев трубы путем их предварительной деформации в обратном направлении [1,2].

Задача сравнительной оценки циклической прочности нескрепленной и автоскрепленной трубы рассмотрена в авторском исследовании [3], в результате которой показано,

что автоскрепление имеет положительный эффект, как для обеспечения статической, так и циклической прочности. Т.е. его влияние на ресурс трубы может быть положительным.

Однако, автоскрепление трубы является сложной операцией и во многих случаях ограничено высоким уровнем требуемого для создания положительного эффекта давления автоскрепления. В этом случае эффект достигается скреплением трубы с наружным кожухом, надеваемым на трубу с определенным натягом [4].

Напряженное состояние трубы, скрепленной кожухом и нагруженной внутренним давлением

Необходимую величину натяга при скреплении рассчитывают по условию обеспечения прочности трубы и, одновременно, – кожуха под воздействием рабочей нагрузки – внутреннего давления. При этом чрезмерная величина натяга может приводить к разруше-

нию кожуха под действием внутреннего давления, а недостаточная величина натяга может привести к разрушению недостаточно скрепленной трубы. Наличие натяга δ приводит к появлению контактных напряжений, создающих давление на сопряженной поверхности трубы и кожуха p_0 , величина которого, определяется упругими свойствами обеих деталей и величиной натяга.

Присвоим наружной детали – кожуху индекс 2, а внутренней детали – трубе – 1. Тогда, после соединения трубы с кожухом, натяг δ будет численно равен разности

$$\delta = u_2 - u_1, \quad (1)$$

где: u_2 – увеличение внутреннего радиуса кожуха; u_1 – уменьшение наружного радиуса трубы.

Рассматривая по отдельности трубу и кожух как цилиндр, бесконечной длины, нагруженный внутренним p_1 и/или внешним p_2 давлением, можем определить его напряженно-деформированное состояние (НДС) в упругой области по зависимостям, полученным из решения задачи Ляме. Для толстостенной трубы с внутренним радиусом r_1 и внешним r_2 , нагруженной одновременно внутренним p_1 и внешним p_2 , давлениями, зависимости принимают вид [2]:

$$\sigma_r = \frac{p_1 \cdot r_1^2 - p_2 \cdot r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{r_1^2 \cdot r_2^2}{\rho^2} \cdot \dots \dots \frac{p_1 - p_2}{r_2^2 - r_1^2}; \quad (2)$$

$$\sigma_t = \frac{p_1 \cdot r_1^2 - p_2 \cdot r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{r_1^2 \cdot r_2^2}{\rho^2} \cdot \dots \dots \frac{p_1 - p_2}{r_2^2 - r_1^2}; \quad (3)$$

$$u = \frac{1 - \mu}{E} \cdot \frac{p_1 \cdot r_1^2 - p_2 \cdot r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \rho + \frac{1 + \mu}{E} \cdot \frac{r_1^2 \cdot r_2^2}{\rho} \dots \dots \frac{p_1 - p_2}{r_2^2 - r_1^2}. \quad (4)$$

где σ_r и σ_t – радиальные и тангенциальные компоненты напряжений;

u – радиальное перемещение;

ρ – текущий радиус;

E , μ – модуль упругости и коэффициент Пуассона, соответственно.

Здесь (2 – 4) для внутренней трубы следует принимать $r_2 = r_0$ – промежуточный радиус, а для наружного кожуха $r_2 = r_0$.

Исходя из (4), в предположении, что сопрягаемые детали изготовлены из одинакового материала, получаем:

$$u_1 = \frac{2p_0}{E} \cdot \frac{r_1^2 \cdot r_0}{r_0^2 - r_1^2};$$

$$u_2 = \frac{2p_0}{E} \cdot \frac{r_2^2 \cdot r_0}{r_0^2 - r_2^2}. \quad (5)$$

Вычисляя далее значение δ подстановкой (5) в (1) и выражая оттуда p_0 , находим

$$p_0 = \frac{E \cdot \delta}{2r_0^3} \cdot \frac{(r_0^2 - r_1^2) \cdot (r_2^2 - r_0^2)}{r_2^2 - r_1^2}. \quad (6)$$

В том случае, когда детали изготавливаются из различных материалов с модулями упругости E_1 и E_2 , коэффициентами Пуассона μ_1 и μ_2 , формула (6) приобретает вид

$$p_0 = \frac{\delta}{r_0 \left(C_1/E_1 + C_2/E_2 \right)}, \quad (7)$$

где

$$C_1 = \frac{1 + \frac{r_1^2}{r_0^2}}{1 - \frac{r_1^2}{r_0^2}} - \mu_1;$$

$$C_2 = \frac{1 + \frac{r_0^2}{r_2^2}}{1 - \frac{r_0^2}{r_2^2}} - \mu_2. \quad (8)$$

В любом случае имеем линейную зависимость давления p_0 от величины натяга δ .

Для двухслойного скрепленного ствола наивыгоднейшее по Гадолину [2] значение промежуточного радиуса

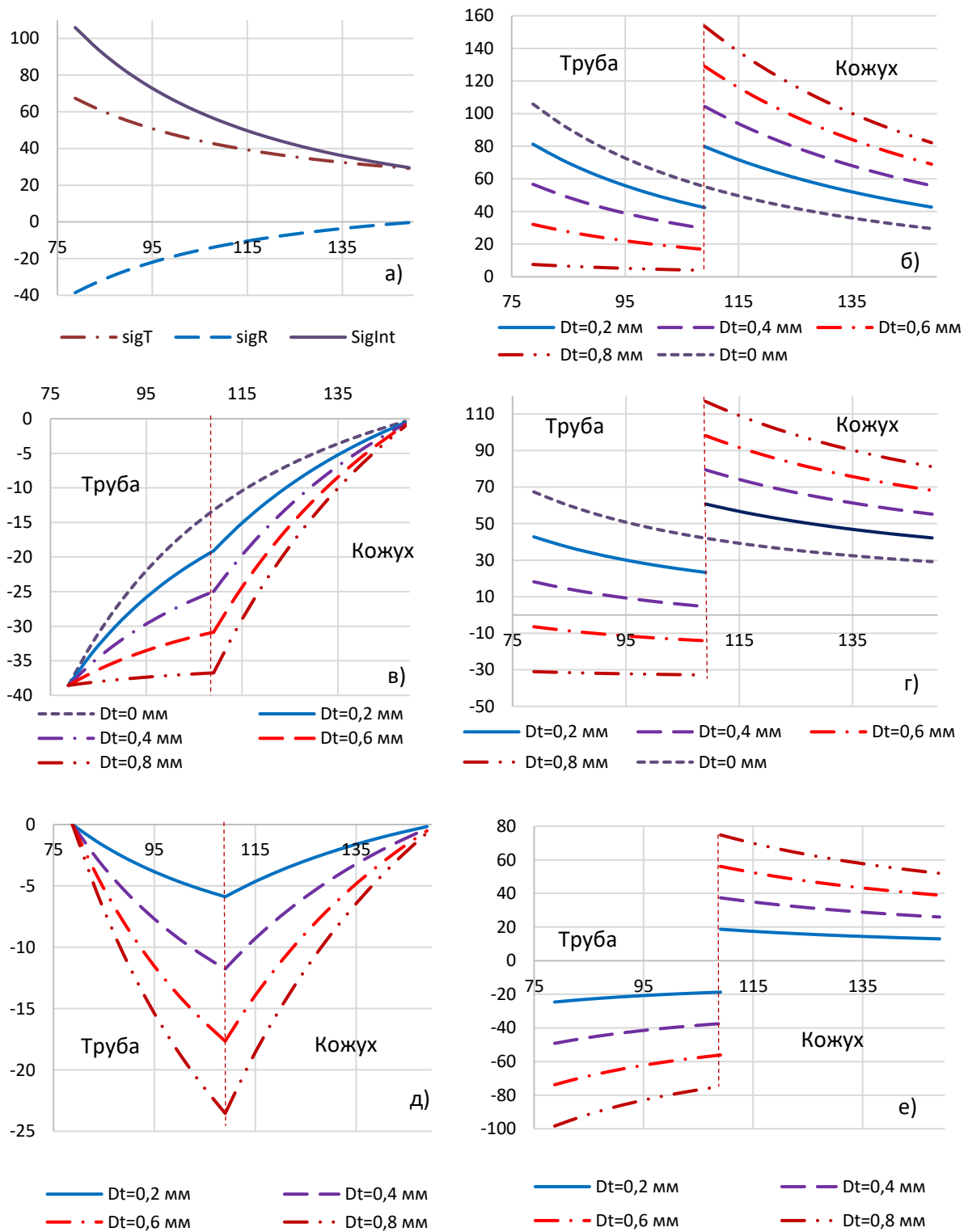
$$r_0 = \sqrt{r_1 \cdot r_2}. \quad (9)$$

Тогда, для рассмотренного в [3] примера толстостенной трубы, наружным диаметром $D=302$ мм и внутренним диаметром $d=157,5$ мм, получим

$$r_0 = \sqrt{0,5 \cdot 302 \cdot 0,5 \cdot 157,5} = 109 \text{ мм}.$$

На рисунке 1 приведено НДС скрепленной трубы, с различным натягом, в сравнении с нескрепленной, в том числе и при нагружении ее внутренним рабочим давлением p_1 .

Сопоставляя приведенные на рисунке 1 а) и рисунке 1, г) графические зависимости, видим очевидные различия как в характере изменения напряжений по толщине стенки (по радиусу трубы), так и в наибольших значениях напряжений. Отметим, что, по мере увеличения натяга, напряжения вблизи канала трубы снижаются, в то время как напряжения в кожухе вблизи сопряженной поверхности растут.



При значительном натяге δ , превышающем 0,4 мм, напряжения в кожухе достигают значений напряжений внутренней части не-

скрепленной трубы, следовательно, упрочнение трубы путем ее скрепления с кожухом становится неэффективным. Таким образом, эффект от скрепления сравним с, полученным в

работе [3], эффектом при автоскреплении, но имеет более выраженный характер, проявляющийся скачкообразным изменением напряжений при переходе через сопряженную поверхность.

Отметим, что наибольшие значения напряжений в автоскрепленной трубе [3] достигаются не вблизи канала трубы, а в сечениях, находящихся в глубине стенки, что представляет меньшую опасность с точки зрения ее разрушения при циклическом нагружении. Однако, в случае скрепления трубы с кожухом опасным становится увеличение напряжений вблизи сопряженной поверхности в стенке кожуха, что требует оценки циклической прочности как внутренней трубы, так и кожуха.

Оценка ресурса трубы по условию циклической прочности

Циклическая прочность труб рассчитывается при наличии переменных нагрузок методами, изложенными в механике разрушения [5], в предположении, что в стенке трубы имеются определенной величины дефекты, выявляемые методами неразрушающего контроля.

Оценку ресурса трубы и кожуха проведем отдельно в соответствии с данными, приведенными в работе [3]. Т.е. будем считать обе детали изготовленными из высокопрочной хромникельмолибденовой стали, с механическими характеристиками, приведенными в таблице 1 [3]. В расчете учтем наличие в кожухе и трубе несплошностей – трещин в виде эллипса, вытянутого большой осью a вдоль образующей трубы, площадью $F = 3 \text{ мм}^2$.

На рисунке 2 приведены расчетные графики количества циклов в зависимости от расположения трещины по толщине трубы и кожуха. На графиках наблюдается скачкообразное изменение числа циклов при переходе от наружной (сопряженной) поверхности трубы к внутренней (сопряженной) поверхности кожуха. При этом с увеличением натяга от 0,2 мм до 0,4 мм скачок значительно возрастает. При этом очевидно, что величина натяга $\delta = 0,2 \text{ мм}$ способствует увеличению

циклической прочности не менее, чем до 5000 циклов во всех сечениях трубы (от наименьшего 380 на внутренней поверхности нескрепленной трубы), в то время, как натяг $\delta = 0,4 \text{ мм}$ не приводит к повышению циклической прочности трубы, а для кожуха создает опасную ситуацию снижения циклической прочности практически во всех его сечениях, особенно вблизи внутренней (сопряженной) поверхности.

Из полученных результатов следует, что в случае циклического нагружения труб циклическими нагрузками операция скрепления не является эффективной в значительной степени для обеспечения их конструктивной прочности. Здесь целесообразно применить операцию автоскрепления. Тем не менее, скрепление трубы с натягом в определенных пределах может способствовать циклической и конструктивной прочности. Следует заметить, что наличие допусков на обрабатываемые сопряженные поверхности трубы и кожуха могут быть сравнимы с величиной натяга, что затрудняет подбор оптимального натяга по циклической прочности при скреплении труб.

Заключение

Анализ проведенных расчетов по оценке циклической прочности скрепленной толстостенной трубы и сопоставление результатов с ранее проведенными расчетами для нескрепленной и автоскрепленной труб показывает, что процесс скрепления не оказывает значимое влияние на циклическую прочность трубы, а в случае необоснованно больших натягов может приводить к снижению циклической прочности кожуха. В одинаковых условиях функционирования автоскрепленная труба обладает большим запасом по циклической прочности, чем нескрепленная и скрепленная кожухом.

Применение операции скрепления труб с целью обеспечения циклической прочности целесообразно производить при условии малоцикловых нагрузок.

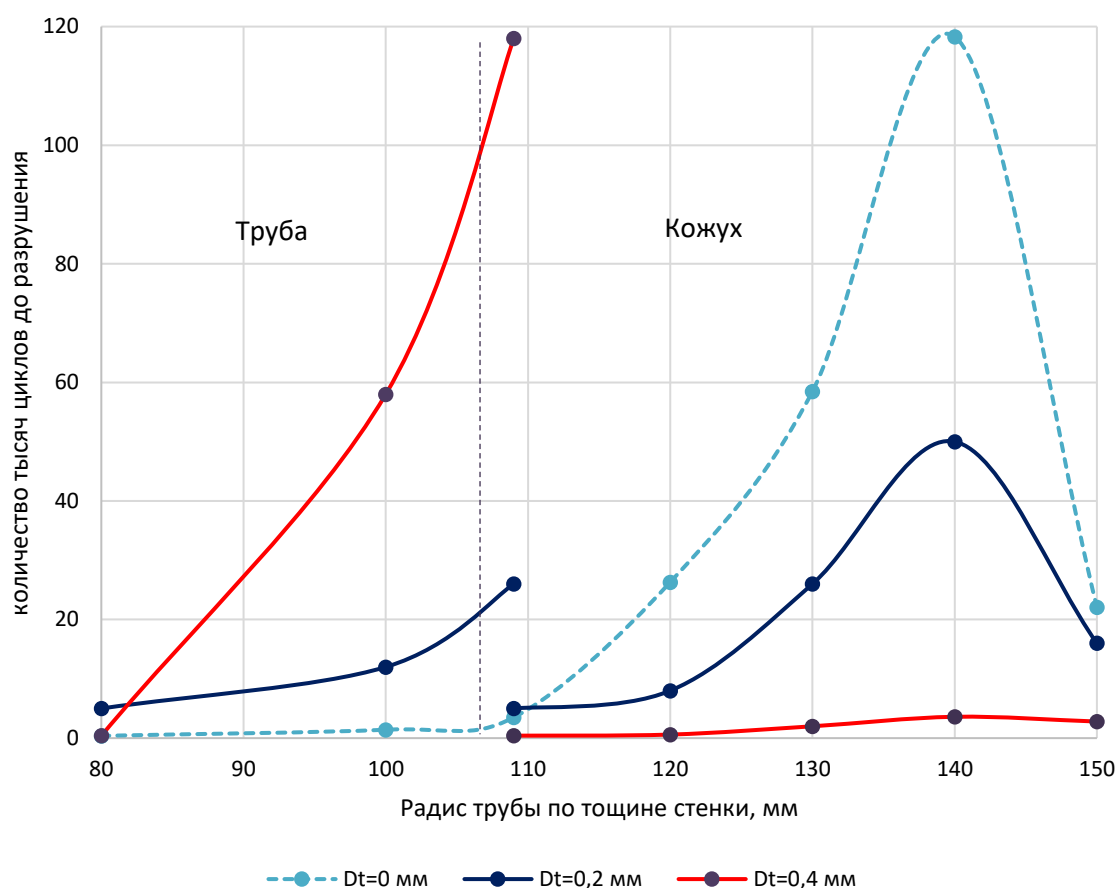


Рисунок 2 – Зависимость числа циклов (тысяч) до разрушения трубы с эллиптической трещиной, площадью 3 мм² при различных натягах $\delta = Dt$

Литература

1. Лепеш Г.В. Динамика и прочность труб и вращающихся изделий: Монография/ Лепеш Г.В. - СПб. : изд-во. СПбГУСЭ., 2010, - 143 с.
2. Ильюшин А.А., Огибалов П.М. Упруго пластические деформации полых цилиндров. - М.: Изд-во МГУ, -1960. - 227 с.
3. Лепеш, Г. В. Оценка ресурса труб при циклическом импульсном нагружении / Г. В. Лепеш, А. В. Мансветов // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2026. – № 1(75). – С. 22-26. – EDN JQRJXA.
4. Лепеш, Г. В. Моделирование процесса автоскрепления толстостенных труб / Г. В. Лепеш, А. С. Зайцев, Е. Н. Моисеев // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2015. – № 1(31). – С. 38-44. – EDN UNWQGH.
5. Качанов Л.М. Основы механики разрушения. Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1974, - 312 с.



ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СЕРВИСА

УДК 629.3.083.4

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ЗАКУПОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ НА СТАНЦИЯХ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

С.В. Булатов¹

*Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко,
Россия, 460048, Оренбург, проспект Победы, д. 149, литер А*

В статье представлены исследования, направленные на совершенствование логистического процесса управления закупочной деятельностью на станциях технического обслуживания автомобилей в современных условиях рынка запасных частей. Приведены теоретические и экспериментальные исследования, которые будут совершенствоваться с учетом выбора поставщика, персонала, рынка запасных частей, что позволит минимизировать влияние многих факторов на качество выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту, а также окажет влияние на экономическое положение станций технического обслуживания автомобилей.

Ключевые слова: логистический процесс, запасные части, станция технического обслуживания автомобилей, затраты, поставщик.

IMPROVING THE LOGISTICS PROCESS OF PURCHASE MANAGEMENT AT CAR SERVICE STATIONS

S.V. Bulatov

*V.A. Bondarenko Orenburg State University,
Russia, 460048, Orenburg, Pobedy Avenue, 149, letter A.*

The article presents research aimed at improving the logistical process of managing procurement activities at vehicle maintenance stations in modern conditions of the spare parts market. Theoretical and experimental studies are presented, which will be improved taking into account the choice of supplier, personnel, and the spare parts market, which will minimize the impact of many factors on the quality of maintenance and repair work, as well as affect the economic situation of vehicle maintenance stations.

Keywords: logistic process, spare parts, car service station, costs, supplier.

Введение

Важнейшим критерием, позволяющим оценить работу станций технического обслуживания автомобилей (СТОА) является уровень логистического обслуживания (наличие необходимых запасных частей (ЗЧ), их оперативная доставка, а также оптимальная стоимость) [1, 2, 5, 6, 8-10, 12].

Работы Волгина В.В., Гаджинского А.М., Кротова И.И., Сазонова А.А., Тюкаева Д.А., Шумаева В.А. и др. посвящены проблемам, связанным с оптимизацией материальных потоков в цепях поставок [3, 4, 7, 11, 13-20].

Анализ современного рынка свидетельствует о том, что прогнозирование спроса

услуг и, соответственно потребности в ЗЧ, является очень сложной задачей из-за большого количества факторов, оказывающих непосредственное влияние на величину спроса:

- увеличение парка автомобилей;
- структурное распределение по маркам и моделям, величине годового и общего пробега с начала эксплуатации и т.д.;
- уровень организации на СТОА, включая материально-техническое обеспечение (МТО);
- постоянное увеличение стоимости ЗЧ, и автомобилей в целом;
- состояние дорожного полотна;
- уровень квалификации персонала СТОА, а также владельцев автомобилей.

EDN HRSCQW

¹Булатов Сергей Владимирович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей, тел.: +7 950 189 69 93, e-mail: bul.sergey2015@yandex.ru.

- качество современных автомобилей и новых ЗЧ.

Работа по логистике в сфере обслуживания автомобилей актуальна в настоящее время по нескольким причинам:

- сложности с поставками ЗЧ. В группе риска автомобили старше семи лет, в частности кузовные элементы.

- увеличение доли ЗЧ китайского производства. Производители дубликатов занимают около 30% общего объема рынка комплектующих.

- развитие поставок ЗЧ. Китайские бренды завозят не расходные материалы, а детали для крупного ремонта.

- необходимость индивидуализации системы ТО и ремонта. Это обусловлено современными логистическими требованиями к точности и оперативности выпуска автомобилей на линию и уровню их безотказности.

Основная часть

При работе СТОА с поставщиками ЗЧ есть определенные риски, связанные с нарушениями сроков поставок, несоответствием качества продукции заявленному поставщиком, браком и дефектной продукцией, зависимостью от единственного поставщика; потерей и порчей продукции, а также использованием контрафактных ЗЧ.

Чтобы снизить риски необходимо проверять надежность поставщика, например, оценивать его финансовое положение, возможность внеплановых поставок и др.

Поскольку есть такие ЗЧ, дефицит которых недопустим, при расчете рейтинга поставщика, то на первое место при выборе будет поставлен критерий надежности поставки. Значимость критериев устанавливается экспертным путем сотрудниками отдела материально-технического обеспечения (МТО) (табл. 1).

Таблица 1 – Теоретический расчет рейтинга поставщика ЗЧ

Критерий выбора поставщика ЗЧ	Удельный вес критерия	Оценка значения критерия по десятибалльной шкале	Произведение удельного веса критерия на оценку
1. Надежность поставки	0,30	7	2,1
2. Стоимость ЗЧ	0,25	6	1,5
3. Качество ЗЧ	0,15	8	1,2
4. Условия платежа	0,15	4	0,6
5. Возможность внеплановых поставок ЗЧ	0,10	6	0,6
6. Финансовое положение поставщика ЗЧ	0,05	3	0,15
Итого	1,00	-	6,15

Рассчитывая рейтинг для разных поставщиков ЗЧ и сравнивая полученные значения, выбираем оптимальных, чтобы исключить зависимость от единственного поставщика.

Далее необходимо рассчитать показатели, которые также позволяют оценить уровень логистического обслуживания.

Скорость оборота ЗЧ за период определяется по формуле:

$$v_{O_{ЗЧ}} = \frac{O_{ЗЧ}}{n_{ср}}. \quad (1)$$

где $O_{ЗЧ}$ – оборот ЗЧ за период, шт.;

$n_{ср}$ – средний запас за период, шт.

В материально-техническом обеспечении СТОА также следует учитывать чистый оборот [20]. Скорость оборота ЗЧ может рассчитываться по отдельным складам, по отдельным позициям номенклатуры ЗЧ.

Время обращения ЗЧ показывает продолжительность периода, в течение которого реализуется запас, время нахождения ЗЧ на складе СТОА и определяется по формуле:

$$t_{O_{ЗЧ}} = \frac{n_{ср} \cdot d}{O_{ЗЧ}}, \quad (2)$$

где d – число дней периода.

Для оценки уровня сервиса, оказываемого поставщиком рассчитывается готовность к поставке:

$$G_{ПЗЧ} = \frac{x_{ВЗ}}{x_O} \cdot 100\% \quad (3)$$

или

$$G_{ПЗЧ} = \frac{C_{ФЗЧ}}{C_{ЗЗЧ}}. \quad (4)$$

где $x_{ВЗ}$ – число выполненных заказов, ед.;

x_O – общее число поступивших заказов, ед.;

$C_{фзч}$ – стоимость фактически реализованных ЗЧ, руб.;

$C_{ззч}$ – суммарная стоимость заказанных ЗЧ, руб.

Объем ЗЧ, который не используется определенный период определяется затратами на хранение:

$$Z_{xp} = \frac{n_{cp} \cdot t_{xp} \cdot K}{100}, \quad (5)$$

где t_{xp} – период, в течение которого хранятся ЗЧ;

K – сложный процент, %.

Затраты на логистику, приходящиеся на единицу оборота ЗЧ:

$$Z_{л} = \frac{Z_{лт}}{O_{зч}} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где $Z_{лт}$ – затраты на логистику за определенный период, руб.

К затратам на логистику следует отнести затраты на осуществление следующих операций:

- размещение заказов;

- транспортировка на СТОА;
- затраты на складе СТОА;
- внутрипроизводственные перемещения;
- операции по отгрузке;
- доставка клиенту.

Кроме того, сюда относят также все затраты на персонал, оборудование и помещения, используемые в логистических процессах.

Результаты исследований

Анализ уровня логистического обслуживания в г. Оренбурге проводился на 28 станциях технического обслуживания автомобилей. Однако имеют собственные складские помещения ЗЧ лишь 10 СТОА, при этом с развитой в той или иной степени логистической системой всего 4, которые и были взяты для исследований.

В таблице 2 представлен сравнительный анализ складской деятельности исследуемых СТОА по ассортименту ЗЧ для автосервисных услуг.

Таблица 2 – Сравнительная таблица постоянного ассортимента запасных частей (отечественных (ОЗЧ) и импортных (ИЗЧ)) на складах исследуемых СТОА

Наименование ЗЧ	«СТОА-1»		«СТОА-2»		«СТОА-3»		«СТОА-4»	
	ОЗЧ	ИЗЧ	ОЗЧ	ИЗЧ	ОЗЧ	ИЗЧ	ОЗЧ	ИЗЧ
Детали двигателя	+	+	+	+	-	+	+	+
Детали выхлопной системы	+	-	+	+	-	+	+	+
Детали системы охлаждения	+	-	+	+	+	+	+	+
Детали тормозной системы	+	-	+	+	-	+	+	+
Детали рулевого управления	+	+	+	+	-	+	+	-
Детали трансмиссии	+	+	+	+	-	+	+	+
Детали подвески	+	+	+	-	-	+	+	+
Кузовные элементы	+	-	-	-	-	-	-	-
Аккумуляторные батареи	+	-	-	-	-	+	+	+

Сравнивая ассортимент запасных частей на складах видно, что детали двигателя и трансмиссии имеются на каждой СТОА, что касается дефицитных ЗЧ, то к ним относятся детали импортного производства (не Китай), а также аккумуляторные батареи, которые в основном приобретают в специализированных магазинах. Кузовные элементы, особенно для автомобилей китайского производства, отсутствуют даже на многих складах г. Москвы. Что касается фильтров, эксплуатационных жидкостей и прочей автохимии, то они имеются на всех исследуемых СТОА в достаточном количестве, как отечественных производителей, так и для импортных.

В таблице 3 приведены показатели работы поставщиков ЗЧ для исследуемых СТОА г. Оренбурга. Проведенный опрос менеджеров

указанных СТОА позволил выполнить сравнение исследуемых конкурентов по самым важным показателям работы.

Сравнивая показатели работы поставщиков ЗЧ для исследуемых СТОА, самыми оптимальными будут поставщики для СТОА-1 и СТОА-4, рейтинг которых далее необходимо сравнить, для выбора лучшего (табл. 4).

После анализа работы поставщиков ЗЧ для исследуемых СТОА и экспериментально рассчитанного рейтинга, установлено, что СТОА-1 и СТОА-4 имеют практически одинаковый суммарный рейтинг (6,0 и 5,85 соответственно). Главными критериями данных СТОА являются стоимость ЗЧ, а также надежность поставки (рис. 1).

Таблица 3 – Сравнительная таблица показателей работы поставщиков ЗЧ для исследуемых СТОА

Показатель работы	«СТОА-1»	«СТОА-2»	«СТОА-3»	«СТОА-4»
Скорость оборота ЗЧ	0,75	0,44	0,5	0,83
Время обращения ЗЧ, дни	16	27	24	14
Готовность к поставке	0,8	0,6	0,5	0,9
Средние затраты на хранение, тыс. руб.	15	40	45	24
Средние затраты на логистику, тыс. руб.	1,1	1,84	2,0	1,47

Таблица 4 – Экспериментальный рейтинг поставщиков ЗЧ для исследуемых СТОА

Критерий выбора поставщика ЗЧ	«СТОА-1»	«СТОА-4»	«СТОА-1»	«СТОА-4»	«СТОА-1»	«СТОА-4»
	Удельный вес критерия		Оценка значения критерия по десятибалльной шкале		Значение рейтинга	
1. Надежность поставки	0,30	0,30	6	6	1,8	1,8
2. Стоимость ЗЧ	0,25	0,25	8	7	2,0	1,75
3. Качество ЗЧ	0,15	0,15	5	8	0,75	1,2
4. Условия платежа	0,15	0,15	4	3	0,6	0,45
5. Возможность внеплановых поставок ЗЧ	0,10	0,10	7	4	0,7	0,4
6. Финансовое положение поставщика ЗЧ	0,05	0,05	3	5	0,15	0,25
Итого	1,00	1,00	-	-	6,0	5,85

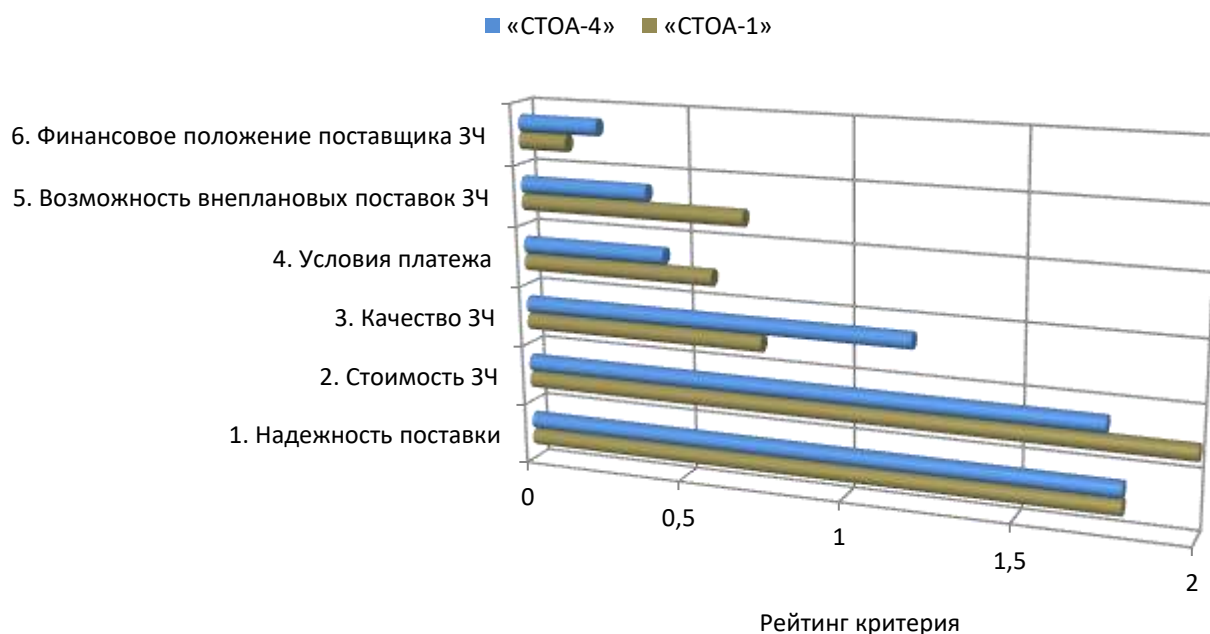


Рисунок 1 – Рейтинг критериев выбора поставщика ЗЧ для СТОА

Оценивая конкурентную ситуацию на рынке логистических услуг для СТОА, расположенных в г. Оренбурге, можно говорить о том, что только две из них обладают развитой логистической системой. Также логистические потоки в анализируемых СТОА позволяют организовать реализацию услуг за одинаковый период

времени, сроки доставки ЗЧ составляют одинаковое количество дней – от двух дней, до двух недель ожидания.

Развитие логистических услуг на СТОА позволит обеспечивать минимальное время комплектации заказа, будет способствовать увеличению пропускной способности склада, что в конечном итоге окажет непосредственное влияние на объем выполненных работ, соответственно прибыль СТОА.

Заключение

Анализ современного рынка ЗЧ показывает необходимость усиления внимания к возможным рискам, особенно после начала кризисов в различных сферах, когда объемы спроса на ЗЧ АТС растут на 20-30 % при низком уровне их качества. К этому добавляются проблемы на СТОА в сфере управления, в частности логистическое обслуживание. Решение этих проблем требует разработки усовершенствованных или новых методик по управлению рисками на СТОА с учётом влияния внешних и внутренних факторов и их дальнейших изменений.

Представленное теоретическое и экспериментальное решение актуальной задачи по совершенствованию логистического процесса управления закупочной деятельностью на СТОА в современных условиях на рынке ЗЧ дает возможность использования предлагаемых подходов анализа критериев выбора поставщика ЗЧ и позволяет прогнозировать возможные затраты СТОА за определенный период времени.

В дальнейшем планируется проведение экспериментальных исследований в нескольких дилерских центрах, что позволит повысить достоверность результатов, их обоснованность, точность и выработать рекомендации по их применению.

Литература

1. Агейкин, А. М. Развитие направления перевозок сборных грузов на рынке инновационной логистики // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики: российский и зарубежный опыт. – 2022. – № 1 (39). – С. 63-66.
2. Алтухова, А. А. Перспективы развития российской логистики в современных условиях // Аллея науки. – 2023. – Т. 1. – № 3 (78). – С. 205-208.
3. Волгин, В. В. Автобизнес. Техника, сервис, запчасти. – М. : ИД "Маркетинг", 2003. – 848 с.

4. Гаджинский, А. М. Логистика / А. М. Гаджинский // 20-е изд. – М. : Дашков и К°. – 2012. – 484 с.
5. Гнилицкая, Е. В. Приоритетные стратегии развития ведущих автомобилестроительных компаний в условиях глобализации мирового хозяйства // Бюл. трансп. информ. – 2001. – № 12. – С. 5-15.
6. Дыбская, В. В. Логистика складирования. – М.: ГУ-ВШЭ. – 2009. – 233 с.
7. Кретов, И. И. Логистика во внешнеторговой деятельности : учеб. пособие / И. И. Кретов, К. В. Садченко. – М. : Дело и сервис. – 2006. – 250 с.
8. Неруш, Ю. М. Логистика Учебник для вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА. – 2006. – 389 с.
9. Плоткин, Б. К. Основы логистики: Учебное пособие / ЛФЭИ. – Л. – 2006. – 255 с.
10. Прокофьева, Т. А. Логистические центры в транспортно-логистической системе России : учеб. пособие / Т. А. Прокофьева, В. И. Сергеев. – М.: Издательский дом «Экономическая газета», 2012. – 524 с.
11. Сазонов, А. А. Создание системы управления предприятием на основе логистических инструментов / А. А. Сазонов, В. А. Шумаев // Экономист. – 2014. – № 1. – С. 61-68.
12. Свечникова, О. Н. Искусственный интеллект в складской логистике / О. Н. Свечникова, Е. А. Малышев // Современные проблемы инновационной экономики. – 2023. – № 9. – С. 391-394.
13. Тюкаев, Д. А. Управление производством и сбытом продукции предприятий машиностроения : учеб. пособие / Д. А. Тюкаев, В. А. Шумаев, С. М. Ходченко. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. – 111 с.
14. Тюкаев, Д. А. Управление экспортоориентированными отраслями промышленности : учеб. пособие / Д. А. Тюкаев, В. А. Шумаев, С. М. Ходченко. – М. : РХТУ им. Д.И . Менделеева, 2012. – 104 с.
15. Шумаев, В. А. Маркетинг и логистика оптового звена / В. А. Шумаев // Ресурсы, информация, снабжение, конкуренция (РИСК). – 2013. – № 1. – С. 41-45.
16. Шумаев, В. А. Логистика в теории и практике современной экономики : монография / В. А. Шумаев. – М. : Изд-во МУ им. С. Ю. Витте, 2014. – 212 с.
17. Шумаев, В. А. Эффективное управление на основе логистических принципов / В. А. Шумаев // Механизация строительства. – 2011. – № 5(803). – С. 3-5.
18. Шумаев, В. А. Зарубежный опыт управления: создание логистической инфраструктуры на основе организации свободных экономических зон / В. А. Шумаев, В. Н. Миронов // Инноватика и экспертиза. – 2012. – № 1(8). – С. 49-57.
19. Шумаев, В. А. Основы логистики : учеб. пособие / В. А. Шумаев. – М. : Юридический институт МИИТ, 2016. – 314 с.
20. Шумаев, В.А. Логистика товародвижения / В.А. Шумаев. – Москва: Издательский дом "Новый век", 2001. – 194 с.

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ В КРУПНОМ ГОРОДЕ НА ПРИМЕРЕ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

П.Р. Абрамов¹

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.*

Рассмотрена работа транспортной системы г. Санкт-Петербурга. На основе углубленного анализа данных интенсивности движения транспорта выделены характерные участки улично-дорожной сети и полностью описаны условия движения. В статье сделаны выводы о важности определения объемов перемещений.

Ключевые слова: интенсивность движения, сбор исходных данных, расчет среднегодовой суточной интенсивности движения.

ANALYSIS OF THE DISTRIBUTION OF TRAFFIC INTENSITY IN A LARGE CITY ON THE EXAMPLE OF ST. PETERSBURG

P.R. Abramov

*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Russia, 190005, 2 Krasnoarmeyskaya Street, 4, Saint Petersburg.*

The article discusses the operation of the transport system in St. Petersburg. Based on an in-depth analysis of traffic intensity data, the article identifies characteristic sections of the street network and describes the traffic conditions. The article concludes that it is important to determine the volume of traffic.

Keywords: traffic intensity, collection of initial data, calculation of the average annual daily traffic intensity.

Введение

Сбор исходных для выполнения анализа текущих условий движения, прогнозирования интенсивности движения с целью выполнения проектно-изыскательских работ и составления планов развития улично-дорожной сети городов является частью работы по повышению качества транспортного обслуживания любой агломерации будь то крупный город или малый населенный пункт. [1,2,3,4,5]

В настоящей статье проводится исследование различий в характере движения на различных участках улично-дорожной сети крупного города. На основе анализа данных о среднегодовых суточных изменениях интенсивности движения разработана классификация характерных участков дорожной сети. Эмпирической базой исследования выступает Санкт-Петербург — город федерального значения с населением свыше 5,5 млн человек.

Градостроительная структура мегаполиса характеризуется выраженной дифференциацией плотности населения и четким функциональным зонированием территории, вклю-

чающим производственные зоны, жилые районы, рекреационные территории и общественно-деловые кластеры. [6,7,8]

Специфика объектов притяжения напрямую определяет объем транспортного потока и характер его суточных колебаний, что существенно влияет на качество сбора исходных данных в соответствующих зонах. В российских городах наблюдается выраженный дисбаланс между локациями мест проживания и рабочих мест, а также административных и образовательных учреждений. В связи с этим в исследовании проанализированы различные участки улично-дорожной сети и детально описан характер движения на них.

Методы

Для описания закономерности изменения движения на представленных классах улиц были собраны исходные данные об интенсивности движения с более чем шестидесяти участков автоматизированным способом [9,10,11]. На каждом из участков движения выполнялся анализ его работы за период от 1 до 3 последних лет.

При проведении данного исследования был произведен статистический анализ полученных исходных данных.

Теория

При проведении исследования на основе обработанных массивов данных были выделены следующие участки улично-дорожных сети:

- Дуговые магистрали – это улицы расположенные на среднем удалении от центральной части города и обеспечивающие проезд транспортных средств в обход центральной части города. [12, 13]

- Радиальные (центростремительные) – это улицы обеспечивающие движение транспорта между центральной частью города и периферийными районами.[13]

- Вылетные магистрали – это улицы по которым осуществляются корреспонденции между городской и внешней улично-дорожной сетью (околоавтомобильные дороги, автомобильные дороги регионального и федерального значения).

- Магистрали центральной части города – это улицы, обеспечивающие транспортную связь внутри центральной части города и распределяющие потоки между периферийными направлениями.

В ходе исследования эти улицы были подразделены на основные и второстепенные. Основные магистрали обеспечивают транзитное движение транспортных средств и доступ к второстепенным магистралям. Второстепенные магистрали в свою очередь закрепляют связи периферийной инфраструктуры с основными магистралями.

Результаты

На основе обработанных массивов данных были определены зависимости изменения среднегодовой суточной интенсивности движения.

На рисунке 1 показано распределение интенсивности движения на дуговых магистралях города.

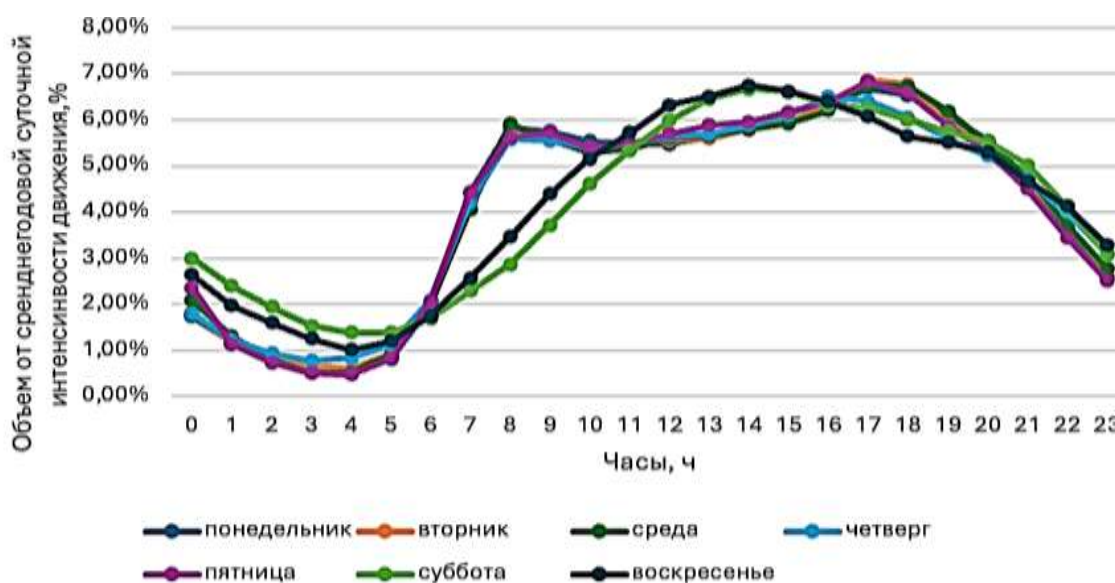


Рисунок 1 – Распределение среднегодовой суточной интенсивности движения на дуговых магистралях города

На дуговых магистралях наблюдаются характерные утренний и вечерний часы пик, который составил в среднем 5,5-5,8% от суточного объема перемещений, при этом в вечерний час пик наблюдается повышенный объем перемещений пользователей улично-дорожной сети, который сохраняется на уровне 6,8-6,9% от суточного объема перемещений. Для данного типа улиц

характерно плавное нарастание объемов перемещений к вечернему часу пик. При этом отсутствует резкий скачок за наступлением утреннего часа пик. Характерный дневной час пик отсутствует.

На рисунке 2 показано распределение интенсивности на радиальных (центростремительных) магистралях города.

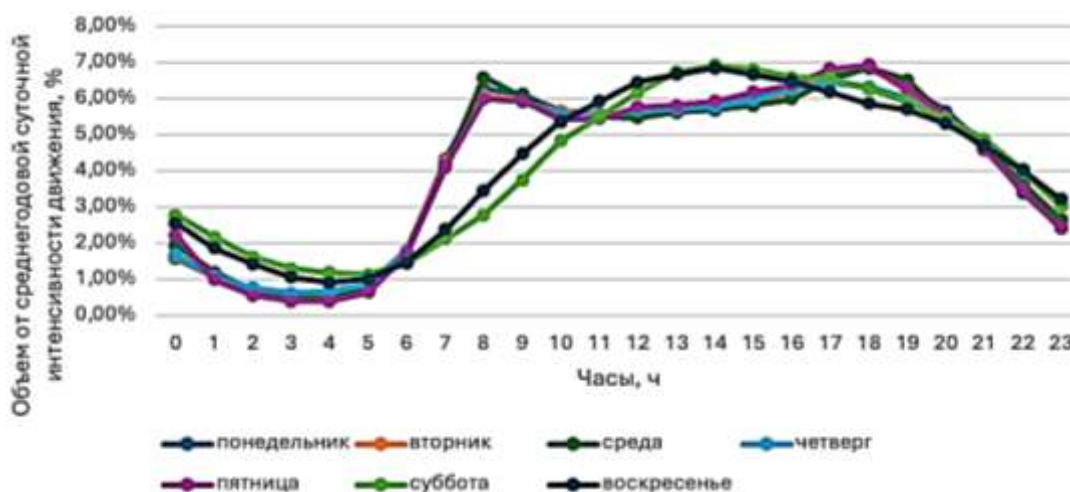


Рисунок 2 – Распределение среднегодовой суточной интенсивности движения на радиальных (центростремительных) магистралях города

Для центростремительных магистралей характерны более ярко выраженные часы пик, долевой объем перемещений в утренний час пик достигает 6,5%, в вечерние часы пик 6,7-6,9%, при этом за наступлением утреннего часа пик наблюдается значительное снижение объемов перемещений до 5,5% в час, которое

сохраняется на протяжении рабочего дня. Также стоит отметить высокую продолжительность вечернего часа пик в интервале с 17 до 20 часов.

На рисунке 3 показано распределение на вылетных магистралях города.

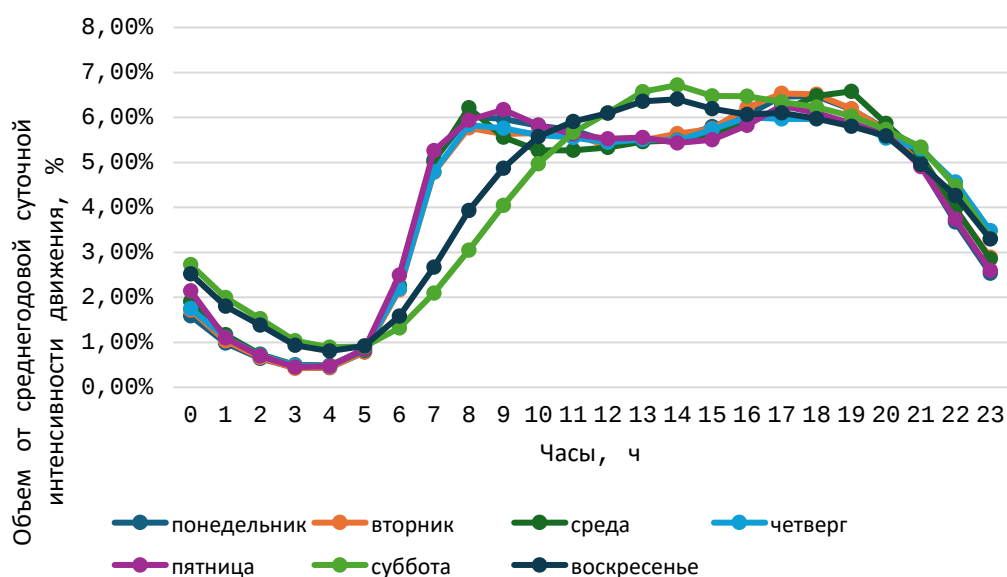


Рисунок 3 – Распределение среднегодовой суточной интенсивности движения на вылетных магистралях

На вылетных магистралях наблюдаются характерные утренние и вечерние часы пик, при этом амплитуда распределения интенсивности не достигает 0,5%, пиковые интенсивности движения достигают 6%, а объем перемещений на

протяжении дня стабилен и составляет 5,5%. Вечерний час пик наступает с 16 часов и продолжается до 20 часов.

На рисунке 4 показано распределение на основных улицах центральной части города.

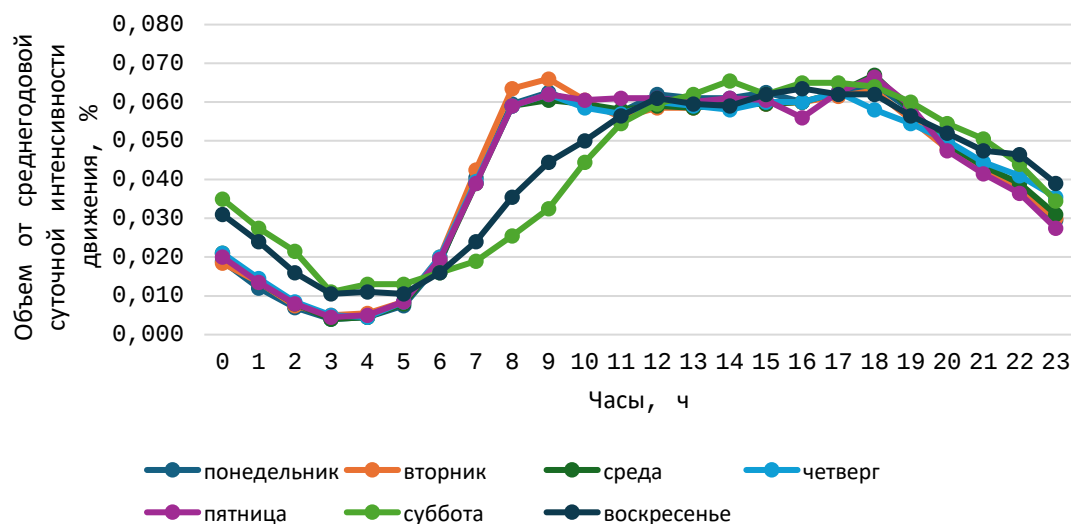


Рисунок 4 – Распределение среднегодовой суточной интенсивности движения на основных улицах центральной части города

Для основных магистралей центральной части города характерна стабильно высокая загрузка улично-дорожной сети, распределение в часы совершения трудовых корреспонденций стабильное на уровне 6% от

суточного объема перемещений, отсутствуют ярко выраженные часы пик.

На рисунке 5 показано распределение на второстепенных улицах центральной части города.

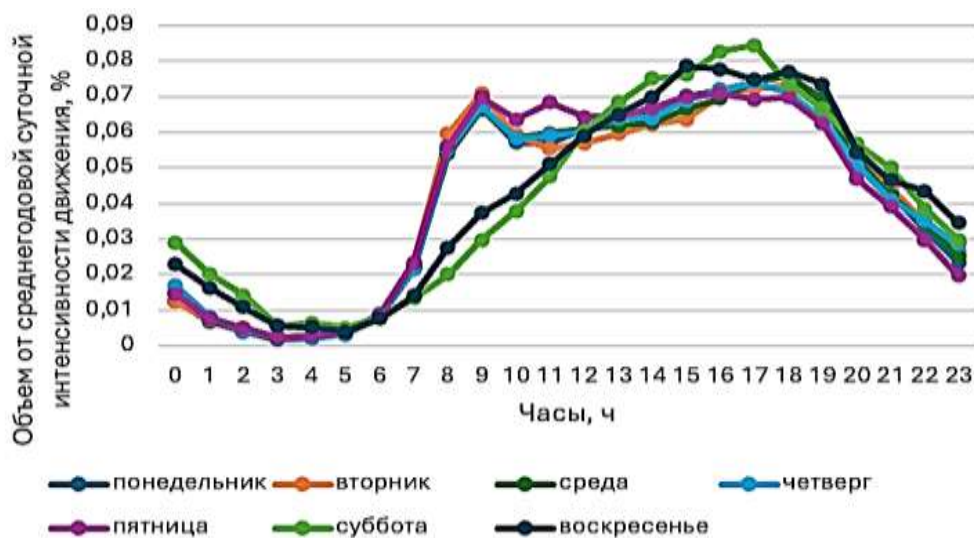


Рисунок 5 – Распределение среднегодовой суточной интенсивности движения на второстепенных улицах центральной части города

На фоне основных магистралей центральной части города заметно значительное изменение распределения интенсивности движения. Утренние пиковые нагрузки составляют до 7% от суточной интенсивности, а вечерние достигают 8%. Также заметна разница в ночном распределении. Нагрузки на второстепенные улицы центральной части города практически в два раза ниже, чем на основных магистралях центральной части города.

Обсуждение

Основной целью данного исследования является повышение эффективности функционирования транспортного комплекса города путем улучшения организации дорожного движения. Выявление данных зависимостей позволит увеличить точность прогнозирования движения и собираемых исходных данных в виде интенсивности движения, которые в свою очередь влияют на:

– оценку реальных условий движения;

- прогнозируемую интенсивность движения, которая напрямую влияет на геометрические параметры автомобильных дорог;
- конструктивные параметры автомобильных дорог, которые влияют на безопасность пользователей улично-дорожной сети;
- потери времени пассажиров при использовании наземного транспорта;
- экологическую безопасность населения.

Выводы

На основе анализа работы транспортной системы города Санкт-Петербурга сделаны следующие выводы:

- Амплитуда колебаний пиковых интенсивностей движения на разных классах улиц города достигает 27%, что значительно сказывается на загрузке улично-дорожной сети и организации дорожного движения;
- На протяжении дня можно отметить стабильное распределение интенсивности движения на уровне 5,5%–5,8% практически на всех классах улиц;
- На улицах центральной части города присутствует значительная разница в уровнях загрузки улично-дорожной сети, на второстепенных улицах центральной части города объем перемещений на 23% выше относительно среднего значений вечерних пиковых интенсивностей других выделенных участков;
- На дуговых магистралях объем перемещений в утренний час пик ниже на 13% относительно вылетных и радиальных магистралей;
- На вылетных магистралях наблюдаются ярко выраженные часы пик, но при этом амплитуда колебаний составляет 0,5% на протяжении рабочих будних дней, что говорит о высоком уровне загрузки магистралей данного вида.

Полученные результаты позволяют повысить качество вырабатываемых решений по развитию улично-дорожной сети города и организации движения на ней.

Литература

1. Требования к программам комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, муниципальных округов, городских округов: [сайт]. – 2015. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_191595/f6213752229e79ff127886bb2839effff40479f/ (дата обращения: 20.06.2025)
2. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 (ред. от 06.05.2024). О составе разделов про-

- ектной документации и требованиях к их содержанию: [сайт]. – 2008. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_75048/ (дата обращения: 21.06.2025)
3. ГОСТ Р 70092–2022. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению экономических изысканий : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2022-05-11 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва : Российский институт стандартизации, 2022. – 28 с.
4. ГОСТ 32965–2014. Дороги автомобильные общего пользования. Методы учета интенсивности движения транспортного потока : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2016-09-08 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва : Российский институт стандартизации, 2022. – 28 с.
5. Тестешев А.А. Определение интенсивности движения транспортных средств на внешних входных дорогах г. Тюмени экспресс-методом / А.А. Тестешев, Е.Н. Легостаева / Научно-технический вестник Поволжья – 2015. – №1 – С. 135–138
6. Костина Д.С. Цели и задачи функционального зонирования территории города / Костина Д. С. / Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» – 2022 – №6 – с. 5426 – 5431
7. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений : свод правил : дата введения: 2016-12-30 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт). – Изд. официальное. – Москва : Минстрой России, 2016 – с. 94.
8. Груздев В. М. Основы градостроительства и планировка населенных мест : Учебное пособие. / В. М. Груздев – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2017 – 105 с.
9. Рыбнов Е. И. Интеллектуальные транспортные системы: Учебник. Том 1 / Е. И. Рыбнов, С. С. Евтюков, А. И. Солодкий. – Санкт-Петербург: Петрополис, 2023. – 356 с.
10. Парсаев Е.В. Результаты работы подсистемы мониторинга транспортных потоков города Омска / Парсаев Е.В., Тетерина И.А. / Грузовик. – 2025 – №2. – С. 35-38
11. Стоян М.В. Повышение эффективности мониторинга автомобильных транспортных потоков / Стоян М.В., Шемякин А. В., Терентьев В.В., Мартынушкин А. Б. / Грузовик – 2025. – №4 – С. 43–47
12. Старостенко Ю. Д. Поиски принципов проектирования нового Юго-западного района Москвы в 1935 – 1941 годах (по материалам Института градостроительства Академии архитектуры СССР) / Старостенко Ю. Д. / Academia. Архитектура и строительство – 2022 – №2 – с. 47 – 58
13. Березинец И. В. Транспортная система и город: какой должна быть транспортная реформа / И. В. Березинец, Е. В. Соколова / Вестник Санкт-Петербургского университета. Менеджмент 19 – 2020 – №3 – с. 362 – 384

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МАРШРУТНОЙ СЕТИ ГОРОДСКОГО НАЗЕМНОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

М.Д. Бурцев¹

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.*

В настоящей статье предложена модель оценки маршрутной сети общественного транспорта на основе метрик центральности для выявления узких мест и повышения качества обслуживания.

Ключевые слова: общественный транспорт, наземный пассажирский транспорт, оценка качества маршрутной сети.

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF THE URBAN GROUND PASSENGER TRANSPORT ROUTE NETWORK

M.D. Burtsev

*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Russia, 190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya St., 4.*

This paper proposes a model for evaluating public transport route network based on centrality metrics to identify bottlenecks and improve service quality.

Keywords: public transport, ground passenger transport, route network quality assessment

Введение

Развитие и совершенствование пассажирского транспорта положительно влияет на экономику города и страны. Благодаря развитой системе общественного транспорта и повышению качества услуг, пассажиры могут экономить время и деньги, совершая перемещения между районами города, поскольку хорошо развитая маршрутная сеть улучшает доступ к деловым районам. В то же время капитальные вложения в инфраструктуру и эксплуатационные расходы, связанные перевозкой пассажиров, стимулируют общую экономику и создают рабочие места. Однако польза от подобных вложений, в том числе, определяется тем, насколько эффективная система общественного транспорта в итоге возникает. При этом, естественно, что качество автобусного сообщения и маршрутной сети наземного общественного транспорта, прежде всего, измеряется возникающим уровнем мобильности граждан и доступностью районов города, количеством автобусных маршрутов и частотой движения, часами работы и надежностью обслуживания. Разработка эффективных мер по улучшению указанных факторов требует моделирования пользовательского опыта и оценки удовлетворенности пассажиров предоставляемыми услугами, а также ожидаемые изменения, которые определяют, чего пользователи хотели бы от эффективного общественного транспорта [1].

В общем случае, при подходе к изучению качества обслуживания населения наземным пассажирским транспортом выделяют два основных направления анализа. Во-первых, анализ, основанный на исследовании качественных данных, полученных в ходе опросов о восприятии пользователей уровня обслуживания [2]. Во-вторых, анализ технических и наблюдаемых элементов системы пассажироперевозок, влияющих на работу общественного транспорта [3]. Первый подход ориентирован на оценку качественной метрики, выражаемой как степень расхождения между восприятием и ожиданиями пассажиров. В таком случае, уровень удовлетворенности пользователей имеет решающее значение при замерах качества обслуживания населения общественным транспортом. При этом, возникают задачи моделирования восприятия пассажиров с целью направленного подбора мер повышения качества предоставляемых услуг [4]. Естественно, что при таком подходе проведение опросов пользователей и анализ полученных ответов является основным инструментом работы с качеством услуг общественного транспорта [5]. Нет сомнений, что именно проведение опросов позволило установить, что на восприятие качества обслуживания населения общественным транспортом влияет множество факторов, включая комфорт транспортного средства, безопасность, время в пути, удобство и доступность поддерживающей инфраструктуры [6].

Сегодня в сфере организации городских пассажирских перевозок общепризнано, что такие факторы как комфорт, чистота, безопасность, надежность, охват услугами и стоимость оказывают критическое влияние на восприятие качества общественного транспорта [7]. Лица, принимающие решения, уделяют все больше внимания улучшению представлений пользователей об удобстве в салоне транспортных средств и простоте доступа для разных социально-экономических групп, поскольку такая стратегия была признана перспективной для сохранения и увеличения пассажиропотока в системе общественного транспорта [8]. Однако, как показывают исследования, помимо технических аспектов, связанных с чистотой, комфортом и надежностью передвижения, а также аспектов, касающихся частоты движения и времени в пути, особое внимание пассажиры уделяют такому фактору как связность, которую обеспечивает существующая маршрутная сеть между районами города [9]. Действительно, конфигурация маршрутов общественного транспорта влияет на связность и доступность городской среды, особенно в районах с низкой плотностью транспортных услуг [10]. Особенно критично уровень доступности и связности, обеспечиваемые общественным транспортом, воспринимают пользователи периферийных районов города, для которых фактор пространственной изоляции в силу отсутствия достаточного числа маршрутов городского пассажирского транспорта оказывается наиболее острым [11].

Пространственная конфигурация автобусных маршрутов влияет на длительность времени в пути, количество пересадок, связность районов города, что, безусловно, сказывается на восприятии пассажиров и их оценке привлекательности системы. Работа с пространственными характеристиками маршрутной сети наземного общественного транспорта позволяет определить приоритеты для мер по улучшению качества обслуживания населения и обеспечению равного доступа к услугам пассажирских перевозок [12]. Исследование различий в насыщенности районов города (и расположенных там остановочных пунктов) маршрутами наземного пассажирского транспорта позволяет находить точки приоритетного воздействия в контексте улучшения качества обслуживания населения. В настоящей работе предложен набор метрик оценки качества маршрутной сети наземного пассажирского транспорта, позволяющих работать с моделью удовлетворенности населения общественным транспортом на уровне пространственной конфигурации предложения. Разработанная таким образом комплексная модель оценки качества маршрутной сети общественного транспорта

была апробирована на примере ряда городов России. Результаты применения такого подхода могут представлять собой важную основу для разработки целенаправленных мер и стратегий по улучшению качества обслуживания населения наземным общественным транспортом с целью повышения устойчивости системы и обеспечению высокого уровня городской мобильности.

Сбор и подготовка данных о маршрутной сети наземного общественного транспорта

Маршрутная сеть наземного общественного транспорта представляет собой комплексную систему взаимосвязанных на уровне улично-дорожной топологии маршрутов и остановочных пунктов. Математически корректное представление такой сети в виде графа, помимо прочего, позволяет обеспечивать хранение информации о времени движения между остановками, о параметрических характеристиках дорог, об их средней загруженности, информацию об инфраструктурных элементах, данные о маршруте и прочую метainформацию. Анализ таким образом представленных данных о сети общественного транспорта позволяет выявлять наиболее нагруженные остановочные пункты и дублирующие маршруты, поддерживать процесс принятия решений в области оптимизации сети в смысле более равномерного распределения транспортной нагрузки. Строго говоря, графом является структура, состоящая из набора вершин или узлов, определенные пары которых соединены ребрами или дугами. Формально, граф G определяется как упорядоченная пара (V, E) , где V – это множество вершин (узлов), E – это множество ребер, каждое из которых является парой вершин. Графы могут быть разных типов и обладать разной спецификой. Например, графы могут иметь петли (ребра, соединяющие вершину с самой собой) или иметь множество ребер между одной парой вершин. Применительно к сетям общественного транспорта, под узлами понимаются остановочные пункты, а под дугами – соединяющие их маршруты. Понятно, что через две пары остановок могут проходить многие маршруты. В этом смысле, графы маршрутных сетей общественного транспорта как раз обладают тем свойством, что пары их узлов могут быть связаны сразу многим числом дуг.

Особым классом графов являются пространственные сети, в которых узлы связаны определенной пространственной метрикой, ассоциированной с ребрами сети. Метрика может характеризоваться евклидовым расстоянием или более сложными зависимостями. Маршрутные сети наземного общественного

транспорта являются частным случаем пространственной сети. В зависимости от конкретных вариантов представлений маршрутной сети, вершины и ребра графа могут нести разную информацию. Действительно, различные реализации могут включать дополнительные метаданные, такие как протяженность дорожного участка, временные характеристики маршрута, типология зданий, географические координаты и т.д. Важно отметить, что одна и та же сеть может иметь альтернативные варианты представления. Грубо говоря, сеть городского наземного пассажирского транспорта может быть представлена псевдо-мета графом, допускающим как петли, так и кратные ребра между парами вершин. В таком случае узлы являются остановочными пунктами, а дуги – элементами маршрутов их соединяющих. При этом, узлы содержат информацию о маршрутах, проходящих через остановку, её географическое положение. В свою очередь, пространственной метрикой является длина переезда с одной остановки на другую, что, как правило, не совпадает с географическим расстоянием между узлами. Вариативность представлений такой сети довольно большая. Например, мы получим разные графы, давая разные ответы на вопрос, хотим ли мы учитывать пересадки или нет.

В силу того, что в отдельных городах количество остановочных пунктов может быть потенциально огромным, построение графа маршрутной сети требует особого внимания к вопросам производительности. Один из вариантов решения задачи построения подобного масштабного графа является использование QuadTree. Quadtree представляет собой древовидную структуру данных, используемую для разбиения двумерного пространства на области, что особенно эффективно для индексирования пространственных данных, таких как точки, прямоугольники или полигоны. Соответствующая технология позволяет ускорять поиск и обработку данных в пространственно-зависимых задачах. Принцип работы QuadTree основан на рекурсивном делении пространства на четыре равных квадрата. Корень дерева соответствует всему исходному пространству, а последующее разбиение производится в случае превышения определенного порога данных в конкретном квадрате. Процесс разбиения продолжается до достижения заданного баланса между количеством данных в квадратах и глубиной дерева. Терминальные узлы (листья) дерева содержат данные, а промежуточные узлы дерева представляют собой - информацию о соответствующих квадратах. Поиск данных в Quadtree осуществляется путем последовательного определения квадрата, со-

державшего искомую точку, что позволяет эффективно исключать значительные области пространства с нерелевантными данными. Использование такой структуры данных обеспечивает логарифмическую вычислительную сложность поиска ближайших объектов ($O(\log n)$), что критически важно для оптимизации процесса построения маршрутной сети.

В рамках настоящего исследования реализован инструмент анализа маршрутной сети наземного общественного транспорта. Следует отметить, что масштаб некоторых сетей может достигать значительных размеров, что требует использования оптимизированных алгоритмов для сбора и хранения данных о сетевых структурах. В этой связи, в качестве языка программирования был выбран Python, а для хранения и управления сетевыми данными использовалась графовая база данных neo4j. Визуализация результатов осуществлялась посредством neo4j Bloom и Python библиотек folium и plotly. Формирование соответствующих баз данных происходило с использованием OpenStreetMap и Python библиотека osmnx. В дополнение к базовой топологической структуре маршрутных сетей, в процессе исследования были собраны разнообразные метаданные: географические координаты, протяженность участков, количество пересечений для дорожных элементов, а также адресные характеристики, функциональное назначение и т.п. С целью оптимизации процессов пространственного анализа была задействована высокопроизводительная библиотека quads. Сбор данных о маршрутных сетях наземного пассажирского транспорта осуществлялся благодаря использованию информационных ресурсов с открытым доступом, обеспечивших информацию о маршрутах общественного транспорта более чем в 200 городах. Реализованные инструменты сбора формировали сеть путём последовательного добавления маршрутов, что позволило сформировать псевдо-метаграф с информацией о временных характеристиках маршрутов, проходящих через конкретные транспортные узлы. Визуальный анализ сети наземного общественного транспорта, представленного в виде графа, является затруднительным в силу наложения большого числа маршрутов. В этой связи, следует использовать специальные графовые метрики для оценки качества маршрутной сети.

Метрики оценки качества маршрутной сети наземного общественного транспорта

В настоящей статье, для целей повышения качества обслуживания и общей эксплуатационной эффективности городского наземного общественного транспорта, предложен

набор метрик оценки качества маршрутной сети наземного пассажирского транспорта. На основе таких характеристик как центральность, степень вершины, *betweenness* и *PageRank*, оцениваемых для существующих в системе наземного пассажирского транспорта остановочных пунктов и маршрутов, удастся выявлять узкие места в существующей системе общественного транспорта. В самом деле, получаемые таким образом оценки позволяют ранжировать и специфицировать элементы маршрутной сети, а также установить, насколько сеть сбалансирована в целом. Центральность – это семейство метрик узлов, характеризующих важность вершин в графе и позволяющих проводить анализ структуры графа с целью выявления ключевых узлов. Степень вершины в графе определяется как количество инцидентных ей ребер, что позволяет оценить степень разреженности графа и предоставляет информацию о важности вершины для функционирования сети. *Betweenness* – это метрика в теории графов, количественно определяющая частоту включения данной вершины в кратчайшие пути между всеми возможными парами вершин в графе. *PageRank* является итеративным алгоритмом, который присваивает каждому узлу в графе весовой коэффициент, отражающий его относительную важность в сети. Таким образом, рассматриваемые в рамках данного исследования специализированные метрики графов могут обеспечить основу для решения различных прикладных задач в области оценки и повышения качества обслуживания населения наземным общественным транспортом.

Известно, что узлы сетей с наибольшим показателем центральности являются критически важными для её функционирования. В контексте маршрутных сетей можно сказать, что узлы с высоким показателем центральности характеризуются интенсивным пассажирским потоком. В этой связи, при поиске мер по улучшению качества сети, следует стремиться к снижению показателей центральности наиболее нагруженных узлов для обеспечения более равномерного распределения нагрузки, повышения однородности сети и её устойчивости к потенциальному “выходу из строя” центральных узлов. Существует множество вариантов реализации процесса вычисления метрики центральности, которые основываются на разных алгоритмах и используют разные эвристики для её определения. Показатель центральности имеет существенное значение для комплексного анализа сетей и часто используется в качестве оптимизируемого параметра в алгоритмах проектирования оптимальных маршрутов общественного транс-

порта [13]. В свою очередь, чем больше степень вершины, тем больше маршрутов проходит через неё, если речь идёт по маршрутные сети наземного пассажирского транспорта. Эмпирические исследования демонстрируют высокую корреляцию между степенью вершины и реальной нагрузкой на узле [14]. *Betweenness* позволяет работать с взвешенными графами и основывается на кратчайших путях между всеми узлами. В контексте маршрутных сетей общественного транспорта эта метрика позволяет оценивать пассажиропоток, поскольку основывается на кратчайших маршрутах, которые скорее всего будут выбраны при перемещении между различными точками сети. Поскольку *betweenness* может вычисляться с использованием реальных данных о загрузке сети, её ценность в поиске наиболее нагруженных узлов существенна.

Отличительной особенностью *betweenness* является её чувствительность к топологическим характеристикам сети. В отличие от более простых метрик, таких как степень вершины, *betweenness* учитывает не только количество связей вершины, но и её положение в сети. Вершина может иметь небольшое количество прямых связей, но всё же обладать высокой *betweenness*, если она находится на многих кратчайших путях между другими вершинами. Последнее делает её особенно полезной для выявления узлов, критически важных для функционирования всей сети, значимость которых может быть недооценена при использовании альтернативных метрик. Более того, исследование, проведённое на примере графе дорожной сети части Стамбула, показало хорошую степень аппроксимации реальной нагрузки сети метрикой *betweenness* [15]. Однако, существуют и обратные примеры. В частности, при анализе железнодорожной сети Европы было установлено, что степень вершины оказалась более точна в интерполяции реальной нагрузки, чем *betweenness* [14]. В то же время, следует не забывать, что вычисление *betweenness* может быть очень трудоёмкой операцией для больших сетей, поскольку требует вычисления кратчайших путей между всеми вершинами. При этом, в исследовании дорожной сети Стамбула, метрика *Page Rank* продемонстрировала лучшую аппроксимацию реальной нагрузки узлов сети, чем *betweenness* [15]. В отличие от метрик, непосредственно основанных на структурных свойствах графа, *Page Rank* учитывает не только количество связей узла, но и их качество. Прежде всего, *Page Rank* отличается от *betweenness* тем, что *Page Rank* находит центральные узлы в сети, основываясь на всех маршрутах, а не только на кратчайших.

Ключевой особенностью алгоритма Page Rank является его итеративный характер: сначала каждому узлу присваивается начальное значение, после чего на каждой итерации вес каждого узла пересчитывается на основании весов узлов, ссылающихся на него. Процесс повторяется до тех пор, пока веса не сойдутся до определённого уровня (в результате, узлы, на которые ссылаются другие важные узлы, получают более высокий Page Rank). Возможно, именно поэтому Page Rank даёт более “сглаженные” результаты, чем betweenness. В рамках настоящего исследования, для вычисления сетевых метрик использовались инструменты neo4j. В частности, при вычислении метрик центральности использовались

процедуры `gds.betweenness` и `gds.pageRank`, позволяющие за приемлемое время находить значения соответствующих метрик для каждого узла сети. Учитывая вычислительную сложность задач оценки метрик, время вычислений оказалось решающим фактором при выборе конкретных инструментов. В свою очередь, визуализация получаемых результатов проходила с применением инструмента neo4j bloom, который обеспечивает качественную визуализацию различных сетей, а также с использованием Python-библиотеки, которая создает интерактивные карты. На рис. 1 приведены варианты визуализации соответствующих метрик для города Архангельск.

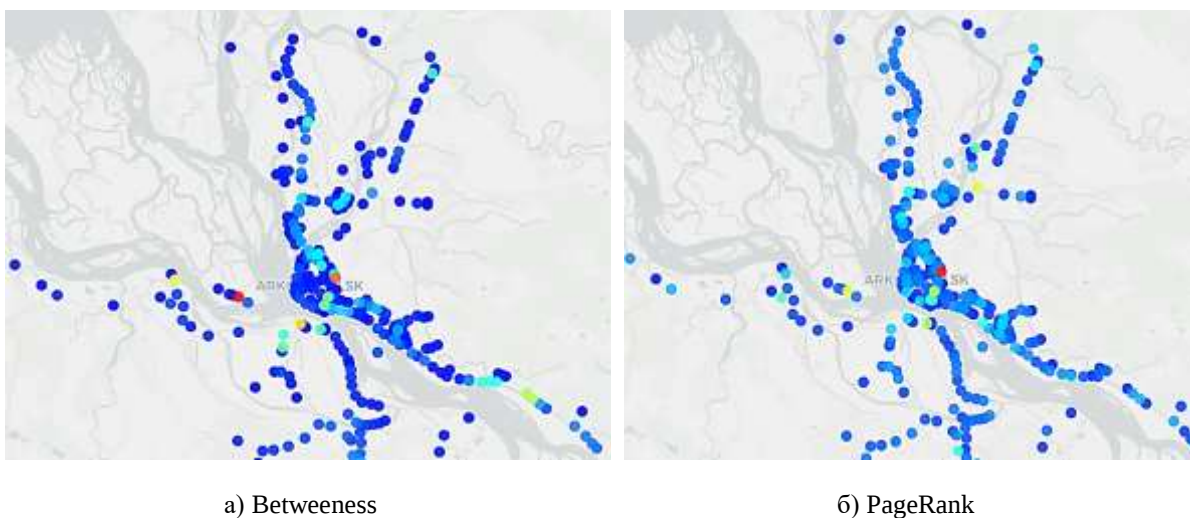


Рисунок 1 – Оценка метрик **Betweenness** и **PageRank** для сети наземного общественного транспорта города Архангельск

В представленной на рис. 1 визуализации значения метрик **Betweenness** и **PageRank** для сети наземного общественного транспорта города Архангельск использован следующий подход к демонстрации значимости остановочного пункта: чем холоднее цвет, тем менее значим узел с точки зрения выбранной метрики. Следует обратить внимание на то, что метрики **Betweenness** и **PageRank** многие остановочные пункты определяют одинаково с точки зрения их значимости, но по каким-то из узлов сети есть явные расхождения. Действительно, обратимся к гистограммам, приведённым на рисунках 2 и 3. В частности, видно, что через остановку «Больница» проходит наибольшее число маршрутов, однако, наибольшую значимость для пассажиров, всё же представляет «Автовокзал Архангельска».

Анализ маршрутных сетей наземного общественного транспорта

В рамках настоящей работы были проанализированы метрики качества маршрутных сетей разных городов России. На рис. 4 приведена визуализация метрик **Betweenness** и **PageRank** для сети наземного общественного транспорта города Казань.

Визуальный анализ позволяет заметить, что в маршрутной сети наземного пассажирского транспорта города Казани имеется довольно много остановочных пунктов, через которые проходит большое число маршрутов, однако, при этом, не многие из них демонстрируют важность с точки зрения топологии сети. Напротив, как видно из рис. 5, маршрутная сеть наземного общественного транспорта города Калининграда в этом смысле является более сбалансированной.

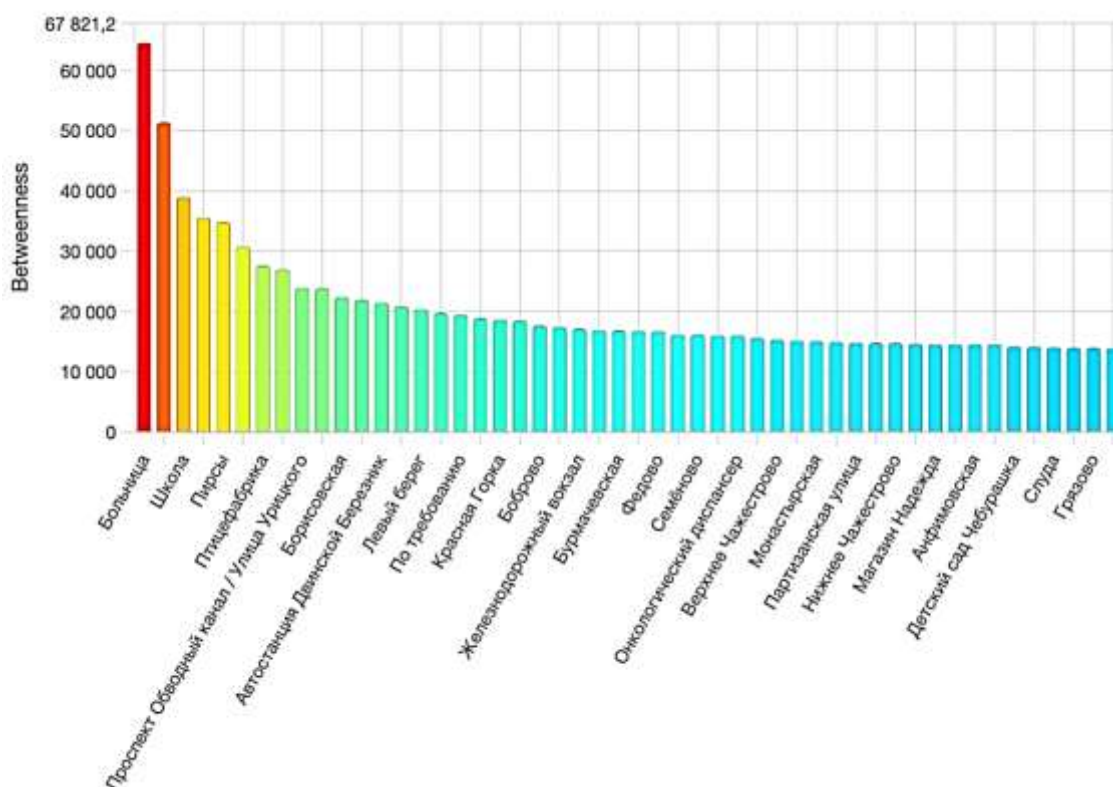


Рисунок 2 – Гистограмма метрики Betweenness для сети наземного общественного транспорта города Архангельск

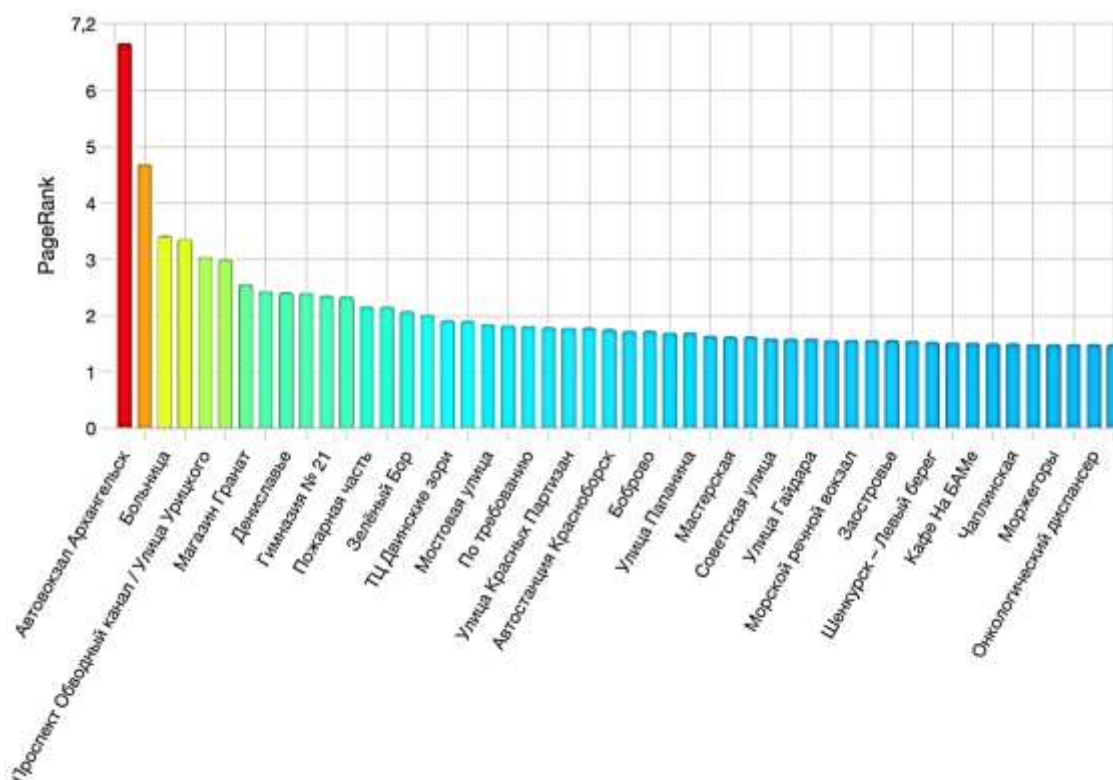
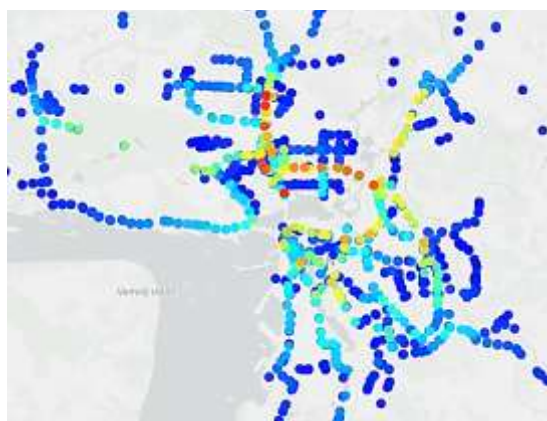


Рисунок 3 – Гистограмма метрики PageRank для сети наземного общественного транспорта города Архангельск

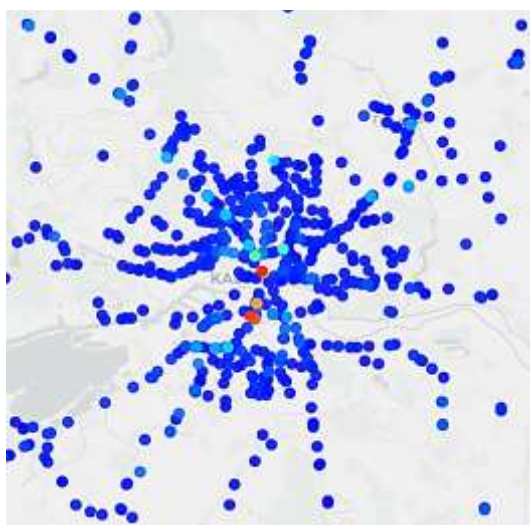


а) Betweenness

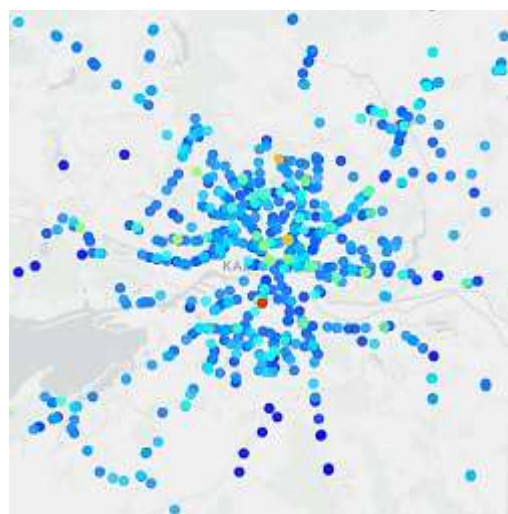


б) PageRank

Рисунок 4 – Оценка метрик Betweenness и PageRank для сети наземного общественного транспорта города Казань



а) Betweenness



б) PageRank

Рисунок 5 – Оценка метрик Betweenness и PageRank для сети наземного общественного транспорта города Калининград

Таким образом, опираясь на визуальный анализ метрик качества сети, можно определять мероприятия, которые необходимо реализовывать, чтобы оптимизировать сеть и повышать качество обслуживания населения. С другой стороны, опираясь на информацию с гистограмм также можно выявлять важную для лиц, принимающих решения, информацию. Например, на рисунках 5 и 6 приведены гистограммы соответствующих метрик для Тулы.

Благодаря гистограммам метрик Betweenness и PageRank для сети наземного общественного транспорта города Тула, можно заметить, что в Туле очень востребована остановка по требованию, что удалось выявить благодаря анализу маршрутной сети, а не социальным опросам или другим формам исследования. Оценка метрик качества маршрутной

сети общественного транспорта позволяет выявлять наиболее загруженные и наиболее востребованные с точки зрения топологии сети остановочные пункты, что позволяет поддерживать принятие решений в области совершенствования и организации процесса перевозок пассажиров. Действительно, анализ метрик позволяет устанавливать, насколько сбалансированными являются маршрутные сети наземного пассажирского транспорта, а также за счёт чего может быть достигнуто улучшение показателей качества обслуживания населения. При детальном рассмотрении можно заметить, что вершины (остановочные пункты) с наибольшими значениями метрик особенно влияют на загруженность сети, а также оказываются критически важными и потенциально уязвимыми точками сетевой структуры.

Заключение

В настоящей статье, для целей повышения качества обслуживания и общей эксплуатационной эффективности городского наземного общественного транспорта, предложен набор метрик оценки качества маршрутной сети наземного пассажирского транспорта. Показано, что на основе таких характеристик как центральность, степень вершины, betweenness и PageRank, оцениваемых для существующих в системе наземного пассажирского транспорта остановочных пунктов и маршрутов, удастся выявлять узкие места в существующей системе общественного транспорта. В самом деле, получаемые таким образом оценки позволяют ранжировать и специфицировать элементы маршрутной сети, а также установить, насколько сеть сбалансирована в целом. Используя информацию о мере весов элементов маршрутной сети в разных метриках, можно

снижать дисбалансы в работе сети путём перераспределения маршрутов, реализуя тем самым комплексный подход к повышению качества обслуживания общественного транспорта. Предложенная в настоящей статье комплексная модель оценки качества маршрутной сети общественного транспорта была апробирована на примере ряда городов России и продемонстрировала свою работоспособность. Разработанный подход учитывает множество показателей, касающихся топологических особенностей города, оценивая качество маршрутной сети общественного транспорта в целом. Результаты применения такого подхода могут представлять собой важную основу для реализации целенаправленных мер по улучшению качества обслуживания населения наземным общественным транспортом.

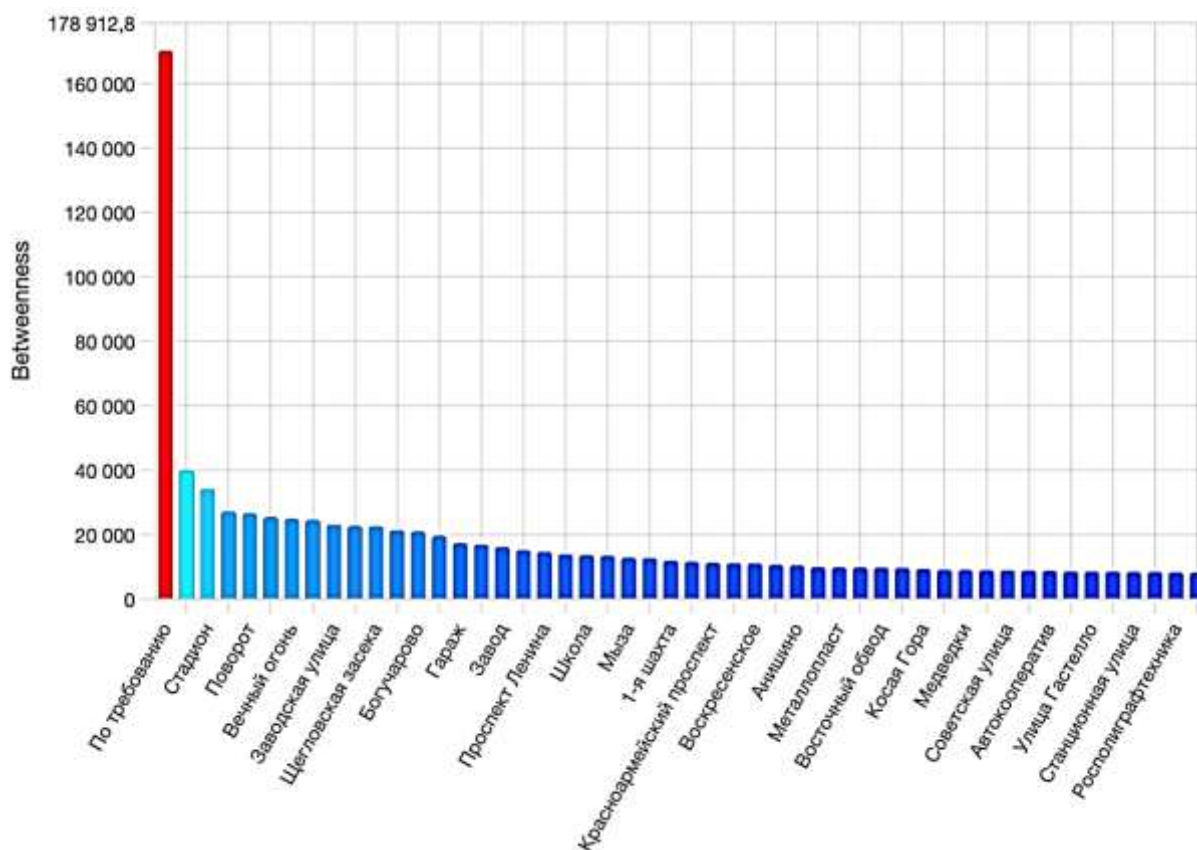


Рисунок 6 – Гистограмма метрики Betweenness для сети наземного общественного транспорта города Тула

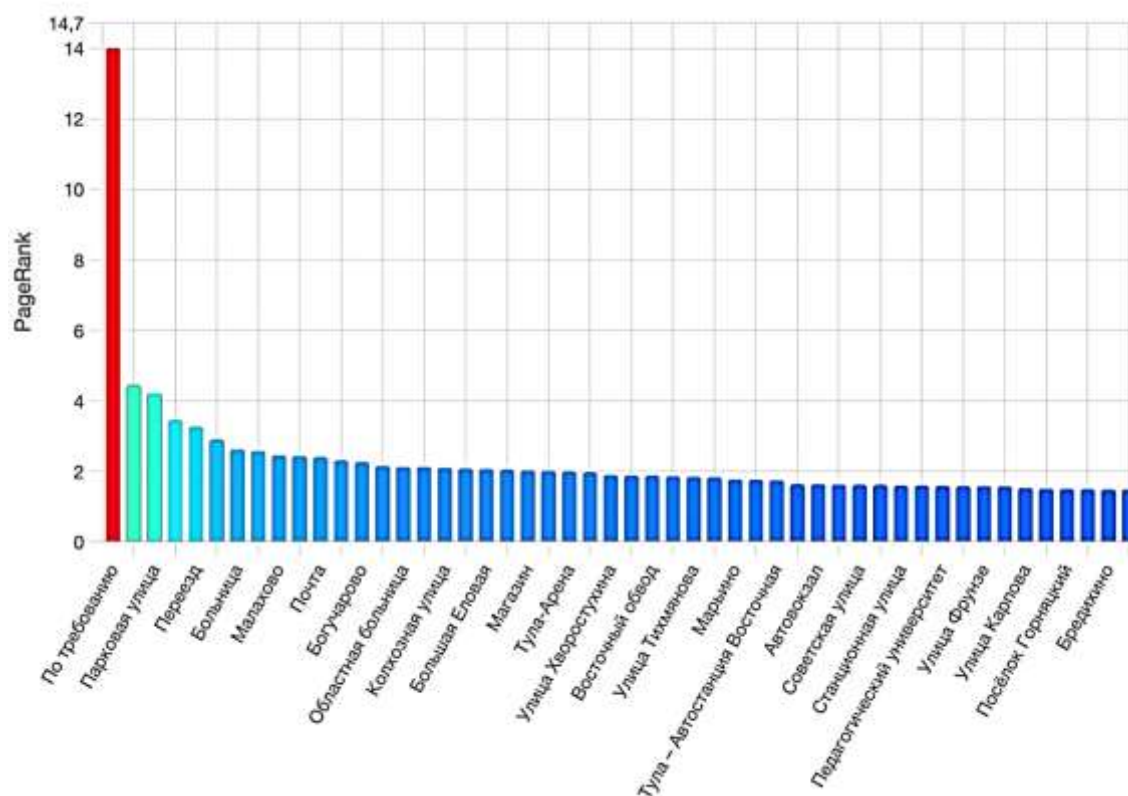


Рисунок 7 – Гистограмма метрики PageRank для сети наземного общественного транспорта города Тула

Литература

1. Paquette, J.; Bellavance, F.; Cordeau, J.F.; Laporte, G. Measuring quality of service in dial-a-ride operations: The case of a Canadian city. *Transportation* 2012, 39, 539–564.
2. Abenoza, R. F., O. Cats, and Y. O. Susilo. 2017. "Travel Satisfaction with Public Transport: Determinants, User Classes, Regional Disparities and their Evolution." *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 95:64–84.
3. Conies, E., M. Novales, A. Orro, and J. Anta. 2014. "Buses with High Level of Service in Nantes, France: Characteristics and Results of the Busway Compared with Light Rail Transit." *Transportation Research Record* 2418 (1): 66–73.
4. dell'Olio, L., A. Ibeas, and P. Cecin. 2010. "Modeling User Perception of Bus Transit Quality." *Transport Policy* 17 (6): 388–397.
5. de Oña, J., and R. de Oña. 2015. "Quality of Service in Public Transport Based on Customer Satisfaction Surveys: A Review and Assessment of Methodological Approaches." *Transportation Science* 49 (3): 605–622.
6. dell'Olio, L., A. Ibeas, and P. Cecin. 2011. "The Quality of Service Desired by Public Transport Users." *Transport Policy* 18 (1): 217–227.
7. Eboli, L., and G. Mazzulla. 2008. "A Stated Preference Experiment for Measuring Service Quality in Public Transport." *Transportation Planning and Technology* 31 (5): 509–523.
8. Morton, C., B. Caulfield, and J. Anable. 2016. "Customer Perceptions of Quality of Service in Public Transport: Evidence for Bus Transit in Scotland." *Case Studies on Transport Policy* 4 (3): 199–207.
9. Echaniz, E., R. Cordera, A. Rodriguez, S. Nogués, P. Coppola, and L. dell'Olio. 2022. "Spatial and Temporal Variation of User Satisfaction in Public Transport Systems." *Transport Policy* 117:88–97.
10. Inturri, G., N. Giuffrida, M. Le Pira, M. Fazio, and M. Ignaccolo. 2021. "Linking Public Transport User Satisfaction with Service Accessibility for Sustainable Mobility Planning." *ISPRS International Journal of Geo-Information* 10 (4): 235.
11. Horňák, M., R. Hluško, A. Rochovská, and V. Lelesková. 2023. "Public Transport Accessibility and Spatial Exclusion in Roma Settlements: A Case Study of Three Regions in Eastern Slovakia." *Moravian Geographical Reports* 31 (1): 27–38.
12. Cordera, R., S. Nogués, E. González-González, and L. dell'Olio. 2019. "Intra-Urban Spatial Disparities in User Satisfaction with Public Transport Services." *Sustainability* 11 (20): 5829.
13. Никитина Н.Н. Расчет центральности в анализе загруженности городских дорог на примере г. Петрозаводск // *Математическая Теория Игр и её Приложения*. - 2023 - в.3 - с. 41–63.
14. Barthélemy M. *Spatial networks* // *Physics Reports*. - 2011. - V. 499 - P. 1-101.
15. Kuşkan E. *Urban Road Transport Network Analysis: Machine Learning and Social Network Approaches* // *Operation and Economics in Transport – 2022* - P.232-245.

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЕЙШИХ ТИПОВ ТРАНСПОРТНЫХ РАЗВЯЗОК НА ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ ДОРОГ СО СРЕДНЕЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ДВИЖЕНИЯ

О.И. Каракулова¹, Е.В. Голов²

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.*

Статья посвящена исследованию предложений по внедрению высокоэффективных транспортных развязок в дорожную сеть. Представленные в работе способы разделения транспортных потоков в пространстве не имеют широкого применения, а некоторые предложены для дорожной сети Санкт-Петербурга впервые. Выбран район перспективной реализации, который отличается сложными условиями движения, а именно активно развивающаяся территория жилищного строительства. При помощи средств математического моделирования определена эффективность предлагаемых решений по модернизации существующих и обустройству новых транспортных развязок.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожное строительство, интенсивность движения, транспортные развязки, микромоделирование, застраиваемые районы.

A COMPREHENSIVE STUDY AND PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF THE LATEST TYPES OF TRAFFIC INTERCHANGES AT ROAD INTERSECTIONS WITH MEDIUM TRAFFIC INTENSITY

O.I. Karakulova, E.V. Golov

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 4 2nd Krasnoarmeyskaya St., Saint Petersburg, 190005, Russia.

The article is devoted to the study of proposals for the introduction of highly efficient transport interchanges in the road network. The methods presented in the paper for separating traffic flows in space are not widely used, and some are proposed for the first time for the St. Petersburg road network. A promising implementation area has been selected, which are characterized by difficult traffic conditions, namely, actively developing housing construction areas. Using mathematical modeling, the effectiveness of the proposed solutions for the modernization of existing and the construction of new transport interchanges has been determined.

Keywords: highway, road construction, traffic intensity, transport interchanges, micro-modeling, built-up areas.

Одним из наиболее ключевых факторов, влияющих на условия дорожного движения, является его интенсивность. Высокая загруженность автомобильных дорог приводит к ряду отрицательных последствий, таких как снижение скоростей движения, образование заторовых и аварийно-опасных ситуаций. В связи с чем крайне необходимо эффективно управлять дорожным движением на улично-дорожной сети и предупреждать потенциальные проблемы, вызванные ростом уровня автомобилизации [1, 2, 3].

Для северо-западного региона наиболее загруженной магистралью является федеральная автомобильная дорога А-118 «Кольце-

вая автомобильная дорога» (далее – КАД) с интенсивностью движения, на некоторых участках превышающей 200 тысяч автомобилей в сутки (по данным на 2023-2024 гг.), в то время как она относится к категории IА, что на основании СП 34.13330.2021 соответствует интенсивности движения более 14000 приведенных единиц в сутки [4].

На федеральных дорогах Санкт-Петербурга и Ленинградской области, в том числе на магистрали А-118 наиболее распространены такие конфигурации развязок, как «Клеверный лист» – один из немногих типов вариантов, который может быть подвержен реконструированию в зависимости от объема выделяемой для

EDN MHZBQT

¹Каракулова Ольга Игоревна – магистрант, e-mail: okarakulova.mail.com@yandex.ru;

²Голов Егор Викторович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: egorgoloff@yandex.ru.

его обустройства территории и плотности потоков без радикального переустройства, а

также развязка «Труба», являющаяся основным типом полных простых развязок для трех направлений (рисунок 1).



Рисунок 1 – Многообразие типов развязок на Кольцевой автомобильной дороге

При разработке проекта с целью определения наиболее соответствующей схемы организации движения в конкретных условиях необходимо производство изысканий и технико-экономических расчетов с использованием программ математического моделирования.

Также немаловажными аспектами в данном вопросе являются особенности рельефа территории и характер и показатель плотности застройки в месте будущего строительства.

Применяемые на дорогах общего пользования типы развязок имеют ограниченный потенциал, что в совокупности с постоянным ростом интенсивности формирует нагрузку, превышающую пропускную способность исследуемых транспортных развязок [5]. В связи с чем возникает необходимость разработки новейших решений по разделению транспортных потоков в пространстве. Изучение опыта других стран может быть полезным для поиска неизвестных решений и их дальнейшего применения в современных российских условиях.

Во Франции на пересечении улицы Авелен и шоссе Нор можно встретить такой вид развязки, как *Double crossover diamond interchange* или так называемый расходящийся ромб с изменением сторонности движения (представлено на рисунке 2) [6]. В таких условиях транспорт меняет направление движения на пересечении основных магистралей. Также необходимо отметить компактность пересече-

ния, так как все съезды вытянуты вдоль главной дороги, что делает его достаточно узким и позволяет вписать в стесненные условия.



Рисунок 2 – Ромбовидный перекресток со сменной сторонности

Аналогичным перспективным решением, встречающимся зачастую за рубежом, является транспортная развязка по типу «Двойная слеза» или «Собачья кость», изображенная на рисунке 3.

В рамках исследования изучены применяемые виды ромбовидных транспортных развязок на дорожной сети Российской Федерации по сравнению со схожими по устройству пересечениями на дорогах США, а также произведена оценка их сложности. На схематичных

изображениях пересечений для этого традиционно используются следующие обозначения конфликтных точек: красным цветом обозначены места слияния транспортных потоков, синим – пересечений, а оранжевым – отклонений.



Рисунок 3 – «Двойная слеза»

При изучении модели классической ромбовидной развязки на примере пересечения улицы Подольских Курсантов и Варшавского шоссе в городе Москва можно заметить возникновение и накапливание очередей из ав-

томобилей по нескольким направлениям движения, что видно из анализа загруженности транспортной сети (рисунок 4).



Рисунок 4 – Дорожная ситуация на перекрестке Подольских Курсантов и Варшавского шоссе в Москве

На рисунке 5 представлено схематичное движение транспортных потоков по данной транспортной развязке в каждую из 4 фаз светофорного цикла и возникающие при этом конфликтные точки.

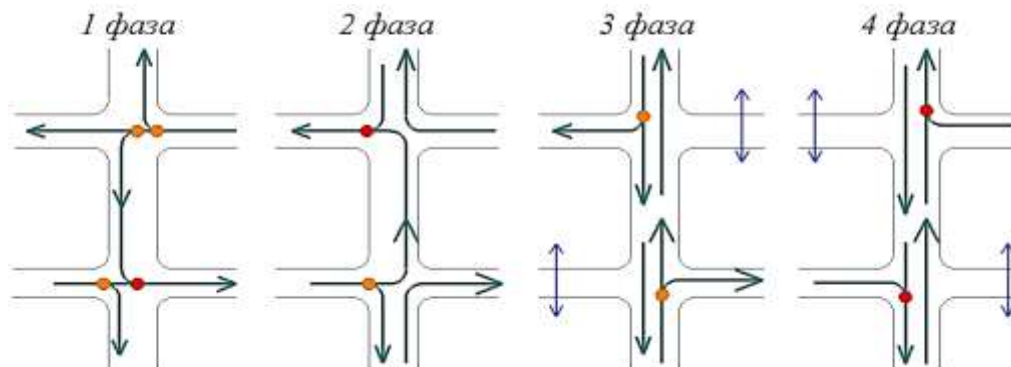


Рисунок 5 – Конфликтные точки на транспортной развязке «Ромб»

Рассматривая опыт западных стран, был приведен пример использования ромбовидной развязки с изменением сторонности. Для данного типа пересечения используется всего две фазы светофорного регулирования, но непривычность технологии перенаправления транспортных потоков затрудняет ее внедрение в дорожную сеть РФ.

На рисунке 6 представлено схематичное движение транспортных потоков по данной транспортной развязке в каждую из двух фаз светофорного цикла и возникающие при этом конфликтные точки.

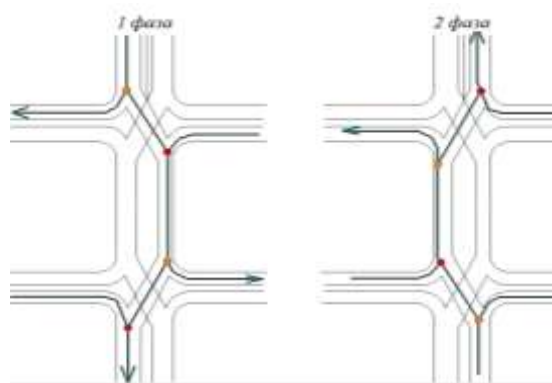


Рисунок 6 – Конфликтные точки на транспортной развязке «Ромб с изменением сторонности»

Другой пример транспортной развязки находится на федеральной автомобильной дороге А-181 «Скандинавия» на территории Выборгского района Ленинградской области. Узел, представленный на рисунке 7, представляет собой интерпретацию такого типа развязок как ромб, где поворотное движение выполняется при помощи движения по кольцевой дороге. При этом прямой транспортный поток по главной и второстепенной дорогам развязки проходят в разных уровнях



Рисунок 7 – Двухуровневая развязка «Кольцевой ромб»

На рисунке 8 представлено схематичное движение транспортных потоков по данной транспортной развязке и возникающие при этом конфликтные точки, преобладающими из которых являются точки отклонения от транспортного потока, а точки пересечения исключены.

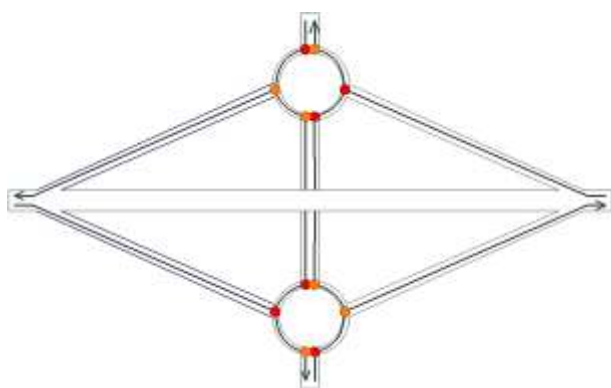


Рисунок 8 – Конфликтные точки на транспортной развязке «Кольцевой ромб»

Альтернативным вариантом отечественных транспортных развязок ромбовидного типа является «Двойная слеза». Данный вариант, иногда также

именуемый развязкой с двойным круговым движением, возникает в том случае если кольцевые участки дороги не образуют полный круг, а имеют каплевидную форму или же форму «слезы». Таким образом, два кольца сливаются вместе, образуя единую «раздавленную» кольцевую развязку. На рисунке 9 представлена схема организации дорожного движения автомобильных потоков по данной транспортной развязке и возникающие при этом конфликтные точки.

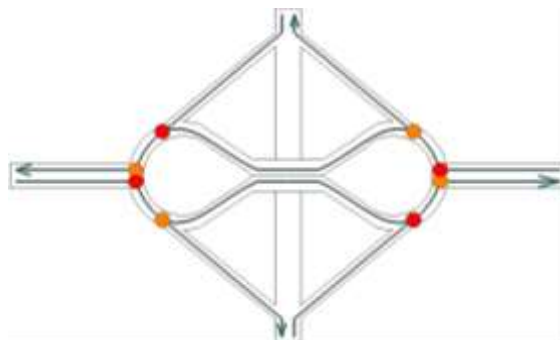


Рисунок 9 – Транспортная развязка «Двойная слеза»

Эта конфигурация уменьшает конфликты между транспортными средствами, въезжающими на «кольцевую» развязку с прямых участков дороги, сокращая очереди и задержки по сравнению с другими развязками, использующими в своей конфигурации круговое движение. Прямые развороты невозможны, но такой маневр возможен путем объезда обоих круговых секторов развязки.

Оценивая сложность представленных транспортных развязок по критерию конфликтности, были установлены следующие значения:

- классической ромбовидной развязки – 18;
- ромбовидной развязки с изменением сторонности – 16
- кольцевой ромбовидной развязки – 24
- «Двойной слезы» – 16.

Таким образом, данные значения соответствуют транспортным узлам малой сложности. Учитывая то, что наиболее низкий показатель сложности наблюдается у неиспользуемых в нашей стране развязок, можно судить о том, что они еще более безопасны, чем применяемые на территории России.

Несмотря на то, что движение по Кольцевой автомобильной дороге эффективно организовано и сама по себе магистраль формирует комфортные условия, в границах, непосредственно соприкасающихся с ней территорий возникает много новых жилых территорий и комплексов, которые влияют на формирование автомобильных потоков и также заслуживают повышенного внимания при обустройстве транспортной инфраструктуры. В связи с чем необходимо моделировать и строить развязки имеющие определенный потенциал пропускной способности, но и в то же время не занимающие много места. В свою очередь, основным преимуществом исследуемых развязок является небольшая необходимая площадь. Таких видов транспортных развязок немного, и каждое решение требует уникального подхода.

Ярким примером обозначенной транспортной задачи является транспортное обеспечение новых застраиваемых жилых комплексов вблизи Кольцевой автомобильной дороги Санкт-Петербурга.

Согласно Генплану Санкт-Петербурга, выпущенному в 2023 году, готовится планировка территории строительства Васнецовского проспекта от перспективной пробивки Северного проспекта до Чарушинской улицы с путепроводом через КАД. По проекту компании-застройщика данного района (рисунок 10) путепровод не будет подразумевать съезды с кольца, что является проблемой для данного района, в котором планируется застройка многоэтажными жилыми домами [7].



Рисунок 10 – Планируемый путепровод в составе Васнецовского проспекта через КАД

Было установлено, что среднее приведенное суточное количество транспортных средств, движущихся по участку КАД, пролегающему вблизи территории исследования, составляет более 65 000 автомобилей в сутки. Кроме того, жители перспективного района

будут формировать дополнительную транспортную нагрузку на улично-дорожную сеть окружающей территории, а также на внутриквартальных дорогах без учета общественного транспорта, который будет вносить весомый вклад в транспортный поток. В связи с чем необходимо предусмотреть транспортное обеспечение всех слоев населения.

В рамках исследования проведены полевые обследования существующей обстановки и условий движения на перекрестке Васнецовского проспекта и Муринской дороги.

В рамках практической реализации результатов исследования целесообразно рассмотреть перспективность замены планируемого к строительству путепровода Васнецовского проспекта над КАД на транспортную развязку по типу «Двойная слеза», что позволит связать автомобильные потоки жилого комплекса и кольцевую автомагистраль.

В результате разработана схема разделения транспортных потоков, представленная на рисунке 11.



Рисунок 11 – Схема организации дорожного движения

Так как съездов с Васнецовского проспекта нет, то ближайший путь до кольцевой дороги лежит через Муринскую дорогу, что обуславливает накопление большого потока транспортных средств при пересечении проспекта с улицей. Именно из-за этой существующей проблемы предложено внедрение развязки «Двойная слеза», преимущества которой были рассмотрены ранее.

На рисунке 12 видно, что накапливаемые потоки транспорта на пересечении Васнецовского проспекта и Муринской дороги могут сократиться в случае перенаправления маршрутов транспортных средств, которым требуется съезд на КАД.

С целью подтверждения большей эффективности развязки «Двойная слеза», для сравнения с ней была разработана модель данного проекта с использованием типа ромбовидной развязки со сменой сторонности. (схема на рисунке 13).



Рисунок 12 – Транспортная ситуация при проведении симуляции в случае реализации транспортной развязки по типу «Двойная слеза»

В результате апробации предлагаемых решений путем математического моделирования установлено, что наличие светофорного регулирования на данном пересечении увели-

чивает время задержек транспорта, что является дополнительной причиной формирования заторов, максимальный из которых для данной развязки – 184 м (рисунок 14).



Рисунок 13 – Схема организации дорожного движения

Дополнительным препятствием в реализации такого подхода необходимо отметить, что технология временной смены стороны движения не исследована в России, что усложняет ее ввод в правила дорожного движения и поведенческие принципы водителей.



Рисунок 14 – Транспортная ситуация при проведении симуляции в случае реализации ромбовидной развязки

В результате экспериментального исследования перспектив реализации проекта по внедрению развязки типа «Двойная слеза», становится возможным утверждать, что транспортные потоки перераспределились, тем самым создав благоприятные условия для передвижения. Благодаря использованию программ математического моделирования можно определить эффективность в конечных единицах измерения, таких как сокращение времени задержек и уменьшение конфликтности. Параметрами сравнения являются средняя длина формирующихся заторов, средняя длина за-

держки при движении автомобилей и количество транспортных средств, проходящих через заданный узел на период действия симуляции. Согласно анализу выбранных показателей выделенных узлов, на транспортной сети в каждой из двух ситуаций составлена таблица 1. Красным выделены ухудшения показателей, а зеленым – улучшения.

По сравнению с результатами внедрения развязки «Двойная слеза», тип пересечения «Ромб со сменой сторонности» не сильно улучшил показатели исследуемых параметров, но в свою очередь, на самой развязке было зафиксировано увеличение времени задержки.

Таблица 1 – Результаты анализа узлов

Объект	Узел	Ситуация	Ср. длина затора, м	Δ, %	Ср. время задержки, с	Δ, %	Кол-во ТС	Δ, %
«Двойная слеза»	Дорога над КАД	До	0	-	0	-	618	-25,6
		После	74		28		460	
	Пересечение Муринской дороги и Васнецовского пр.	До	36	-75	67	-6	222	-5,4
		После	9		63		210	
«Ромб со сменой сторонности»	Дорога над КАД	До	0	-	0	-	618	-15,4
		После	57		35		523	
	Пересечение Муринской дороги и Васнецовского пр.	До	36	-77,8	67	-13,4	222	-0,5
		После	8		58		221	

В результате проведенного численного эксперимента по оценке существующей ситуации и модифицированных микромоделей, было установлено:

- несмотря на возрастающее количество заторов и длительности задержек на двойном кольце, этот метод разгружает пересечение Муринской дороги и Васнецовского проспекта: длина заторов уменьшается на 75%, а время задержки – на 6%;

- внедрение светофорного регулирования на пересечении увеличивает длительность времени задержки, что отрицательно сказывается на системе в целом.

Строительство предлагаемого способа организации движения транспортных потоков требует не значительно больше места, чем строительство путепровода, предусмотренного утвержденным проектом: отличие заключается в наличии съездов, для чего требуется обустройство переходно-скоростной полосы КАДа.

Заключение

Для внедрения современных решений по организации движения на дорожной сети необходимо актуализировать и гармонично объединить отечественные и зарубежные стандарты в сфере транспортного строительства [8].

Они должны включать в себя:

- технические требования, предъявляемые к транспортной развязке;
- необходимые организационно-правовые меры, при ее использовании;
- аспекты экономической части, такие как расчет эффективности проекта;
- требования по обеспечению безопасности при движении по данному типу пересечения;
- систему контроля и технического обеспечения транспортной развязки.

Также необходимо обратить внимание на проблему малоизученности смены сторон движения, технология которой используется за рубежом. Данное мероприятие не регламенти-

ровано, так как Правилами дорожного движения РФ установлено правостороннее движение транспорта [9]. В связи с этим целесообразно исследовать возможность включения уточняющего комментария в нормативно-правовую документацию о частном изменении на участке дороги для организации дорожного движения на транспортных развязках, предполагающих в своем устройстве смену сторонности движения, когда их внедрение целесообразно в конкретном случае.

Таким образом в рамках исследования доказана перспективность и необходимость реализации новейших типов транспортных развязок для решения существующих и предупреждения возможных проблем, связанных с неизбежным ростом уровня автомобилизации и урбанизации в целом.

Литература

1. Медрес Е. Е., Голов Е. В., Бабенко Т. И. Факторы, влияющие на равномерность движения автомобильного транспорта в условиях насыщенных транспортных потоков. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_29289959_55263345.pdf
2. Е. В. Сорокина, В. В. Шпет, Я. Д. Гончарова, Е. В. Голов Многомерный анализ распределения дорожно-транспортных происшествий на дорожной сети Ленинградской области. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_50520192_11063973.pdf
3. Е. Е. Медрес, Н. В. Черных, А. И. Солодкий Повышение эффективности управления безопасностью дорожного движения на улично-дорожной сети агломерации [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_54218361_68294503.pdf
4. «СП 34.13330.2021. Свод правил. Автомобильные дороги. СНиП 2.05.02-85*». [Электронный ресурс]: https://nav.tn.ru/cloud/iblock/3d3/3d3658b4e8b967a26496d78d64e75836/SP-34.13330.2021-Avtomobilnye-dorogi-s-Izmeneniem-1_.pdf?ysclid=mn3njn78h4329230895 (дата обращения: 25.03.2026)
5. Е. В. Голов, А. М. Жданова Исследование современных видов кольцевых пересечений по критерию безопасности на городских улицах и дорогах. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_65658067_89477517.pdf (дата обращения: 05.03.2026)
6. Federal Highway Administration Simulator assessment of alternative lane grouping at signalized intersections // Publication №. FHWA-HRT-19-025. URL: <https://ntlrepository.blob.core.windows.net/lib/66000/66400/66432/FHWA-HRT-19-025.pdf> (дата обращения: 10.03.2026)
7. Распоряжение о подготовке документации по планировке территории для размещения линейных объектов регионального значения «Северный пр. от ул. Руставели до Шафировского пр. и трамвайная линия от ул. Руставели до Васнецовского пр.». [Электронный ресурс]: <https://kgainfo.spb.ru/wp-content/uploads/2024/08/01-19-227.pdf> (дата обращения: 25.03.2026)
8. Е. В. Голов, С. Н. Черкашин, С. В. Петров Правовые особенности исполнения нормативно-правовых актов в области обеспечения транспортной безопасности. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_82709076_22997872.pdf (дата обращения: 25.03.2026)
9. Постановление Правительства РФ от 23.10.1993 № 1090 (ред. от 16.07.2025) «О Правилах дорожного движения». [Электронный ресурс]: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2709/5894b193fda5648afe1c1a5e70c028f25cd29099/ (дата обращения: 25.03.2026)
10. И. Н. Пугачев, В. С. Тормозов, С. С. Евтюков [и др.] Многовидовая пространственно-временная свертка для повышения точности прогнозирования транспортных потоков [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_80543145_80871102.pdf
11. Е. В. Голов, Е. В. Сорокина, С. С. Евтюков Проблемные вопросы использования спутниковой навигации при оценке состояния факторов "дорога" и "среда" в системе ВАДС [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_49454798_52518136.pdf
12. Е. В. Голов, Е. В. Сорокина, А. А. Диденко, М. Н. Гришко Создание высокоуровневой функциональной модели улично-дорожной сети города в контексте цифровой трансформации транспортного комплекса [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_83144134_15491464.pdf

ФОРМИРОВАНИЕ ПЕРЕЧНЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ВЪЕЗДАХ-ВЫЕЗДАХ В ЖИЛЫХ КОМПЛЕКСАХ

К.И. Саркисова¹, А.А. Белехов²

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4.*

В статье представлены результаты исследования различных схем организации дорожного движения на въездах-выездах в жилых комплексах. Основное внимание уделено анализу влияния конструктивных решений и интенсивности движения на безопасность транспортной инфраструктуры. Исследование показало, что организация дорожного движения на въездах-выездах требует комплексного подхода, учитывающего как геометрические параметры, так и интенсивность транспортных потоков. Выявлено, что характер влияния интенсивности движения на безопасность различается в зависимости от типа магистрали: изменения на главной дороге оказывают более существенное воздействие, чем на второстепенной. Особую роль в обеспечении безопасности играет организация траекторий движения: наличие левых поворотов значительно повышает риск возникновения конфликтных ситуаций, при этом различные типы транспортных пересечений демонстрируют существенно отличающиеся показатели безопасности. Разработаны практические рекомендации по проектированию въездов-выездов, включающие приоритетные схемы организации движения и комплекс дополнительных мер по повышению безопасности.

Ключевые слова: новые жилые комплексы, организация дорожного движения, транспортная инфраструктура, городской пассажирский транспорт, доступность, мобильность, мегаполис, остановочные пункты.

PRACTICAL RECOMMENDATIONS LIST DEVELOPING IMPROVING SAFETY AT RESIDENTIAL DEVELOPMENT ENTRANCES AND EXITS

K.I. Sarkisova, A.A. Belekhov

*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
4 2nd Krasnoarmeyskaya St., Saint Petersburg, 190005, Russia.*

The article presents the study results on various traffic management schemes at residential development entrances and exits. The main focus is on analyzing the design solutions impact and traffic intensity on the transport infrastructure safety. The study has shown that entrances and exits traffic management requires an integrated approach that takes into account both geometric parameters and traffic flow intensity. It has been revealed that the traffic intensity impact nature on safety varies depending on the type of roadway: changes on a major road have a more significant effect than on a minor road. A key role in ensuring safety is played by the traffic paths organization: the left turns presence significantly increases the conflict situations risk. At the same time, different types of traffic intersections demonstrate significantly different safety performance. Practical recommendations for designing entrances and exits have been developed, including priority traffic management schemes and an additional safety-enhancing measure set.

Keywords: new residential development, traffic management, transport infrastructure, urban public transport, accessibility, mobility, metropolis, bus stops.

Целью настоящего исследования является разработка методических основ оценки и оптимизации организации дорожного движения на въездах-выездах в жилых комплексах с учетом нормативных и иных требований к безопасности и эффективности транспортной системы. В современных условиях интенсивного

развития городских агломераций и роста автомобилизации вопросы организации дорожного движения приобретают особую актуальность, что обуславливает необходимость совершенствования подходов к проектированию транспортных узлов жилых комплексов.

EDN MLNPBI

¹Саркисова Карина Ивановна – студент кафедры транспортных систем и дорожно-мостового строительства, тел.: +7(960)019-25-24, e-mail: karinko-2003@yandex.ru;

²Белехов Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортных систем и дорожно-мостового строительства, тел.: +7(905)204-91-84, e-mail: ibddgasu@gmail.com.

Исследование базируется на комплексном подходе к анализу транспортных процессов в зоне въездов-выездов в жилых комплексах. В работе использованы методы системного анализа, математического моделирования и статистической обработки данных. Методологической основой послужили действующие нормативные документы в области организации дорожного движения, включая постановление Правительства РФ от 23.10.1993 № 1090 «О Правилах дорожного движения». Для оценки безопасности транспортных узлов разработана методика, основанная на количественном анализе конфликтных точек и их относительной опасности. Проведена градация интенсивности транспортных потоков с учетом современных показателей загрузки дорог. Особое внимание уделено анализу влияния различных типов транспортных пересечений на безопасность движения. В ходе исследования применен комплексный подход к оценке транспортных узлов, включающий анализ геометрических параметров пересечений, оценку интенсивности транспортных потоков, а также количественный анализ конфликтных точек.

Безопасность дорожного движения (БДД) и пропускная способность въездов-выездов в жилых комплексах (ЖК) представляют собой взаимосвязанные аспекты, оказывающие непосредственное влияние на качество городской среды и безопасность всех участников дорожного движения. В условиях ускоренной урбанизации и роста уровня автомобилизации вышепредставленные сложности приобретают особую значимость, прежде всего в новых ЖК, где нередко выявляются расхождения между проектными решениями и действительной транспортной нагрузкой.

Проблемы с БДД и пропускной способностью въездов выездов в новых ЖК зачастую обусловлены рядом факторов, действующих в совокупности. При проектировании нередко недооценивается прогнозируемый рост числа жителей и уровня автомобилизации, что приводит к недостаточному количеству въездов-выездов либо к их нерациональному расположению [1]. Параллельно вопросы организации дорожного движения (ОДД) внутри ЖК остаются без должного внимания, что проявляется в неэффективности систем регулирования, недостаточной ширине проездов, транспортным заторам и риску возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Дефицит парковочных мест провоцирует жителей оставлять автомобили на узких проездных дорогах внутри двора, затрудняя движение и блокируя доступ для иных транспортных средств

(ТС). Одновременно близость точек притяжения – магазинов, зелёных зон и прочих объектов, привлекающих пешеходов, – повышает риск возникновения ДТП. Решение данных проблем требует системного подхода, включающего заблаговременное планирование транспортных коридоров с учётом демографических прогнозов, внедрение современных схем ОДД, развитие общественного транспорта и альтернативных видов передвижения, а также контроль за использованием внутривдворовой территории.

Согласно пункту 1.2 постановления Правительства РФ от 23.10.1993 № 1090 «О Правилах дорожного движения» (ПДД РФ) [2] «прилегающая территория» – это зона, непосредственно прилегающая к дороге и не предназначенная для сквозного движения (дворы, жилые массивы, автостоянки, АЗС, предприятия и тому подобное). Типология планировочных решений въездов во двор может быть разной. В соответствии с градостроительными параметрами и расчётной интенсивностью транспортных потоков, въездные зоны могут быть реализованы в следующих конфигурациях: однополосные, двухполосные, Т-образное и Х-образное пересечения. Кроме того, согласно пункту 1.2, указанному в ПДД РФ, «перекресток» – это место пересечения, примыкания или разветвления дорог на одном уровне, ограниченное воображаемыми линиями, соединяющими соответственно противоположные, наиболее удаленные от центра перекрестка начала закруглений проезжих частей. При этом перекрестками не являются выезды с прилегающих территорий.

В современных условиях развития городской инфраструктуры особое значение приобретает безопасная и качественная ОДД на территории ЖК. Анализ существующих решений позволяет выделить несколько типовых схем ОДД.

Т-образные схемы представляют собой наиболее распространённый тип ОДД на въездах-выездах в ЖК. Их эффективность определяется возможностью организации правого и левого поворотов, а также обеспечением минимального количества конфликтных точек при распределении транспортных потоков [3]. Однополосные схемы являются наиболее распространённым решением для небольших ЖК, в основном, с невысокой интенсивностью движения. Такие схемы предусматривают организацию встречного разъезда ТС, что требует особого внимания к проектированию радиусов поворотов и видимости на примыканиях за счёт обеспечения «треугольника видимости».

Двухполосные схемы применяются в крупных ЖК, где прогнозируется значительная транспортная нагрузка, поскольку они обеспечивают более высокую пропускную способность и позволяют организовать раздельное движение в двух направлениях, сохраняя высокий уровень БДД.

Х-образный въезд-выезд в ЖК проектируется с целью обеспечения раздельного и упорядоченного пропуска транспортных потоков на территорию ЖК при сохранении пропускной способности в условиях умеренной и высокой интенсивности движения [4]. Ключевая задача такого решения – разведение встречных направлений (въезд и выезд) по разным участкам, позволяющее минимизировать конфликтные точки по сравнению с традиционным кольцевым или Т-образным пересечением [5].

Въезд-выезд в ЖК с использованием бокового проезда заключается в создании параллельной (дублирующей) проезжей части, функционально обособленной от основной магистрали, позволяющей разграничить транзитные и локальные потоки: первые сохраняют движение по главной дороге, вторые – перенаправляются на боковой проезд для доступа к территории ЖК. Проектирование бокового проезда обусловлено необходимостью снижения транспортной нагрузки на прилегающую магистраль, исключения конфликтных ситуаций при въезде-выезде в ЖК и обеспечения бесперебойного доступа к району новых ЖК. Основная дорога сохраняет пропускную способность для сквозного движения, а боковой проезд берёт на себя функции распределителя местного (в пределах застраиваемых ЖК) транзита.

Схемы с раздельными потоками предусматривают организацию отдельных полос для въезда-выезда, позволяющую существенно повысить пропускную способность территории. Такие решения особенно эффективны в крупных ЖК с интенсивным движением. Данная схема предполагает разнесение встречных транспортных потоков в пространстве. Похожей схемой проектирования можно отметить организацию въездов-выездов с односторонним движением, которые организуются для оптимизации движения внутри ЖК. Они позволяют эффективно использовать имеющееся пространство и снизить вероятность возникновения заторов. При этом в ЖК въезды-выезды проектируются по направлению потока с основной магистрали.

Схемы с кольцевыми пересечениями применяются в случаях, когда необходимо

обеспечить БДД при пересечении нескольких направлений движения и уменьшить скорость основного потока. Они позволяют снизить количество конфликтных точек и повысить БДД.

В рамках исследования был выполнен анализ различных типов транспортных пересечений с точки зрения их влияния на БДД и пропускную способность дорожной сети. Особое внимание было уделено ряду конструктивных решений, включая Т-образные пересечения – как с возможностью только правого поворота, так и предусматривающие оба направления (правый и левый повороты), Х-образные пересечения, решения с организацией бокового проезда, схемы с раздельными транспортными потоками, а также варианты с кольцевыми пересечениями. Выбор указанных типов пересечений обусловлен количеством текущих запроектованных на данный момент пересечений и перспективных решений. Среди них наиболее часто на практике в ЖК встречается Т-образное пересечение. Такое пересечение обладает рядом преимуществ: относительная простота реализации, сниженные капитальные затраты на строительство и наименьшая занимаемая площадь под строительство пересечения в условиях городской среды.

Результаты проведённого исследования демонстрируют, что наибольшую эффективность, с позиций обеспечения максимальной БДД и достижения высокой пропускной способности, демонстрируют решения с организацией бокового проезда и схемы с раздельными потоками. Рассматриваемые планировочные конфигурации ориентированы на сокращение числа зон потенциального конфликта.

Проектные решения, базирующиеся на Х-образной геометрии примыканий либо включающие в себя элементы кольцевого движения, фигурируют в реальной практике инженерного обустройства дорог заметно реже классических вариантов. Однако при определенных градостроительных обстоятельствах их актуальность остается достаточно высокой. К использованию подобных схем обычно прибегают в условиях сложного рельефа и нестандартной конфигурации улично-дорожной сети, при критически высокой интенсивности транспортных потоков или в ситуациях, когда новое сооружение требуется жестко увязать с параметрами уже сложившейся застройки. Способность таких пересечений поддерживать приемлемые показатели безопасности дорожного движения напрямую зависит от точности расчета их геометрических элементов и продуманности схемы организации перемещений.

Следует подчеркнуть, что реализация данных узлов сопряжена с необходимостью более скрупулезного анализа местных условий эксплуатации и заметно большим объемом вычислительных работ по сравнению с типовыми аналогами.

Наглядное изображение типовых планировок перечисленных транспортных развязок, фиксирующее ключевые конструктивные отличия каждого из вариантов и выступающее визуальным фундаментом для дальнейшего сопоставительного анализа их характеристик в границах настоящего исследования, представлено на рисунке 1.

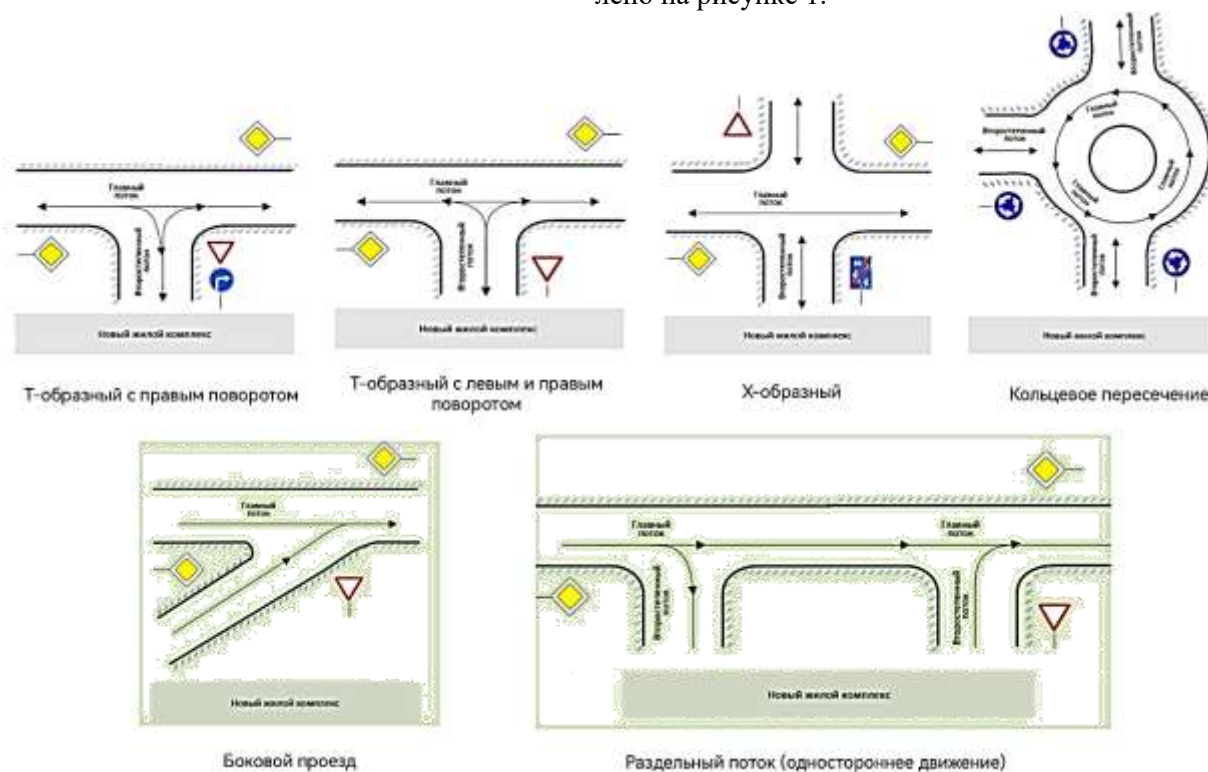


Рисунок 1 – Рассматриваемые типовые схемы

Для представленного выше перечня типовых пересечений представим ряд типовых решений, решающих проблему БДД и пропускной способности въездов-выездов:

- обеспечение видимости пересекаемых потоков [7];
- внедрение светофорного объекта [8];
- уширение правой полосы;
- создание полосы разгона на главной дороге;
- внедрение канализированного движения с островками безопасности для главной дороге;
- внедрение канализированного движения с островками безопасности для второстепенной дороги;
- отмена левого поворота;
- увеличение количества полос на второстепенной дороге;
- увеличение длины полосы разгона для правого поворота на главной дороге;
- внедрение турбокольца;

- устройство дополнительных карманов для остановки транспортных средств перед въездом-выездом в ЖК [9];
- организация дополнительных въездов-выездов [10];
- обустройство выделенных полос, отделённых от въезда-выезда (например, посередине проезжей части);
- строительство эстакады или подземного тоннеля;
- уширение проезжей части перед светофором или стоп линией для второстепенной дороги;
- организация одностороннего движения;
- уменьшение скоростного режима на пересечении [11];
- создание выделенной велодорожки с обособленным въездом на территорию ЖК;
- уширение проезжей части на сложных участках (крутые повороты, подъёмы/спуски).

Внесем в таблицу 1 все типовые решения в зависимости от рассматриваемых пересечений.

Таблица 1 – Типовые решения для улучшения въезда-выезда [12-14]

Загруженность главной авто-магистралей	Загруженность въезда-выезда	Тип въезда					
		Т-образный только с правым поворотом	Т-образный с правым и левым поворотом	Х-образный	Боковой проезд	Схемы с раздельными потоками	Схемы с кольцевыми пересечениями
Мало-интенсивный	Мало-интенсивный	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
	Средне-интенсивный	1,4,9,11	1,4,9,11	1,6,9,11	1,11	1,4,9,11	1,11
	Высоко-интенсивный	1,3,4,9,11,16	1,3,4,6,9,11,16	1,6,9,11	1,2,4,9,11	1,3,4,6,9,11	1,11
Средне-интенсивный	Мало-интенсивный	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
	Средне-интенсивный	1,4,9,11	1,2,11	1,2,9,11	1,4,9,11	1,2,11	1,11
	Высоко-интенсивный	1,2,6,9,11,13,15,16	1,2,6,7,9,11,13,15,16	1,2,5,6,8,9,11,13	1,2,4,9,11,13	1,2,6,7,9,11,13,15	1,2,8,11,13
Высоко-интенсивный	Мало-интенсивный	1,2,4,9,11	1,2,4,7,9,11	1,2,6,9,11,17	1,2,4,9,11	1,2,4,7,9	1,2,11
	Средне-интенсивный	1,2,5,6,8,11,15	1,2,5,6,7,8,11,15	1,2,5,6,9,11,17	1,2,4,9,11	1,2,5,6,7,8,11,15	1,2,8,10,11
	Высоко-интенсивный	1,2,5,6,8,11,12,13,15,16	1,2,5,6,7,8,11,12,13,15,16	1,2,5,6,8,9,11,12,13,14,17	1,2,4,9,11,13	1,2,5,6,7,8,11,12,13,15	1,2,8,10,11,12,13

Для главного и второстепенного потоков понятие «высокоинтенсивный» будет отличным. При проектировании второстепенного направления зачастую принимается одна полоса для въезда-выезда. Редким случаем в ЖК проектируется две полосы (1+1 для движения во встречных направлениях). Максимальная пропускная способность одной полосы составляет 1800 авт./ч. Градация для второстепенного направления следующая: малоинтенсивный – 0-900 авт./ч, среднеинтенсивный – 900-1400 авт./ч и высокоинтенсивный – 1500 авт./ч и выше.

Для главного потока проектируется минимально одна полоса для движения в одном направлении. Малоинтенсивным потоком будем считать при одной полосе для движения (0-1800 авт./ч), среднеинтенсивный поток примем при числе двух полос для движения в одном направлении (1800-3600 авт./ч) и высокоинтенсивный – при числе полос от трех и выше (> 4000 авт./ч). Если количество полос соответствует градации, а посчитанная натурным методом интенсивность является отличной, то итоговое решение будем принимать от числа полос и перспективности застройки. Поскольку предугадать расширение агломерации

не всегда представляется возможным, то необходимо заранее продумать методы увеличения пропускной способности.

Подход к проектированию дорожных пересечений зависит от интенсивности транспортных потоков. При низких нагрузках достаточно обеспечить треугольник видимости согласно нормативам – это обеспечивает безопасность за счёт визуального контакта с опасными зонами. С ростом интенсивности требуется комплексный учёт дополнительных параметров: фаз светофорного регулирования, геометрии пересечения, дополнительных полос и траекторий поворотов. Особую проблему создаёт асимметрия потоков (например, когда на второстепенной дороге наблюдается высокая интенсивность, а на главной – средняя или максимальная. Это провоцирует заторы при левых поворотах (ввиду необходимости пересечения встречного потока) и снижает пропускную способность пересечения и повышает риск ДТП.

Дальнейшие расчеты мы проведём методом перебора данных из полученного диапазона. Большой массив данных, для упрощения восприятия данных, представим в величинах: минимальное и максимальное значение из выборки. Величину БДД будем рассчитывать по следующей формуле (1) [15].

$$k_a = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \cdot M \cdot N}{M + N}, \quad (1)$$

где M – число конфликтных точек;

N – интенсивность движения конфликтующих транспортных потоков;

k_i – коэффициент относительной опасности каждой конфликтной точки.

Анализ конфликтных точек предполагает определение коэффициентов относительной опасности для наиболее характерных сценариев их возникновения, среди которых выделяются ситуации пересечения, слияния и отклонения транспортных потоков. При этом наибольшее значение коэффициента фиксируется в случае пересечения конфликтующих потоков. Для каждого типа въезда-выезда формируется соответствующая картограмма конфликтных точек, служащая основой для последующей количественной оценки. Уровень безопасности пересечения напрямую определяется значением показателя k_a : чем ближе его

величина к нулю, тем выше степень безопасности данного участка. В соответствии с принятой градацией, пересечение классифицируется как неопасное при значении $k_a < 3$, малоопасное – в диапазоне $3 \leq k_a \leq 8$, опасное – при $8 < k_a \leq 12$, а при превышении порогового значения $k_a > 12$ участок признаётся очень опасным. Таким образом, оптимальный уровень безопасности транспортной инфраструктуры достигается при минимизации показателя k_a , а его стремление к нулю выступает объективным индикатором максимальной безопасности пересечения, что позволяет использовать данный параметр в качестве ключевого критерия при оценке и проектировании дорожных узлов. По исходным данным и формуле (1) могут быть рассчитаны величины показателя БДД, результаты которых были сведены в структурированном виде в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчеты показателя БДД [16,17]

Загруженность главной автомагистрали	Загруженность въезда-выезда	Тип въезда					
		Т-образный только с правым поворотом	Т-образный с правым и левым поворотом	Х-образный	Боковой проезд	Схемы с раздельными потоками	Схемы с кольцевыми пересечениями
малоинтенсивный	малоинтенсивный	0,13300 – 0,13484	0,87923 – 0,90756	14,58798 – 16,78200	0,02488 – 0,02499	0,14778 – 0,14983	0,31921 – 0,32363
	среднеинтенсивный	0,13460 – 0,13487	0,90367 – 0,90801	16,45208 – 16,82153	0,02498 – 0,02499	0,14955 – 0,14986	0,32303 – 0,32370
	высокоинтенсивный	0,13475 – 0,13484	0,90604 – 0,90818	16,65156 – 16,83626	0,02498 – 0,02499	0,14972 – 0,14987	0,32339 – 0,32372
среднеинтенсивный	малоинтенсивный	0,13489 – 0,13491	0,90828 – 0,90925	16,84476 – 16,86849	0,02499 – 0,02499	0,14988 – 0,14990	0,32374 – 0,32378
	среднеинтенсивный	0,13491 – 0,13492	0,90859 – 0,90873	16,87128 – 16,88357	0,02499 – 0,02500	0,14990 – 0,14991	0,32378 – 0,32381
	высокоинтенсивный	0,13492 – 0,13492	0,90875 – 0,90880	16,88574 – 16,88984	0,02500 – 0,02500	0,14991 – 0,14992	0,32381 – 0,32382
высокоинтенсивный	малоинтенсивный	0,13491 – 0,13492	0,90845 – 0,90880	16,85930 – 16,88984	0,02499 – 0,02500	0,14989 – 0,14992	0,32376 – 0,32382
	среднеинтенсивный	0,13493 – 0,13493	0,90870 – 0,90892	16,88131 – 16,90047	0,02499 – 0,02500	0,14991 – 0,14992	0,32380 – 0,32384
	высокоинтенсивный	0,13493 – 0,13493	0,90884 – 0,90897	16,89364 – 16,90502	0,02500 – 0,02500	0,14992 – 0,14993	0,32382 – 0,32384

Анализ представленных данных позволяет выявить ключевые закономерности влияния

интенсивности движения и типа пересечения на показатель БДД. В ходе выполненного

анализа была выявлена устойчивая прямая зависимость между возрастанием загрузки главной магистрали и динамикой расчетного индекса безопасности дорожного движения. Следует особо подчеркнуть, что варьирование транспортного потока на второстепенном направлении оказывает на конечный результат воздействие куда более скромное, хотя полностью исключать данный фактор из совокупной оценки, безусловно, было бы методологически ошибочным. Если обратиться к конкретному примеру Т-образного примыкания, то переход главного хода из категории малой интенсивности в категорию средней сопровождается увеличением показателя на 1,42%. Для сравнения, аналогичное по масштабу изменение режима движения исключительно на второстепенной дороге влечет за собой рост лишь на 1,20%.

Дальнейший анализ различных типовых планировочных решений пересечений наглядно фиксирует разницу в получаемых значениях коэффициентов опасности. Применительно к Т-образной конфигурации, допускающей исключительно правоповоротный маневр, усредненная величина зафиксирована на уровне 0,13479. Дополнение этой же геометрии возможностью осуществления левого поворота поднимает индекс до 0,90677, что фактически соответствует ухудшению условий безопасности в 6,72 раза. Подобная динамика служит весомым аргументом в пользу ликвидации левоповоротного движения по мере наращивания интенсивности транспортного потока. Наибольшие значения опасности приходятся на Х-образный узел, где средний показатель достигает критической отметки 16,71956, что определяет данный тип пересечения как «очень опасное». Снизить потенциальные риски в этой ситуации представляется возможным либо посредством реорганизации крестообразного перекрестка в пару смещенных Т-образных примыканий, либо через внедрение светофорного регулирования, позволяющего разнести конфликтующие транспортные потоки. Что касается наиболее безопасной альтернативы среди рассмотренных – признается организация бокового проезда, демонстрирующая средний показатель всего 0,02499. Столь низкое значение объясняется отсутствием точек пересечения траекторий движения автомобилей, поскольку здесь разрешен только поворот направо. Дополнительный запас прочности данному элементу способна придать установка светофорного объекта в зоне примыкания бокового проезда к основной магистрали.

Планировочное решение с пространственным разобщением транспортных потоков, имеющее средний коэффициент 0,14977, также входит в группу безопасных вариантов

организации въезда-выезда. Присутствие в данной конфигурации маневра левого поворота, пересекающего основной ход, несколько нивелирует ее преимущества, и исключение этого конфликтного взаимодействия позволило бы дополнительно повысить уровень защищенности участников движения. Кольцевое пересечение, в свою очередь, показывает среднее значение 0,32350 и уступает по надежности перечисленным выше альтернативным схемам.

Опираясь на критерий минимизации коэффициента опасности, проектировщику следует в первую очередь отдавать предпочтение трем конфигурациям, а именно: Т-образному пересечению без возможности левого поворота, боковому проезду и схеме с отдельными транспортными потоками. Задействование иных планировочных решений допускается исключительно при условии внедрения дополнительного пакета компенсирующих мероприятий, который может включать в себя понижение разрешенной скорости на подходах, оснащение узла светофорным объектом или реконструкцию геометрии пересечения с целью минимизации числа конфликтных точек.

Сложившаяся практика оценки пропускной способности улично-дорожных сетей по-прежнему тяготеет к анализу эффективности магистральных коридоров. Внимание специалистов обычно сосредоточено на динамике потоков по главным направлениям, выявлении наиболее загруженных перегонов, определении средней скорости сообщения и прогнозировании вероятности возникновения заторовых ситуаций на ключевых артериях города. Подобный подход, делающий акцент на производительности основного транспортного каркаса, нередко приводит к недооценке значимости элементов примыкания и доступа. Между тем именно въезды и выезды выполняют критически важную функцию соединения мощных магистральных коридоров с внутриквартальными проездами, жилыми массивами и объектами социально-экономического назначения, и игнорирование их вклада в общую картину способно исказить объективное представление о функционировании всей транспортной системы населенного пункта.

Достижение сбалансированного развития транспортного каркаса возможно при условии рассмотрения всей совокупности его компонентов. Аналитические исследования не должны ограничиваться фиксацией пиковых значений загрузки на основных магистральных коридорах; не менее важным представляется изучение динамики распределения автомобильных потоков, детальное обследование

геометрических характеристик точек доступа и выезда с основной сети, оценка интенсивности передвижений, а также учет прогнозных интенсивностей автомобилей. Определяющим критерием качества проектного решения служит степень ее согласованности с резервами смежной инфраструктуры въездов-выездов из ЖК. Практическое значение данного подхода подразумевает применение методов моделирования интенсивностей потоков с поправкой на суточные и недельные пики транспортной активности, включая характерные особенности утренних и вечерних часов пик или специфику движения в нерабочие дни. Кроме того, необходимым этапом выступает расчет оптимальных геометрических параметров пересечений, к числу которых относятся величины радиусов закруглений и протяженность переходно-скоростных полос. Вышеперечисленные методы обеспечивают прирост эффективности работы дорожной сети, заметно сокращая риск возникновения ДТП, позитивно отражая на общем уровне БДД и формировании высокой степени удовлетворенности среди жителей ЖК.

Вывод

Проведённое исследование позволило оценить, что с позиции обеспечения должного уровня БДД наибольшую результативность демонстрируют планировочные конфигурации, предусматривающие обустройство бокового проезда, а также варианты исполнения узла с односторонним движением. Для указанных схем характерны низкие величины конфликтной загрузки, что в совокупности позволяет достигнуть рационального равновесия между требуемой пропускной способностью участка и его безопасностью. Включение в схему организации перемещений маневра левого поворота способно спровоцировать ухудшение показателя БДД более чем в 6 раз. Исследование показало, что наименее эффективными с позиции безопасности являются Х-образные пересечения, требующие существенной модернизации для достижения приемлемого уровня безопасности. В то же время кольцевые пересечения, хотя и демонстрируют более высокие показатели безопасности по сравнению с Х-образными, все же уступают другим рассмотренным схемам.

На основе полученных результатов сформулированы ключевые рекомендации по проектированию въездов-выездов: приоритетным направлением является внедрение Т-образных схем с правым поворотом, боковых проездов и решений с раздельными потоками. При этом для повышения эффективности менее предпочтительных схем рекомендуется применение дополнительных мер: установка

светофорного регулирования, оптимизация геометрических параметров, ограничение скоростного режима и минимизация конфликтных точек. Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных результатов при проектировании новых и реконструкции существующих въездов-выездов жилых комплексов, что позволит повысить уровень безопасности дорожного движения и оптимизировать транспортные потоки в городской среде.

Литература

1. Chen, Y. & Zhou, W. (2007). Analysis of the owing rate of car in residential district and traffic identity through entrance and exit. *Architectural Journal*. 2007(4), 41-43.
2. Постановление Правительства РФ от 23.10.1993 N 1090 (ред. от 16.07.2025) "О Правилах дорожного движения" (вместе с "Основными положениями по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения") (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2025). – М.: Совет Министров, 2025. – 147 с.
3. Саркисова, К. И. Анализ безопасности транспортных потоков въездов и выездов из жилых комплексов / К. И. Саркисова, А. А. Белехов // *Технико-технологические проблемы сервиса*. – 2026. – № 1(75). – С. 43-48.
4. Чудаков, А. В. Оптимизация транспортных потоков на участке дороги Московского шоссе (Санкт-Петербург): фазовые разъезды и кольцевая развязка в Anylogic / А. В. Чудаков, Р. Б. Кленичев // *Технико-технологические проблемы сервиса*. – 2025. – № 4(74). – С. 29-39.
5. Пушкарева, Г. В. Анализ методов повышения безопасности движения на нерегулируемых перекрестках крупных городов (на примере города Томска) / Г. В. Пушкарева, Д. Д. Халтурин // *Вестник ТГАСУ*. 2023. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-povysheniya-bezopasnosti-dvizheniya-na-nereguliruemih-perekrestkah-krupnyh-gorodov-na-primere-goroda-tomska> (дата обращения: 16.04.2026).
6. Зедгенизов, А. В. Методика организации дорожного движения на основе оценки транспортного спроса к центрам массового тяготения по параметрам их расположения на урбанизированных территориях / А. В. Зедгенизов // *Информационные технологии и инновации на транспорте : Материалы 5-ой Международной научно-практической конференции, Орёл, 22–23 мая 2019 года / Под общей редакцией А.Н. Новикова*. – Орёл: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2020. – С. 47-52.
7. Батракова, А. Г. Оценка влияния зеленых насаждений на безопасность дорожного движения / А. Г. Батракова // *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. – 2009. – № 47. – С. 12-14.

8. Запечалова, Л. Ю. Имитационное моделирование в задачах реорганизации и анализа дорожного движения / Л. Ю. Запечалова, С. И. Валуев, А. В. Запечалов // Вестник кибернетики. – 2025. – Т. 24, № 3. – С. 34-43. – DOI 10.35266/1999-7604-2025-3-4.
9. Саркисова К. И., Черных Н. В. Разработка методики оценки эффективности функционирования остановочных пунктов наземного городского пассажирского транспорта. Мир транспорта и технологических машин. 2023. № 3-4(82). С. 98-106.
10. Саркисова, К. И. Разработка и внедрение интеграционной платформы для оценки транспортной доступности новых жилых комплексов / К. И. Саркисова, А. А. Белехов // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2025. – № 2(72). – С. 77-81.
11. Гасилова, О. С. Анализ интенсивности движения транспортных средств в местах разделения транспортных потоков / О. С. Гасилова, И. В. Бородулин, В. В. Старков // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. – 2022. – № 2(76). – С. 250-254. – DOI 10.34771/UZSEPU.2022.2.76.050.
12. Юсупова, А., Оразова, М., Аллаберенов, А. Водитель и безопасность дорожного движения // CETERIS PARIBUS. – 2023. – № 9. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/voditel-i-bezopasnost-dorozhnogo-dvizheniya> (дата обращения: 16.04.2026).
13. Жуков, Р. А., Воронцова, Н. В. Повышение безопасности дорожного движения // Время науки – The Times of Science. – 2025. – № 2.1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-bezopasnosti-dorozhnogo-dvizheniya> (дата обращения: 16.04.2026).
14. Выставкина, Е. В. Дорожное движение: структура и безопасность // Colloquium journal. – 2022. – № 16 (139). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dorozhnoe-dvizhenie-struktura-i-bezopasnost> (дата обращения: 16.04.2026).
15. Бегматов, Б. Я. Оценка безопасности движения на пересечениях автомобильных дорогах // Вестник науки. 2022. №9 (54). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-bezopasnosti-dvizheniya-na-peresecheniyah-avtomobilnyh-dorogah> (дата обращения: 16.04.2026).
16. Пузаков, А. В. Исследование влияния зон парковки транспорта на пропускную способность городских магистралей / А. В. Пузаков, С. В. Горбачев // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2017. – № 6. – С. 59-62.

УДК 656.1

АНАЛИЗ ОПТИМИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

И.М. Трегубова¹, А.А. Преверзев², И.М. Трегубов³

*Тюменский индустриальный университет,
Россия, 625000, г.Тюмень, ул. Володарского, 38.*

В статье проанализирован один из способов оптимизации ресурсов на эксплуатационном предприятии, посредством замены автомобилей с бензиновым двигателем на автомобили с электродвигателем.

Ключевые слова: технико-экономические затраты, бензиновый автомобиль, электромобиль.

ANALYSIS OF OPTIMIZATION OF THE ACTIVITIES OF A MOTOR TRANSPORT OPERATING COMPANY

I.M. Tregubova, A.A. Preverzev, I.M. Tregubov

Tyumen Industrial University, Russia, 625000, Tyumen, Voldarsky Street, 38.

This article analyzes one method of optimizing resources at an operating company by replacing gasoline-powered vehicles with electric vehicles.

Keywords: technical and economic costs, gasoline-powered vehicle, electric vehicle.

Сложившаяся на сегодняшний день экономическая ситуация диктует предприятиям различных направлений деятельности -

изыскивать не только пути совершенствования производства, но и оптимизировать ресурсы,

EDN MWQDLT

¹Трегубова Ирина Михайловна – кандидат технических наук, доцент кафедры сервиса автомобилей и технологических машин технологического института, e-mail: tregubovaim@tyuiu.ru;

²Преверзев Андрей Александрович – выпускник кафедры сервиса автомобилей и технологических машин, e-mail: pereverzev12321@gmail.com;

³Трегубов Иван Михайлович – заместитель директора ООО «АТП-Спецнефтетранс», e-mail: tregubov@sntrans.ru.

обуславливающие экономию затрат. Если рассматривать теорию, то способов уменьшить затраты как посредством организационно-технических мероприятий, так и экономических – существует много, например, увеличение грузоподъемности, пассажировместимости подвижного состава, применение альтернативных видов топлива, увеличение коэффициента использования пробега и т.д. В процессе совершенствования, предприятию необходимо не терять качество услуг, а стремиться к их улучшению.

Актуальность темы обусловлена активным ростом производства автомобиля, ходовые колеса которого приводятся в движение одними или несколькими электродвигателями (далее – электромобили), а также постоянным увеличением возможности использования данного типа автотранспортных средств.

Существует множество факторов, влияющих на эффективность эксплуатации электромобилей: организационные; климатические; экологические; финансовые, которые недостаточно изучены и исследованы.

Под организационными факторами понимается создание рациональной инфраструктуры, создающей беспрепятственную, удобную, экономичную возможность использовать электромобиль.

Климатические факторы особенно актуальны в регионах, с климатом резко отличающимся от нормальных условий эксплуатации, например с большим периодом повышенных или пониженных температур окружающего воздуха, что отражается на работоспособности и надежности аккумуляторных батарей.

Экологические факторы, также требуют тщательного исследования, так как электромобиль создавался изначально, как экологически чистый вид транспорта, но эксперты пришли к выводу, что показатель выброса твердых частиц при движении электромобилей выше, чем у стандартных автомобилей, а именно вследствие истирания дорожного покрытия, износа тормозов и шин. Твердые частицы представляют собой угрозу здоровью человека и загрязняют окружающую среду в большой степени, чем выхлопные газы ДВС. По мимо этого, ущерб природе наносит производство и утилизация данных автомобилей (в частности батарей), на сегодняшний день нет безопасных и недорогих технологий по утилизации литиевых аккумуляторов, композитных материалов и полупроводниковых элементов.

В данной работе рассмотрен финансовый фактор, как определяющий возможность

получить экономию на предприятии без потери качества, оказываемый услуг, то есть один из возможных решений проблемы оптимизации ресурсов для рассматриваемого предприятия ООО «АТП СНТ» г. Москва, представляется - переход на электромобили.

Таким образом, в работе была проанализирована целесообразность одного из вариантов экономии затрат - замена парка автомобилей с бензиновым двигателем (далее- бензиновых автомобилей) на электромобили.

В ходе работы анализировались технические характеристики парка из 76 автомобилей Toyota Camry (таблица1).

Известно, что автомобили с бензиновым двигателем дороги в обслуживании, кроме того, известно, что последствия их эксплуатации пагубно влияют на окружающую среду. Toyota Camry имеет экологический класс Евро 6 и определенные ограничения по выбросу вредных веществ, что не исключает вредного воздействия на окружающую среду, главным образом из-за накопительного эффекта, определяющимся массовым производством по всему миру, а также использованием автомобилей с бензиновым двигателем вне зависимости от класса экологичности. Следовательно, было выдвинута гипотеза, что использование электромобилей кроме прочего, возможно поспособствует повышению экологичности и снижению эксплуатационных затрат.

Таблица 1 – Технические характеристики Toyota Camry

Наименование	Значение
Мощность	181 л.с.
Тип двигателя	Бензиновый
Топливо	АИ-92
Полная масса	1810 кг
Расход	12 л
Стоимость ТС	3 500 000,00 руб

В качестве анализируемого оппонента выбран электромобиль Tesla Модель 3 (таблица 2), который, как и Toyota Camry, относится к D классу (категория полноразмерных автомобилей длиной 4,4–4,8 метра) автомобилей. Рассматриваемая модель отличается качеством сборки, и по отзывами владельцев - практически реальным заявленным значением пробега на одном заряде при нормальных климатических условиях. Необходимо отметить, что масса выбранного электромобиля превышает массу Toyota Camry в зависимости от емкости батареи в среднем на 400-500 кг, в результате чего, владельцы электромобилей

чаще меняют автошины по сравнению с автомобилями этого же класса, работающими на привычных видах топлива.

Для объективной оценки экономической эффекта в данном предприятии проведен анализ стоимости владения за год отдельно для каждого автомобиля с различным типом используемого источника энергии (топлива) (рисунок 1) и за три года эксплуатации (рисунок 2).

Таблица 1 – Технические характеристики Tesla Model 3

Наименование	Значение
Мощность	534 л.с.
Тип двигателя	Электро
Запас хода	460 км
Полная масса	2305 кг
Тип привода	Полный
Стоимость ТС	6 100 000,00 руб

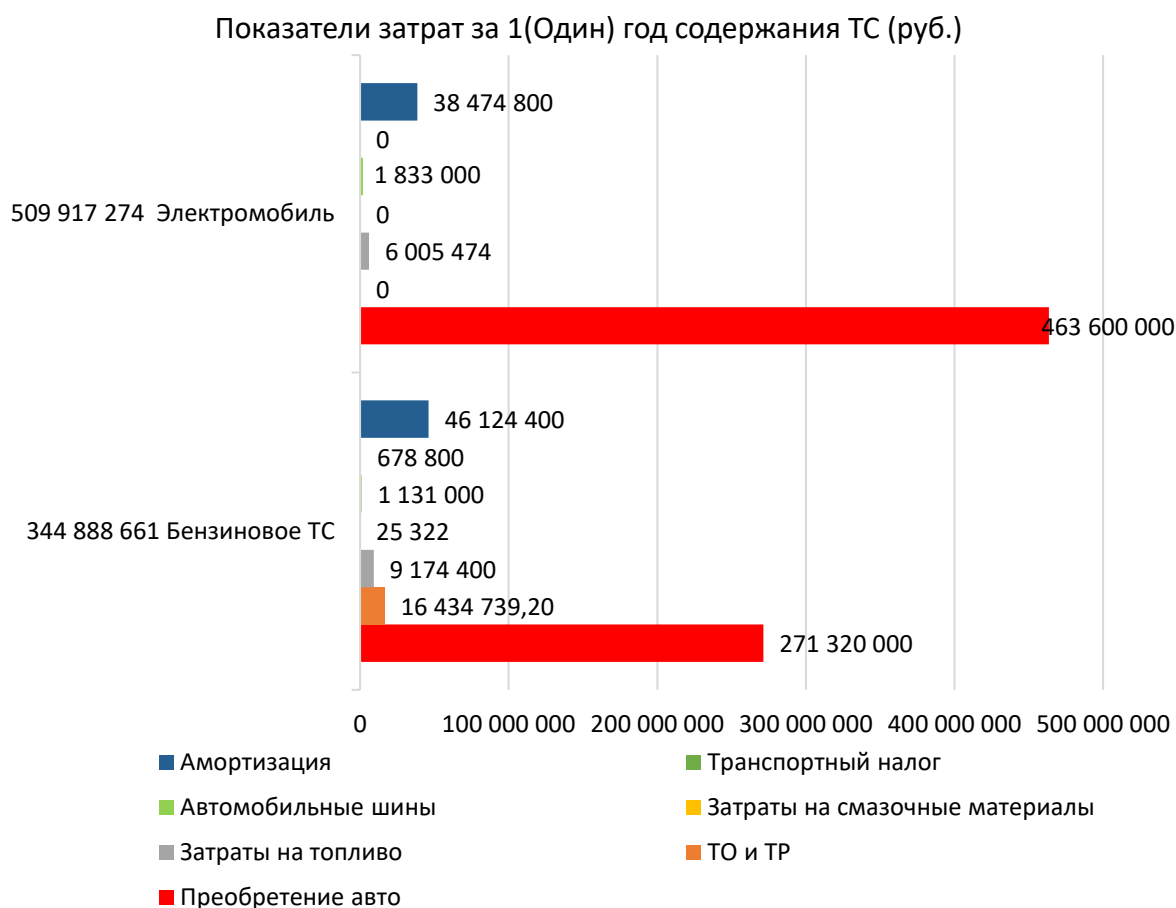


Рисунок 1 - Расчет и анализ технико-экономических затрат (ТЭП) транспортных средств (ТС) за 1 год

Расчеты проводились исходя из годового пробега исследуемого автопарка 76 единиц, который составил: для бензиновых автомобилей – 3253 тыс км; для электромобилей – 3532632,3 км. Среднесуточный пробег одного электромобиля больше в среднем на 12 км, из-за пробега до ближайшей зарядки и обратно, что соответственно увеличило значение годового пробега.

В результате установлено, что суммарные эксплуатационные затраты электромобиля выше, чем у автомобиля с бензиновым двигателем.

Необходимо отметить, что в первые 3 года владения электромобилем не требуется техническое обслуживание, по заявленным данным производителя первое ТО проводится через 150 тыс. км пробега. Соответственно в расчетах пренебрегли затратами на техническое обслуживание (ТО) и ремонт (Р).

На данный момент на территории Москвы с 1 января 2020 до 2030 года владельцы электромобилей, освобождены от уплаты транспортного налога.

Из сравнения экономических показателей содержания автомобилей за три года видно

снижение разницы между суммарными затратами. Причиной является - первоначальная цена электромобиля, только на их приобретение предприятие потратит примерно столько же средств, сколько потратит за 3-х летний эксплуатационный период бензиновых автомобилей.

Для определения экономического результата (эффекта), использовалась формула (1):

$$\mathcal{E} = (U_{z1} - U_{z2}) \cdot L_{\text{общ}}, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}$ – экономический результат, руб.;
 U_{z1} – удельные затраты на 1 км пробега бензинового автомобиля, руб/км;
 U_{z2} – удельные затраты на 1 км пробега электромобиля, руб/км;
 $L_{\text{общ}}$ – общий пробег, км.



Рисунок 2 – Расчет и анализ ТЭП транспортных средств (ТС) за 3 года

Расчет удельных затрат (рисунок 3,4), подтверждает отсутствие выгоды от перехода автомобилей с бензиновыми двигателями на электромобиля, несмотря на преимущества электромобиля в виде низких цен на топливо, минимальных затратах на ТО и отсутствие налогов. После первого года эксплуатации удельные затраты на 1 км пробега у автомобилей с бензиновым двигателем значительно меньше, чем у электромобиля, а после трех лет эксплуатации удельные показатели практически соизмеримы.

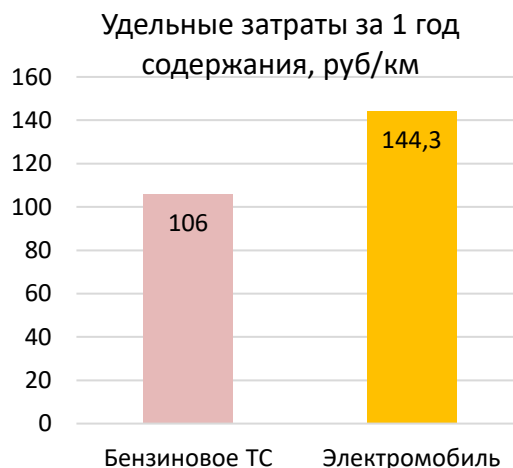


Рисунок 3 – Расчет удельных затрат за год

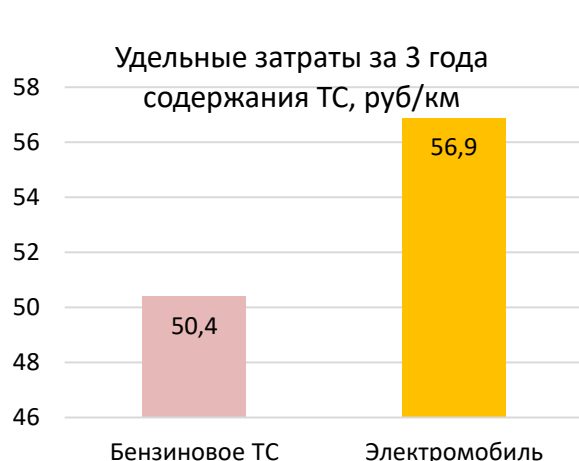


Рисунок 4 – Расчет удельных затрат за три года

Установлено, что по истечении года использования электромобилей (рисунок 5) сумма отрицательного экономического эффекта составляет около минус 135 млн руб., по истечению трёх лет эксплуатации разность удельных показателей существенно уменьшается, что отражается на сумме отрицательного экономического эффекта и она уже составит минус 68 886 324 руб. Это свидетельствует о том, что экономическая целесообразность эксплуатации электромобиля увеличивается с годами, то есть предположительно через пять лет численные значения удельных показателей либо сравнятся, либо у электромобиля он будет ниже, соответственно экономический эффект уже будет положительным.

Помимо высокой стоимости и затрат на шины, следует обратить внимание на низкий коэффициент использования пробега у электромобилей. за счет высокой доля холостого пробега в общем. Это связано с потерями при движении на пункт зарядки и обратно.

В ходе работы выявлено, что оптимизация ресурсов при организации пассажирских перевозок на рассматриваемом предприятии за счет использования электромобилей не целесообразна и принесет отрицательный экономический эффект, а так же доставит множество неудобств в эксплуатации.

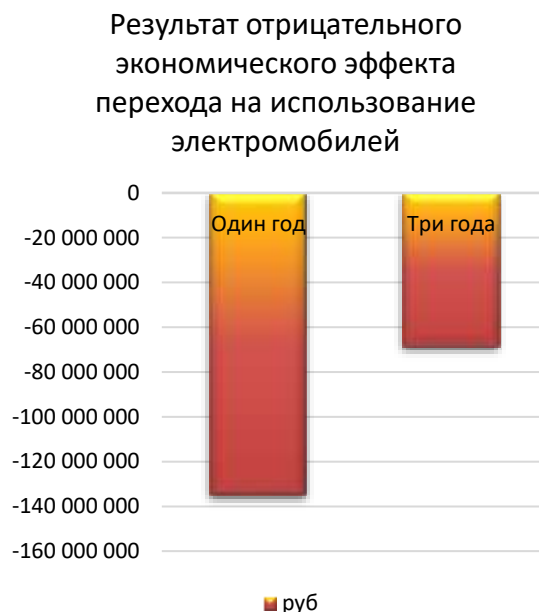


Рисунок 5 – Расчет экономического эффекта

Положительный эффект как экономический, так и экологический от замены бензиновых автомобилей на электромобили может быть достигнут за счет более низкой стоимости нового электромобиля приблизительно на 30%, снижении его массы, развитии инфраструктуры зарядных станций, а также уменьшении стоимости электроэнергии.

Литература

1. Нормы выбросов отработанных газов у Toyota Camry: [сайт]. – URL: <https://avtoflot.ru/vybrosy/toyota/camry.html> – Текст: электронный.
2. Стратегия развития «Спецнефтетранс»: [сайт]. – URL: <http://old.sntrans.ru/strategy>. – Текст: электронный.
3. Технические характеристики Toyota Camry: [сайт]. – URL: https://www.major-toyota.ru/model/toyota_camry/features/ – Текст: электронный.
4. Технические характеристики Тойота Камри 8 (XV70): [сайт]. – URL: <https://avtonam.ru/tech-toyota/char-camry-xv70/> – Текст: электронный.
5. Технические характеристики Tesla Model 3: [сайт]. – URL: https://auto.ru/catalog/cars/tesla/model_3/21057266/21057314/specifications/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F. – Текст: электронный.

ЭВОЛЮЦИЯ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ

В.В. Соловьев¹

*ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет»,
191023, Россия, Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, 30-32.*

В статье систематизирована эволюция методических подходов к оценке переработки отходов в России с 2000г по 2025г. Выявлены проблемы отсутствия единого стандарта и предложены пути совершенствования методологии в контексте экономики замкнутого цикла.

Ключевые слова: переработка отходов, индекс рециклинга, анализ иерархий Саати, циркулярная экономика, государственная политика.

THE EVOLUTION OF APPROACHES TO ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF WASTE TREATMENT

V.V. Solovev

*St. Petersburg State University of Economics,
St. Petersburg, 191023, Russia. Griboyedov Canal, 30-32.*

The article systematizes the evolution of methodological approaches to waste recycling assessment in Russia from 2000 to 2025. The problems of the lack of a unified standard are identified, and ways to improve the methodology in the context of the circular economy are proposed.

Keywords: waste recycling, methodological evolution, recycling index, analytic hierarchy process, circular economy, state policy.

Введение

Проблема рационального обращения с отходами давно перестала быть сугубо технической задачей. Она приобрела стратегическое значение для страны, обладающей масштабной производственной базой. Для России с её территориальной масштабностью вопрос об эффективности переработки отходов постепенно вышел на уровень государственной политики, отражая глубокие изменения в общественном сознании. Указ Президента от 7 мая 2024 года закрепил экономику замкнутого цикла в качестве национальной цели развития [0]. По плану требуется обеспечить полную сортировку твёрдых коммунальных отходов к 2030 году, сократить захоронение не менее чем на 50% и вовлечь в хозяйственный оборот не менее 25% отходов производства и потребления в качестве вторичных ресурсов.

Несмотря на наличие амбициозных целевых показателей, реализация государственной политики сталкивается с серьёзным барьером в виде отсутствия единой, научно обоснованной методической базы для комплексной оценки эффективности переработки. Существующие подходы зачастую фрагментарны и не учитывают региональную специфику, что

делает актуальным ретроспективный анализ развития методологии. Целью данной работы является систематизация эволюции подходов к оценке эффективности переработки отходов в отечественной науке за период 2000–2025 гг. и определение направлений их дальнейшего совершенствования.

Основная часть

Реализация амбициозных целей встречает фундаментальную проблему. В России отсутствует устоявшаяся методическая база для комплексной оценки эффективности переработки отходов. Уровень утилизации в 2024 году составил около 36% [11], существенно отстав от целевых показателей. Региональная вариативность в образовании отходов является отражением не только различных климатических и социально-экономических условий, но также и различной степени развития методики оценки эффективности в разных регионах. Официальные данные Росприроднадзора за 2024 год подтверждают существенные различия в показателях образования бытовых отходов на душу населения в зависимости от региона, что создаёт дополнительный вызов для унификации методических подходов (рис.1).

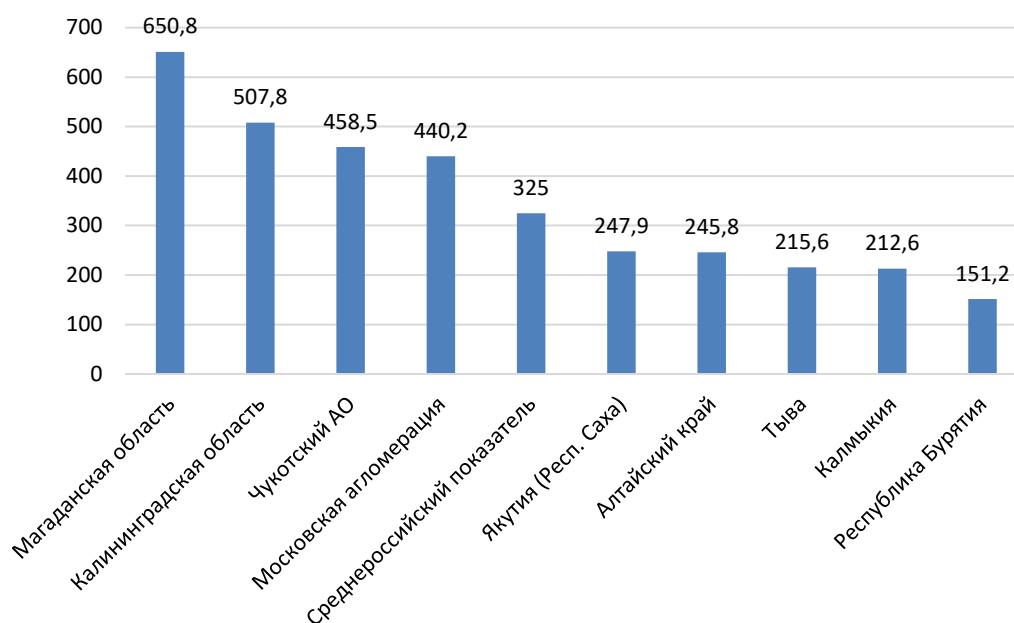


Рисунок 1 – ТКО на душу населения, кг/год [8].

Анализ этих данных выявляет интересную закономерность. Магаданская область, лидирующая по объёму образования ТКО на душу населения, отличается не только высокими среднедушевыми доходами, но и достаточно развитой системой учёта отходов. Практически весь мусор проходит через весовые системы и документируется, что обеспечивает полноту статистики. В противоположном конце спектра находится Республика Бурятия с показателем 151,2 кг на человека, где значительная часть населения проживает в сельской местности с развитой культурой повторного использования тары и компостирования органики. Однако, разница в 4,3 раза между максимумом и минимумом отражает не только реальные различия в потреблении, но и несовершенство методиках учёта на региональном уровне. В некоторых регионах (таких как Ингушетия и Дагестан) показатели искажены из-за неполноты учёта в сельских районах и технических проблем с регистрацией. Это подтверждает вывод о необходимости развития единой методической базы, которая бы позволила сопоставлять данные между регионами, корректируя исходные различия в условиях.

За 25 лет отечественная наука разработала множество подходов к оценке эффективности. Однако эти подходы часто остаются разрозненными, слабо интегрированными в систему государственного управления. Возникает естественный вопрос о причинах такого состояния и о путях его преодоления. Целью исследования является систематизация истории развития методической оценки эффективности. Необходимо показать, как менялись

представления об эффективности, какие инструменты появлялись и почему, как связаны эти процессы с реальными изменениями в экономике, науке и государственной политике.

Понимание эффективности переработки отходов в российской научной традиции претерпело значительные изменения. Речь идёт о системе показателей, отражающих результативность преобразования отходов в полезные продукты или вторичные ресурсы. В зависимости от научного контекста и практических целей это понятие получает различные интерпретации. На начальном уровне анализа говорят об экономической эффективности как о простом соотношении между выручкой и затратами на переработку. Более сложная трактовка предусматривает эколого-экономическую эффективность, интегрирующую финансовые показатели с оценкой предотвращённого ущерба окружающей среде. Современное понимание эффективности объединяет в единую оценочную систему экономические, экологические, ресурсные и социальные показатели.

При анализе научной литературы и действующей нормативной базы выделяются основные группы методических подходов. Экономические методы строятся на финансовых показателях, включая анализ затрат и выгод, расчёт коэффициента экономической эффективности, чистой дисконтированной стоимости и внутренней нормы доходности. Экологические методы ориентированы на количественную оценку воздействия процессов переработки на окружающую среду, применяя методическое обеспечение Life Cycle Assessment в соответствии со стандартами ISO 14040–

2022 [4], анализ потоков материалов, расчёт углеродного следа и оценку предотвращённого ущерба. Интегральные подходы объединяют несколько критериев в единую систему, включая индекс эффективности рециклинга, метод анализа иерархий Саати и комплексные системы мониторинга.

Начало 2000-х годов был особым периодом в развитии отечественной науки об управлении отходами. Исследователи и практики, ища точку опоры, опирались преимущественно на экономические критерии. Федеральный закон об отходах производства и потребления от 24 июня 1998 года [1], вступивший в полную силу в начале 2000-х, задал правовую рамку, но готовой методики оценки не предложил. Выбор в пользу экономических показателей был естественным, ведь экономика проста, измеряема и понятна на уровне государственного управления. Основным показателем служил коэффициент эффективности, вычисляемый как отношение выручки к затратам на переработку. Если коэффициент превышал единицу, проект считался экономически целесообразным.

Экологические эффекты оставались за рамками расчётов, не потому что учёные не понимали их значение, а потому что их было сложнее квалифицировать. В фокусе исследований оказывались отрасли, где переработка давала ощутимый финансовый результат, прежде всего цветная и чёрная металлургия. Там цена вторичного сырья оправдывала затраты на переработку. Однако, сосредоточение на отдельных отраслях означало, что большая часть отходов оставалась вне внимания науки. Отсутствие единой методологической платформы приводило к разрозненности результатов. Объём научных публикаций по управлению отходами в России значительно отставал от западных стран. Тем не менее этот период был необходим, устанавливая базовый уровень для дальнейшего развития.

Со второй половины 2000-х годов в отечественной науке произошло переосмысление проблемы. На саммите Группы восьми была признана необходимость разработки критериев оценки, учитывающих не только экономику, но также экологические последствия. Главным достижением этого периода стала разработка индекса эффективности рециклинга [12], интегрировавшего три компонента. Показатель экономической эффективности, показатель экологической значимости и показатель масштабной составляющей, отражающий объёмы образования отходов на территории, вместе образовали единый индекс.

Значения варьировались от 0,001 до 1,0, где более высокие значения указывали на большую эффективность рециклинга для общества.

Это было значительным достижением в методологии. Впервые в отечественной научной практике удалось объединить экономические и экологические критерии в единый показатель. Компонента экологической значимости учитывала степень опасности отходов для окружающей среды и человека, их способность к самоликвидации, позволяя количественно оценить экологическую составляющую. Параллельно началось внедрение международных стандартов, особенно методического обеспечения Life Cycle Assessment. Применение в России оставалось редким явлением, затруднённым методической сложностью и дефицитом исходных данных.

В 2010–2015 годах произошло усложнение методологии оценки. Параллельно с развитием индекса эффективности рециклинга началось интенсивное внедрение методологии оценки жизненного цикла. Согласно соответствующим стандартам ISO 14040 и ISO 14044 [4], эта методология представляет собой набор процедур по сбору и анализу всех материальных и энергетических потоков системы. Процедуры охватывают весь путь продукта от производства до утилизации. Применение в России оставалось ограниченным, так как методология требовала огромный объём данных, отсутствующих в открытом доступе. За рубежом эта методология давно стала стандартом [6], тогда как в России её развитие шло существенно медленнее.

В этот же период развивался дифференцированный подход к различным типам отходов. Твёрдые бытовые отходы, производственные отходы и строительные отходы начали рассматриваться с различными методическими инструментами. Нормативная база расширялась через развитие системы наилучших доступных технологий, отражая растущее понимание того, что одним инструментом здесь не обойтись. Авторы определили четыре стадии проведения оценки жизненного цикла, включая определение цели и области применения, инвентаризационный анализ, оценку воздействия и интерпретацию результатов. Каждая стадия требовала соответствующей методологической подготовки и значительных ресурсов.

В 2015–2020 годах методика оценки существенно усложнилась и стала более практико-ориентированной. Начал широко применяться метод анализа иерархий Томаса Саати, позволяющий структурировать сложную многокритериальную задачу в виде иерархии целей, критериев и альтернатив. Этот подход

оказался идеальным для решения проблемы выбора оптимального метода обращения с отходами, позволяя учитывать множество факторов одновременно. Практическое применение метода в Иркутске демонстрировало его полезность [7]. Там разработали комплексную оценку четырёх сценариев обращения с отходами, включая раздельный сбор, компостирование и механико-биологическую обработку.

Методическое обеспечение позволило объединить технические, экономические, социальные и экологические критерии для получения интегрированной оценки, оказавшейся полезной при принятии управленческих решений. Параллельно проводились исследования по применению метода анализа иерархий совместно с геоинформационными системами для выбора участков под объекты управления отходами. Пример из Нижегородской области показал эффективность многокритериальной оценки в территориальном планировании [10]. Это была уже не просто научная работа, а реальный механизм поддержки управленческих решений на региональном уровне.

В 2024 году исследования показали более систематическое применение метода анализа иерархий [5]. Авторы разработали шесть критериев оценки, включая снижение объёмов отходов, влияние методов переработки на окружающую среду, выбросы парниковых газов, энергетическую привлекательность процессов и экономическую привлекательность для инвесторов. Дополнительно учитывались социальные аспекты, включающие занятость и качество жизни населения. Методика предусматривала построение иерархической структуры, установление приоритетов между критериями и проведение оценки каждой альтернативы по каждому критерию с применением метода парных сравнений.

Текущий период, начавшийся с 2020 года, представляет собой качественный скачок в развитии методического обеспечения. Это связано не только с техническим прогрессом, но и с кардинальным изменением государственной политики. Указ Президента 2024 года закрепил экономику замкнутого цикла в качестве национального приоритета [3]. В 2025 году был запущен национальный проект Экологическое благополучие [9], частью которого стал федеральный проект Экономика замкнутого цикла. На этом этапе применяется комплексная система показателей, объединяющая экономические, экологические, социальные и ресурсные компоненты оценки.

Экономические показатели включают возврат на инвестиции, чистую дисконтированную стоимость и добавленную стоимость.

Экологические показатели охватывают выбросы парниковых газов, предотвращённый ущерб и ресурсную производительность. Социальные показатели включают количество рабочих мест и качество жизни населения. Ресурсные показатели отражают долю вторичного сырья и коэффициент циклизации материалов. Это целая система мониторинга эффективности циркулярной экономики. Внедряются информационные системы, позволяющие отслеживать потоки отходов в реальном времени через региональные системы учёта, централизованные электронные реестры и аналитические платформы на основе больших данных.

Федеральный закон от 26 декабря 2024 года [2] внёс существенные изменения в закон об отходах производства и потребления. Были уточнены понятия хранения отходов, введены новые категории, например, искусственные грунты, и установлены новые требования к обращению с отходами на труднодоступных территориях. Адаптировались существующие методики оценки и разрабатывались новые подходы. Этот период отличается системной интеграцией методов в государственное управление. Методика оценки эффективности стала инструментом мониторинга достижения целей национального проекта, означая, что вопрос об оценке эффективности переработки отходов перестал быть исключительно научным. Также ниже представлена информация о динамике утилизации отходов, чтобы показать эмпирическое подтверждение эволюции методики.

Примечательно, что 2019 год отмечает критическую точку в эволюции подходов. Именно тогда началась мусорная реформа, сопровождавшаяся пересчётом показателей и пересмотром системы оценки и учёта отходов. Появление новых показателей, основанных на более детальных методиках расчёта, привело к переоценке исторических данных и введению более строгих критериев определения утилизации. С этого момента цифры рассчитываются иначе – с учётом не только объёмов переработки, но и качества обработки, направления использования вторичного сырья и полноты вовлечения отходов в хозяйственный оборот. Это наглядный пример того, как методические подходы определяют не только оценку эффективности, но и саму интерпретацию официальной статистики. За счёт более полного учёта рост показателя с 7,6% в 2023 году до 36% в 2024 году демонстрирует не столько революционный скачок в переработке, сколько системное улучшение методик и расширение определения утилизации в контексте новых целей государственной политики.

Таблица 1 – Динамика утилизации отходов в России [11,13]

Год	Уровень утилизации и обезвреживания, %	Период развития методологии
2006	40	Экономический акцент
2010	45,2	Переход к индексу рециклинга
2015	52	Развитие LCA
2016	60	Применение анализа иерархий
2019	7,0	Мусорная реформа, смена методики
2022	6,6	Новая методология учёта
2023	7,6	Адаптация к циркулярной экономике
2024	36	Интеграция комплексных показателей

Несмотря на развитие международных стандартов, ситуация в России существенно отличается. Методическое обеспечение оценки жизненного цикла долгое время оставалась недостаточно развитой, представляя собой парадокс, который заключается в том, что стандарты существуют, но применяются редко. Российская научная база по исследованиям жизненного цикла отстаёт от европейской. Опубликовано лишь несколько работ по применению методологии в промышленности, тогда как в европейских странах это давно стало стандартом [6]. Стандарты ISO 14040 и ISO 14044 предусматривают четырёхэтапный процесс, включающий определение цели и области применения, инвентаризационный анализ, оценку воздействия и интерпретацию результатов.

Анализируются множество категорий воздействия на окружающую среду, включая изменение климата (CO₂-эквивалент), подкисление (SO₂), эвтрофикацию (PO₄), токсичность для человека, экотоксичность и истощение ресурсов. Причины ограниченного применения методик в России сокрыты в нескольких факторах. Методы требуют значительный объём достоверных данных, открытый доступ к которым ограничен. Требуются квалифицированные специалисты, которых в России недостаточно [6]. Внедрение требует времени и финансирования, часто недостаточного. Государственная поддержка этого направления остаётся слабой.

Заключение

Несмотря на значительный прогресс за 25 лет, анализ выявил серьёзные нерешённые

проблемы, стоящие на пути реализации национальных целей. В России отсутствует единый государственный стандарт, регулирующий комплексную оценку эффективности переработки отходов. Результаты разных исследований оказываются несопоставимы. Один регион применяет одну методику, другой применяет совсем другую. Сравнение становится невозможным. Попытка сравнить эффективность работы предприятий в Москве и Екатеринбурге в большинстве случаев будет безуспешной из-за различий в стандартах оценки.

Комплексные методы оценки требуют значительный объём достоверных данных. Это создаёт проблемы при применении на малых и средних предприятиях, где часто отсутствуют специалисты, способные собрать и обработать такой объём информации. Недавние законодательные изменения вводят новые категории отходов, однако научное методическое обеспечение для этих категорий ещё находится в разработке. Остаётся открытым вопрос о региональной адаптации методик при сохранении единых принципов. Территория России очень обширна, условия существенно различаются, поэтому жёсткие унифицированные методики могут привести к искажённым результатам. Если же дать каждому региону полную свободу, возникнет риск возврата к разрозненности.

За четверть века произошла подлинная трансформация методических подходов. От элементарных экономических расчётов, доминировавших в начале 2000-х годов, наука совершила переход к многокритериальным системам оценки, учитывающим экономические, экологические, социальные и ресурсные аспекты. Разработан и внедрён индекс эффективности рециклинга, впервые объединивший экономическое и экологическое направления. Адаптирован метод анализа иерархий Саати для применения в оценке методов обращения с отходами. Методическое обеспечение встроено в государственную политику, связывая научные разработки с национальными целями развития.

Для полной реализации потенциала методического обеспечения требуется решить несколько ключевых задач. Необходимо разработать и принять единый национальный государственный стандарт для комплексной оценки эффективности, обеспечивая сопоставимость результатов и возможность межрегионального анализа. Нужно расширить применение методики оценки жизненного цикла, создав соответствующую научную базу и подготовив специалистов. Требуется обеспечить региональную адаптацию методик при сохранении единых принципов и показателей, создав

гибкую систему, позволяющую регионам учитывать специфику.

Необходимо развивать информационные системы реального времени для мониторинга эффективности на национальном и региональном уровнях, так как это основа для управленческих решений в контексте циркулярной экономики. Требуется усилить финансовую и методическую поддержку предприятиям при переходе на новые системы оценки эффективности. Без этой поддержки методические разработки останутся в качестве идей, а предприятия, особенно мелкие, не смогут внедрить новые подходы.

Эволюция методик оценки эффективности переработки отходов в России продолжается. Мы находимся в критически важный момент развития. Дальнейшее развитие будет определяться успешностью реализации национальных целей о формировании экономики замкнутого цикла к 2030 году. От чёткости и от единства методических подходов, от практической применимости этих инструментов зависит как качество стратегического планирования, так и возможность достижения национальных экологических целей. Методический аппарат, созданный за 25 лет, должен реализовываться в практике государственного управления, став основой для перехода страны к устойчивому развитию.

Литература

1. Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» (в редакции от 26.12.2024) // КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ (дата обращения: 24.12.2025).
2. Федеральный закон от 26.12.2024 № 497-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» и Федеральный закон «Об охране окружающей среды» // Гарант. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/411108873/> (дата обращения: 24.12.2025).
3. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» // Официальный портал Президента Российской Федерации. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50542> (дата обращения: 26.12.2025).
4. ГОСТ Р ИСО 14040–2022. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура. – Введ. 2022-06-15. – Текст : электронный // Электронный фонд нормативно-технической документации. – URL: <https://meganorm.ru/Data/793/79318.pdf> (дата обращения: 25.12.2025).
5. Козлова, М. В. Разработка критериев оценки эффективности методов обращения с твёрдыми коммунальными отходами / М. В. Козлова, С. А. Щетина, Н. А. Байбакова // Известия ИРГТУ. – 2024. – № 3(24). – С. 20–28. – URL: <http://vestnik.ispu.ru/sites/vestnik.ispu.ru/files/published/3-24-str.20-28.pdf> (дата обращения: 25.12.2025).
6. Уланова, О. В. Краткий обзор метода оценки жизненного цикла продукции и систем управления отходами / О. В. Уланова, В. Я. Старостина // Science-education.ru. – 2012. – URL: <https://science-education.ru/article/view?id=6799> (дата обращения: 26.12.2025).
7. Юганова, Т. И. Методология экологической оценки жизненного цикла твёрдых коммунальных отходов. Основные положения и примеры применения / Т. И. Юганова // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2020. – № 5. – С. 3–23. – URL: <https://sciencejournals.ru/view-article/?j=geoekol&y=2020&v=0&n=5&a=GeoEkol2005009Yuganova> (дата обращения: 26.12.2025).
8. Аналитики обновили показатели образования отходов на одного человека по регионам // Solidwaste.ru. – 2025. – URL: <https://news.solidwaste.ru/2025/09/analitiki-obnovili-pokazateli-obrazovaniya-othodov-na-odnogo-cheloveka-po-regionam/> (дата обращения: 24.12.2025).
9. В России формируется экономика замкнутого цикла // Ведомости. Устойчивое развитие. – 2025. – URL: https://www.vedomosti.ru/esg/national_projects/articles/2025/05/22/1112071-v-rossii-formiruetsya-ekonomika-zamknutogo-tsikla (дата обращения: 23.12.2025).
10. Выбор участков под объекты обращения с твёрдыми коммунальными отходами на основе пространственного анализа и многофакторной оценки // Экология и управление природопользованием (HSE). – 2016. – URL: <https://usp.hse.ru/article/view/8350> (дата обращения: 22.12.2025).
11. Гринум. Россия снижает объёмы отходов: устойчивые тренды и региональные особенности. – 2025. – URL: <https://greenium.ru/14302/> (дата обращения: 22.12.2025).
12. Оценка эффективности рециклинга (вторичной переработки) // waste.ru. – 2010. – URL: <https://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=147> (дата обращения: 25.12.2025).
13. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. Отчетные данные по форме 2-ТП (отходы) за 2024 год по федеральным округам и субъектам РФ. – URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/production-consumption-waste/> (дата обращения: 26.01.2026).

МАРКЕТИНГОВЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ИНКЛЮЗИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДОВ: КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

Ю.В. Билан¹

*Донской государственный технический университет,
Россия, 344000, г. Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, д 1.*

Статья обосновывает маркетинговый подход к организации перевозок маломобильных граждан, рассматривая их потребности как драйвер инноваций. Предлагается концептуальная модель системы комплексной организации мобильности как решение.

Ключевые слова: маломобильные граждане, мобильность, маркетинговый подход, драйвер инноваций.

A MARKETING APPROACH TO INCREASING INCLUSIVITY TRANSPORT SYSTEMS OF CITIES: THE CONCEPTUAL MODEL

Yu.V. Bilan

Don State Technical University, Russia, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

The article substantiates the marketing approach to the organization of transportation of low-mobility citizens, considering their needs as a driver of innovation. A conceptual model of the integrated mobility management system as a solution is proposed.

Keywords: low-mobility citizens, mobility, marketing approach, driver of innovation.

Введение

Транспортная стратегия России нацелена на повышение безопасности и доступности транспорта. Практика показывает, что в большинстве регионов имеются пробелы в развитии транспортной инфраструктуры, отмечаются случаи низкого качества пассажирских перевозок, что остается одной из наиболее острых социальных проблем, требующих решения. [5]

В тоже время, процесс перевозки должен опираться на баланс интересов всех участников: заказчика, потребителя, исполнителя. Как правило, интересы этих групп носят противоположный характер: потребитель ориентирован на удобство и низкую стоимость, исполнитель – на максимальную прибыль при минимальных затратах, а заказчик – на эффективную и бесперебойную работу с минимальными операционными затратами. Такое расхождение интересов приводит к ущемлению позиций потребителя, делая его наиболее уязвимым звеном в транспортной системе [10], [13]. Несмотря на обширную нормативно-правовую базу и потенциал цифровых технологий [7], на практике, потребностям маломобильных граждан (МГН), зачастую уделяется недостаточное внимание. Формальное выполнение требований доступности не решает проблемы,

а услуги для МГН воспринимаются как источник дополнительных издержек, требующих не-системных решений [1].

Современные модели организации транспортного обслуживания зачастую не являются комплексными и ориентированы на усредненного пользователя, формально удовлетворяя нормативные требования доступности, не учитывают специфические потребности МГН [12]. Нормативные требования по обеспечению доступности формально выполняются, системная архитектура остается ориентированной на усредненного пользователя. Это порождает тенденцию восприятия МГН не как полноправных субъектов транспортной системы, а как источник дополнительных операционных издержек, требующий разработки отдельных, часто несистемных и кажущихся непопулярными решений.

Такая парадигма формирует реактивный подход к развитию сервисов, при котором изменения вводятся преимущественно как ответ на возникающие проблемы, а не как результат проактивного проектирования универсальной среды. Следствием такого подхода являются:

-фрагментарность цифровых решений (карты доступности, сервисы маршрутизации, услуги вызова такси), которая создает для пользователей новые барьеры, связанные с

необходимостью освоения множества несвязанных интерфейсов («цифровая занятость»);

-оправдание предоставления урезанных услуг - то есть «селективная инклюзия»;

-нерациональное распределение финансовых ресурсов, приводящее к неполному обеспечению доступности, недовольству качеством услуг и социальному напряжению общества, вызванному недовольством из-за расхождения ожиданий качества услуги и реального сервиса;

-неэффективность работы перевозчиков, и как следствие, торможение их развития.

Сложившаяся ситуация требует поиска первопричин и способов решения.

Проблема: в практическом применении выявляются серьезные противоречия интересов участников процесса перевозок, когда улучшение условий для одних, происходит за счет ухудшения для других и усугубляются недостаточным учетом потребностей МГН.

Цель – обоснование применения маркетингового подхода для повышения инклюзивности транспортных систем городов, рассматривая потребности МГН, как драйвер развития этих систем.

Актуальность: Явление «селективной инклюзии» в практической реализации обеспечения доступности и мобильности МГН, противоречит конвенции ООН о равных правах для всех граждан и требует поиска путей эффективных путей повышения инклюзивности транспортных систем.

Научная новизна: Разработка концептуальной модели комплексной системы организации мобильности, основанной на маркетинговом подходе с обратной связью, реализующий проактивный принцип «расширенного планирования перевозки» путем воздействия на спрос. В рамках такого подхода, специфические потребности МГН выступают драйвером развития.

Методы: анализ, синтез, моделирование, анализ источников

Основная часть

Проблемы организации перевозок

В нашей, стране нормативно-правовое регулирование является основой организации пассажирских перевозок [8]. Следует признать ценность подхода, основанного на нормативном регулировании. Эти механизмы играют важную роль и задают базу — это надзорная деятельность, лицензирование, регулирование тарифов и меры финансовой поддержки отрасли [2]. Однако, этот подход, будучи необходимым, недостаточен для построения инклюзивной транспортной системы, ориентированной на реальные потребности всех граждан.

Практика показывает, что опора исключительно на нормативное администрирование приводит к разрыву интересов участников, особенно МГН. Преобладание такого подхода, подкрепленное формальным исполнением нормативных требований, порождает барьеры:

-сложность доступа к услугам, например, процедура заказа социального такси, организованная в виде предварительного заказа для ограниченного круга лиц и ограничением мест посещения. Что приводит к смещению предпочтений другим способом, например, такси, что соответственно перемещает и поток финансов - импульс развития, а самое главное – не позволяет развиваться услуге, ошибочно подсвечивая ее невостребованность;

-неверная оценка спроса: невостребованность услуг, связанная с барьерами, ошибочно трактуется как отсутствие потребностей, что ведет к сокращению расходов;

-смещение предпочтений: пользователи выбирают личный транспорт или такси, а не общественный, стимулируя появление заторов на дорогах, проблемы экологии и безопасности движения, рост числа ДТП, больший износ транспортной инфраструктуры. Потребитель может и более радикально поступить – отказаться от поездок;

-отсутствие стимулов к развитию. Перевозчики, ориентируясь на гарантированный объем по муниципальным контрактам, не заинтересованы в активном продвижении и улучшении качества услуг.

Такой подход имеет несомненную ценность, так как гарантирует социально значимые перевозки пассажиров, в определенном объеме и качестве. В практике же известны случаи, когда пассажиры недовольны качеством услуг, комфортом, сервисом при выполнении перевозок [8]. В такой технически сложной системе, могут быть сбои – поломка транспорта, не выход на линию, как по объективным причинам, например, погодные условия, так и субъективным, связанным с деятельностью перевозчика. Эти факторы влияют на устойчивое негативное мнение о городских перевозках, и, снова толкают на поиск другого способа поездок, или снижению мобильности.

Особенно остро эти проблемы проявляются для МГН, так как для организации таких перевозок необходимы дополнительные технические меры и финансовые и организационные затраты. Отсутствие доступных способов передвижения ведет к дискриминации и социальной изоляции. Принимая во внимание значительную долю МГН в общем населении России (на 1.03.2026 г - около 30% [16]), игнорирование их потребностей является не только упущением прибыли, но и ущемлением прав.

Финансовая составляющая не должна ограничивать социальный эффект.

Приходится констатировать факт, что транспортные системы городов не являются полностью инклюзивными, особенно в малых городах России, так как зависят от финансовых возможностей, которые в свою очередь тем больше, чем большее число МГН зарегистрировано на территории, что кажется правильным и обоснованным, но ставит граждан в неравное положение. В селах и малых поселках, ситуация еще сложнее. Это является проблемой и прямым противоречием с законодательством. Программы «Доступная среда» реализуются постепенно, но медленная адаптация инфраструктуры усугубляет неравенство.

Нормативно-правовое регулирование, существуя в формате «заказа» услуг, не обеспечивает проактивного подхода к созданию инклюзивной среды. Оно создает лишь формальные рамки, не стимулирует развития и не учитывая реальные потребности пользователей, в особенности МГН. Для построения эффективной и инклюзивной транспортной системы необходим переход к модели, интегрирующей маркетинговые инструменты, направленные на понимание, формирование и стимулирование спроса, где потребности МГН выступают драйвером развития.

Маркетинговые инструменты в организации перевозок

Перспективной альтернативой административному подходу является комбинация с концепцией, где потребности МГН выступают драйвером системных инноваций. Такая синергия позволяет потребителям, посредством постоянной обратной связи (оценки качества, предложений, жалоб, запросов на перевозки), активно воздействовать на систему.

Удовлетворение высоких требований МГН (надежность, безопасность, информированность, мультимодальность) способно вывести качество транспортного обслуживания на новый уровень для всех пользователей является достойным аргументом для построения концепции.

Это требует кардинального изменения подхода к реализации государственных программ доступности для МГН.

Методологической основой преобразований может стать внедрение маркетинговых инструментов для развития транспортных систем [4], [5].

Он предполагает смещение фокуса с нормативного на ориентацию на потребности и ожидания потребителей транспортных услуг. Согласно концепции А.А. Парасурамана [14] можно заключить, что оценка транспортных

услуг должна включать не только удовлетворенность потребителя, но и, с учетом маркетингового подхода, соответствие ожиданиям. Этот принцип подчеркивает, что системы, где услуга формируется исходя из возможностей исполнителя, а не потребностей целевой аудитории, изначально не способны обеспечить удовлетворенность качеством, поскольку этот ориентир не выступал первостепенным при создании услуги.

Внедрение инноваций в транспортной сфере зачастую направлено на повышение общей эффективности или сокращение издержек. Однако, в рамках концепции с акцентом на специфические потребности МГН выступают драйвером развития, стимулируя внедрение решений, которые в конечном итоге становятся стандартом качества для всех. Принцип универсального дизайна, лежащий в основе удовлетворения потребностей МГН (например, создание безбарьерной среды, интуитивно понятных интерфейсов, адаптивных информационных систем), по своей сути является генератором инноваций. Решения, в первую очередь адаптированные для МГН, зачастую оказываются более удобными, безопасными и технологичными для всех пользователей.

Например, системы навигации, разработанные для людей с нарушениями зрения или когнитивными особенностями, могут быть использованы туристами или горожанами, незнакомыми с городом. Интеграция GPS/ГЛОНАСС-мониторинга с функциями оповещения в реальном времени — это не только средство контроля, но и гарантия своевременного информирования всех пассажиров о прибытии транспорта, что особенно важно для планирования поездок МГН. Таким образом, акцент на потребности МГН, превращает вызовы, связанные с их мобильностью, в катализатор для создания более совершенной, инклюзивной и технологичной транспортной инфраструктуры, делая взаимодействие более эффективным, проблема баланса интересов становится менее острой.

Комплексность такого подхода проявляется в следующих элементах:

- глубокое понимание потребителя - исследование потребностей, предпочтений, поведения потребителей;
- создание ценности для клиента - разработку и предложение услуг, которые не только соответствуют нормативным требованиям, но и ожиданиям потребителей по качеству, удобству, доступности, безопасности;

- постоянная обратная связь и адаптация – активное взаимодействие с пользователями через различные каналы (оценки, жалобы, предложения, запросы), с целью непрерывного улучшения услуг и оперативной адаптации системы к изменяющимся условиям;

- инновации, основанные на рыночном спросе - внедрение новых технологий и сервисов, отвечающих актуальным потребностям рынка и формирующих конкурентные преимущества;

- построение взаимовыгодных отношений – формирование лояльности пассажиров через предоставление качественных, персонализированных и комплексных решений.

Таким образом, маркетинговый подход является необходимым дополнением к нормативному регулированию, поскольку он переводит управление транспортными системами с реактивного, формального уровня на проактивный, клиентоориентированный и инновационный, обеспечивая устойчивое развитие и повышение качества жизни населения.

В этом контексте, как отмечают Ксенофонтова Т. Ю. и Фомина К. Р., инновационные маркетинговые мероприятия, целесообразные для внедрения на городском общественном транспорте с целью повышения удовлетворенности пассажиров, должны опираться на ресурсные возможности и условия конкретного города, региона [5]. Авторы справедливо указывают, что, зачастую эти возможности не соответствуют предъявляемым требованиям. Действительно, при отсутствии должного финансирования невозможно инвестировать в инновации, что является основной преградой для изменения концепции управления транспортными системами в сторону маркетингового подхода. Тем не менее, необходимо учитывать, что при оценке социально-значимых услуг нельзя ограничиваться лишь финансовыми показателями; следует принимать во внимание и социальный эффект.

Важно также осознавать, что каждый маркетинговый инструмент взаимодействия с потребителем обладает мультипликативным эффектом, позволяющим грамотно достигать поставленных целей и получать выгоды [5].

Калиева О. М. и Карелин Н. В., предлагают рассматривать диверсификацию как одну из маркетинговых стратегий продвижения инноваций на предприятиях городских пассажирских перевозок. В условиях современного экономического этапа, реализация предприятиями главной цели – получения прибыли –

возможна исключительно посредством совершенствования выполняемых работ и расширения спектра оказываемых услуг через внедрение «инновационно-революционных» разработок, обеспечивающих конкурентоспособность. Достижение этой цели требует маркетинговой стратегии, предусматривающей ориентацию управляющей подсистемы предприятия на потребителя при решении любых задач, с учетом ситуации на рынке [4].

Возможности как АТП, так и муниципалитета предоставлять определенные услуги или выполнять работы, обусловлены материально-технической базой, и финансовыми ресурсами, наличием квалифицированного персонала, а также рыночным спросом на эти услуги [4]. Это вновь указывает на определяющее влияние финансовых ресурсов на развитие. Ввиду того, что автотранспортные предприятия с трудом добиваются рентабельности, а муниципалитеты бывают и дотационными, следует ожидать, что инновации, скорее всего, не будут носить интенсивный характер. Однако, ссылаясь на финансовые ограничения, может маскировать сопротивление инновационному развитию, вызванную консервативностью взглядов руководства, неспособных оценить долгосрочную выгоду или же предпочтением перераспределять средства на более «прагматичные» нужды.

Применение маркетингового подхода при организации перевозок МГН

В качестве действенного инструмента повышения инклюзивности транспортной системы и, как следствие, мобильности МГН, в рамках данного исследования предлагается концептуальная модель системы комплексной организации мобильности, основанная на маркетинговом подходе и цифровых технологиях. Модель реализует проактивный принцип «расширенного планирования перевозки», как инновационное решение, ориентированное на создание доступной транспортной системы, что позволит сместить фокус с административного контроля на реальные потребности пассажиров, особенно маломобильных групп населения. Информационные базы предусматривают присвоение категории МГН, и учитывая это, сгенерированное предложение дифференцировано с учетом категории, например, для слабовидящих - с приоритетом на наличие тактильной информации, или же пандусов – для людей, с нарушениями опорно-двигательного аппарата. Концептуальная модель системы представлена на рисунке 1 и может послужить основой для пилотных проектов.

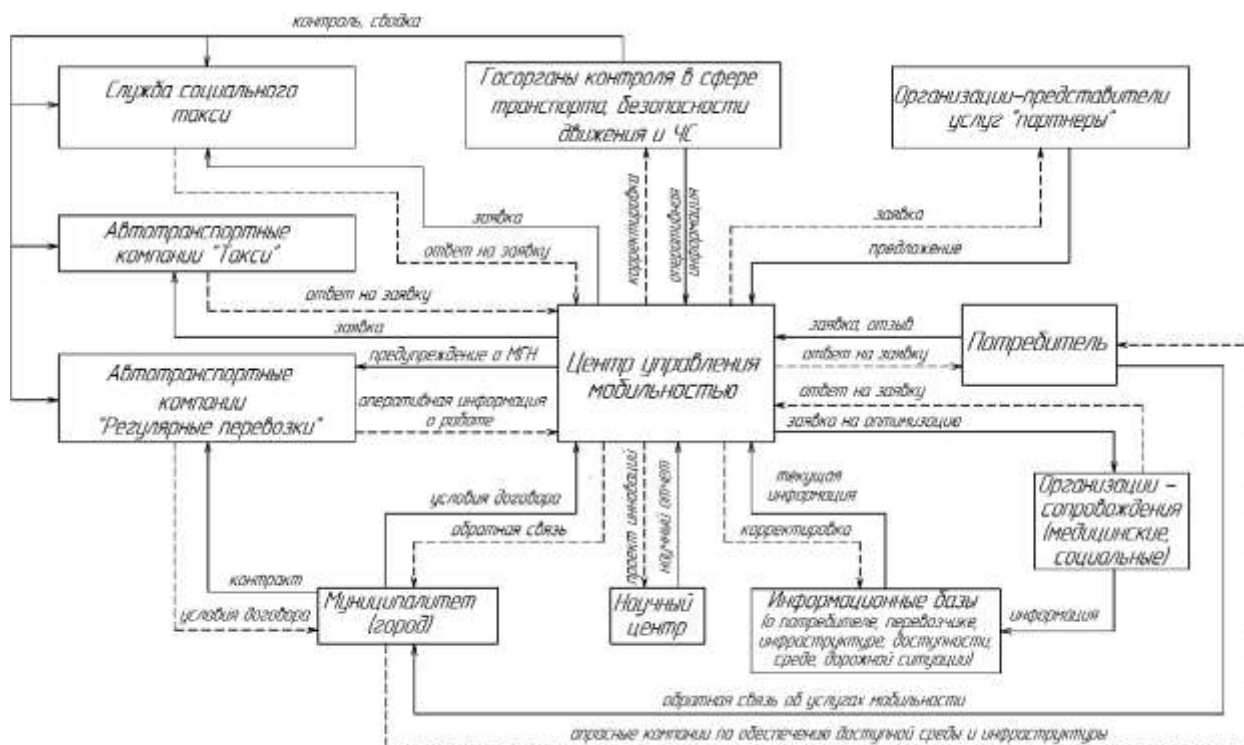


Рисунок 1 – Концептуальная модель системы организации мобильности

В настоящее время централизация управления [11] привлекает большое внимание, как пример инновационных решений. Существующие на рынке решения, такие как цифровая платформа управления пассажирским транспортом бренда «Автолокатор», и программы автоматизации бизнес-процессов (например, «Диспетчерское управление пассажирским транспортом» от фирмы «Универсальная Система Учета»), активно внедряются. Применение централизации и автоматизации перевозок позволяет координировать движение транспорта, заранее агрегировать спрос, синхронизировать поездки с событиями и предлагать пользователям комплексные, персонализированные маршрутные решения [6].

Хотя предлагаемая система, как комплексный маркетинговый инструмент управления, является теоретической разработкой и не проходила апробацию, ее основополагающий маркетинговый подход, фокусирующийся на персонализации и учете потребностей МГН, является универсальным. Гибкость данного подхода позволяет предположить его адаптивность и возможность успешного применения, особенно в условиях малых населенных пунктов, где традиционные административные модели чаще сталкиваются с ограничениями. Таким образом, она может стать эффективным инструментом для повышения мобильности и социальной включенности в любом населенном пункте.

Ядром является «Центр управления мобильностью», отвечающий за централизованное управление, планирование и координацию перевозок. Центр выступает связующим элементом между участниками перевозок, берет на себя инновационную деятельность организатора и перевозчика и трансформирует роль пользователя в активного участника, формирующего запрос на совершенствование транспортной системы.

Система выполняет следующие функции: прием и обработка заявок; генерация комплексных, персонализированных маршрутных предложений, оптимизированных с учетом потребностей МГН, реальной доступности объектов и необходимости сопровождения; контроль исполнения заявок; предоставление аналитической отчетности и инициация научно обоснованных проектов модернизации инфраструктуры; координация взаимодействия всех участников;

Потребитель формирует заявки, получает предложения мобильности, оставляет отзывы и может подавать заявки на оптимизацию, в результате чего система получает обратную связь, тем самым обеспечивая совместное управление.

Организации-представители услуг (партнеры) – это, например, культурные учреждения (театры, концертные залы), спортивные организации, выставочные центры, которые формируя спрос на посещение своих мероприятий, направляя предложения в центр

управления мобильностью, создают спрос на транспортные услуги – повышается их объем.

Организации сопровождения (медицинские, социальные) – эти организации взаимодействуют как с потребителями, так и с центром управления мобильностью, предоставляя информацию о потребностях в специализированном транспорте, в том числе групповые заявки на обслуживание, например, плановый прием, экстренные случаи внезапной потери мобильности.

Служба социального такси – отдельный блок, ориентированный на удовлетворение специфических потребностей МГН в мобильности, которые другим способом удовлетворить невозможно или нецелесообразно, находящийся в непосредственной связи с центром управления мобильностью.

Автотранспортные компании "Такси" осуществляют пассажирские перевозки по индивидуальным заявкам, поступающим через центр управления мобильностью, в том числе, мультимодальные, так как осуществляют поездку «от двери до двери».

Автотранспортные компании "Регулярные перевозки" обеспечивают перевозки по утвержденным маршрутам, которые также могут быть интегрированы в общую систему планирования. Центр управления мобильностью передает предупреждение о пассажире из числа маломобильных для исключения сбоя при обслуживании.

Муниципалитет (город) является регулятором и заказчиком, устанавливает условия договоров с перевозчиками, контролирует выполнение, получает сведения о процессе выполнения договора и обратную связь. Отвечает за доступность и качество услуг.

Государственные органы контроля в сфере транспорта, безопасности движения и чрезвычайных ситуаций осуществляют контроль за деятельностью перевозчика, дорожной обстановкой, координируют действия служб при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера, предоставляют корректирующую и оперативную информацию в центр управления мобильностью, а также получают обратную связь.

Научный центр – институты, центры или отдельные эксперты несут функцию верификатора инновационных предложений центра управления мобильностью, основанных на внутренней аналитике.

Информационные базы представляют собой централизованное хранилище данных о потребителях, перевозчиках, инфраструктуре, доступности и дорожной ситуации (например, реконструкция), а также оперативной информации. Информационные базы формируются посредством предоставления информации, вне

нарушения закона о персональных данных, организациями и лично потребителем, путем регистрации.

Модель наглядно демонстрирует динамичный характер взаимодействия между блоками.

Основные потоки информации включают: заявки и ответы, в том числе отказы, требующие анализа с дальнейшей выработкой решения; предложения, поступающие от организаций - партнеров или сгенерированные с помощью технологий искусственного интеллекта для конкретных пользователей; оперативная информация от служб ГИБДД, МЧС, дорожной службы о ситуации на планируемых маршрутах, с целью их корректировки. Юридически лица взаимодействуют посредством заключенных договоров, в которых помимо обязанностей, прописаны финансовые условия взаимодействия. Взаимодействие муниципалитета и потребителя посредством центра управления мобильностью и напрямую, например, опросные компании, обращения.

Концептуальная модель демонстрирует возможности использования маркетинговых инструментов, позволяющих обеспечить интересы всех участников процесса, а также вовлечь новых участников. Данное утверждение основано на мнении авторов Калиевой О. М., Карелина Н. В., модели маркетинговых инноваций, оказывают положительное влияние на процесс перевозок [4].

Предполагается, что осуществление взаимодействия между элементами в данной модели должно осуществляться с применением информационных и цифровых технологий для эффективной работы.

Это утверждение основано на обобщении научных работ, которые представили авторы: Сиваков В.В., Камынин В.В. и Тихомиров П.В., которые утверждают, что внедрение информационных технологий в процесс организации пассажирских перевозок позволяет достичь значительного сокращения затрат и повышения эффективности. В частности, авторы отмечают, что применение современных IT-решений способствует снижению затрат на топливо до 50%, сокращению общего пробега транспорта до 30%, полному исключению нецелевого использования техники, предотвращению простоев, повышению трудовой дисциплины, улучшению безопасности перевозок и соблюдению графиков движения [10].

Важным аспектом деятельности внедрения цифровых продуктов является получаемый эффект, как утверждают авторы: Иванов М. В., Невзорова А. В., отмечающие рост мобильности населения, уровня надежности пассажироперевозок, повышение качества жизни,

рост доступности транспортных услуг для маломобильных групп населения, экономии времени пассажиров, сокращение выбросов вредных веществ в атмосферу, улучшение эпидемиологической обстановки [3].

Информационные и цифровые технологии являются механизмом координации и нахождения баланса интересов участников транспортного процесса, через совершенствование управления, планирования и организацию перевозок.

Цифровые и информационные технологии и инструменты, возможные для применения в рамках концептуальной модели.

Инструменты, возможные для коммуникации: электронная почта; приложение на смартфон, веб-сайт для управления мобильностью; телефон; личная коммуникация, вкладка на «Госуслуги», чат-бот, документ на бумажном носителе, договор, доступ к единой информационной базе.

Цифровые технологии для функционирования: блокчейн, технологии искусственного интеллекта, большие данные, бесконтактная оплата, электронный документооборот, видеонаблюдение, GPS/ГЛОНАСС навигация, мобильные технологии, компьютерное зрение, билетные сервисы, автоматизированные системы управления АТП, цифровые двойники, интеллектуальные транспортные системы, машинное обучение.

Рассмотрим возможности и преимущества некоторых из них, основываясь на научных разработках.

Оснащение пассажирского транспорта, для мониторинга движения GPS/ГЛОНАСС-приемниками, обеспечивающими контроль местонахождения в режиме реального времени, организует онлайн-доступ населения к информации о передвижении транспорта в режиме реального времени через веб-сайт и мобильное приложение «Умный транспорт», в том числе и о доступности транспортных средств для маломобильных групп граждан.

Технология блокчейн, являющаяся распределенной базой данных, как отмечает Понкратов А.М., может применяться для ведения всей документации в блокчейн-системе. Интеграция GPS-датчиков с этой системой позволит обезопасить поездку, стандартизировать методы оплаты проезда [7].

Технологии больших данных - на основании лишь одного датчика этой системы можно выявлять и анализировать загруженность, типовые траектории объезда пробок в отдельно взятых секторах города, выявление новых аварийных участков, плохо регулируемых перекрестков, выявление на основе типовых траекторий объезда проблемных ситуаций

с самой инфраструктурой города, факторы сезонности, а также управлять дорожным движением в реальном времени.

И, мобильные сервисы - Mobility as a Service (MaaS), [12] являющийся единым цифровым инструментом для построения оптимальных маршрутов поездок и оплаты проезда для различных видов транспорта, с учетом времени и стоимости перевозки. Данная информация очень важна для пользователя, и, особенно непрерывность доступа к ней [15].

Следует учитывать и потенциальные риски, требующие внимания: безопасность персональных данных, необходимость инвестиций в финансирование проекта и привлечение высококвалифицированных специалистов, цифровое неравенство [12], связанное с необходимостью доступа пользователей к соответствующему аппаратному обеспечению, интернету и наличию базовых цифровых навыков, необходимость соблюдения баланса между обеспечением доступности для МГН и реализацией других программ развития транспортной системы, срок актуальности услуги – своевременное предоставление ответа на запрос. Риск возможных технологических сбоев в работе оборудования, нарушение сетей.

Риски являются преодолимыми, и могут быть локализованы, а способы борьбы с ними могут быть определены и путем пилотного тестирования и моделирования [9].

Диверсификация, являясь распространенным инструментом инноваций, в отечественной практике часто применяется как вынужденная мера выхода из кризисных ситуаций [4]. Но, для достижения устойчивого развития и повышения конкурентоспособности на рынке пассажирских перевозок, необходим переход от кризисной диверсификации к маркетинговому, клиентоориентированному подходу. Что предполагает не только расширение перечня услуг, но и изучение потребностей целевой аудитории, стимулирование спроса. Данное исследование демонстрирует аргументированный путь перехода к маркетинговым инструментам, как основу для инновационного развития транспортной системы.

Для реализации концепции важны механизмы вовлечения. Возможными видятся два основных варианта реализации предложенной концепции:

-административный подход - интеграция маркетинговых принципов (ориентация на потребителя, создание ценности, обратная связь) в нормативно-правовую базу, регулирующую транспортную деятельность и дополнения методики расчета показателей реализации государственных программ в части реальной доступности для каждого и удовлетворенности МГН результатами;

-стимулирующий подход – учитывая, что основным препятствием для внедрения инноваций в транспортной отрасли является недостаток финансовых ресурсов, более рациональным представляется прямое государственное финансирование инновационных проектов в рамках реализации целевых государственных программ, направленных на разработку и внедрение прототипов центров управления мобильностью. Данный подход позволит ускорить внедрение новых технологий, решений и сервисов, повысить эффективность, безопасность и доступность транспортных услуг, как для МГН, так и всех пользователей.

Предполагается, что уход от традиционного многоуровневого финансирования, позволит нивелировать территориальное неравенство и обеспечить мультипликативный социальный и экономический эффект.

Заключение

Применение концепции управления мобильностью, преобразует роль пользователей из объектов специальных мер в активных участников, формирующих запросы на совершенствование транспортной системы. Данный подход позволит преодолеть, предотвращая селективную инклюзию и неэффективное распределение финансовых ресурсов. Цифровой ресурс управления мобильностью, предоставляемый центром управления мобильностью, устранил проблему разрозненности цифровых сервисов при планировании поездок.

Центр управления мобильностью трансформируется в связующий, стимулирующий и контролирующий элемент в системе перевозок, обеспечивающий эффективное взаимодействие между перевозчиком, заказчиком и потребителем, способствующий балансу интересов. Дальнейшим развитием концепции является реализация пилотного проекта с расширением охвата пользователей и территории с предварительным тестированием на моделях.

Литература

1. Бодров А. С., Колпакова С. В., Мосин А. В., Батищев И. Н., Киселёв А. Ю. Повышение качества перевозок маломобильных групп населения городским пассажирским транспортом (на примере города Орла) // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование. 2018. С. 79.
2. Есенова М.Т. Проблемы обеспечения системы государственного управления городским транспортным комплексом / М.Т. Есенова, Р.О. Бугубаева, Р.Е. Жапарова // Вестник Казахского университета экономики, финансов и международной торговли. – 2025.
3. Иванов М.В. Анализ влияния процессов цифровизации в транспортном комплексе на социально-экономическое развитие региона / М.В. Иванов, А.В. Невзорова // Бизнес. Образование. Право. – 2021. – № 3 (56).
4. Калиева О. М., Карелин Н. В. Концептуальная модель управления маркетингом инноваций в сфере городских пассажирских перевозок // Экономика и управление народным хозяйством. 2020. С. 63.
5. Ксенофонтова Т. Ю., Фомина К. Р. Особенности применения маркетинговых инструментов на рынке пассажироперевозок // Практический маркетинг. 2023. №12 (318) арков Д.В. Автоматизированная система диспетчерского управления городским пассажирским транспортом [Электронный ресурс] // Сайт Союза транспортников Сибири. — URL: <https://stfnso.ru/upload/iblock/781/qbpvs3lph7764x66f05o4trnbgbn7hvi/DMITRIY-MARKOV.pdf> (дата обращения: 19.03.2026).
6. Понкратов А.М. Цифровая трансформация логистических процессов в области автомобильных пассажирских перевозок: Электронные системы и технологии: сборник материалов конференции – Минск: БГУИР, 2022. – С. 146-148.
7. Придворная, С. М. Сущность, критерии и показатели качества пассажирских перевозок / С. М. Придворная // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. – 2016. – №2 (12). – С. 219.
8. Присяжнюк М.С. Выбор эффективных инструментов организации пассажирских перевозок в Ленинградской области / М.С. Присяжнюк, Н.В. Подпригора, А.В. Терентьев // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 4–1(83). – С. 60-66.
9. Сиваков В.В. Совершенствование городских пассажирских перевозок (на примере г. Брянска) / В.В. Сиваков, В.В. Камынин, П.В. Тихомиров // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2020. – № 4. – С. 61-69.
10. Трегубов В. Н., Кирысов А. С. Концепция информационной поддержки управления в логистических системах на основе «облачных» технологий // Инновационная деятельность. 2013. №1–2 (24). С. 54–58.
11. Dadashzadeh N., Woods, L., Ouelhadj, D., Thomopoulos, N., Kamargianni, M., & Antoniou, C. (2022). Mobility as a Service Inclusion Index (MaaSINI): Evaluation of inclusivity in MaaS systems and policy recommendations. Transport Policy, 127, 191–202.
12. Jaramillo-Álvarez P. Route optimization of urban public transportation / P. Jaramillo-Álvarez, C.A. González-Calderón, G. González-Calderón // Dyna (Medellin, Colombia). – 2013. – August.
13. Parasuraman A. A conceptual model of service quality and its implications for future research / A. Parasuraman, V. A. Zeithaml, L. L. Berry // Journal of Marketing. – 1985. – Vol. 49, No. 4. – P. 41-50.
14. Zimmerman S. Public Transport Service Optimization and System Integration / S. Zimmerman, K. Fang // China Transport Topics. – 2015. – № 14 (March). – The World Bank, Washington, D.C., USA.
15. Население России [Электронный ресурс] // BDEX. — URL: https://bdex.ru/naselenie/russia/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (дата обращения: 31.03.2026).

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТОВ ОТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО СИМБИОЗА: ИННОВАЦИОННЫЙ КОНТЕКСТ

Л.В. Хорева¹, А.Л. Белых²

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет»,
Россия, г. Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, д. 30-32, литер А

² ООО «АГР Софтвр», Россия, г. Санкт-Петербург.

В статье проведён систематический обзор существующих методов оценки эффектов от деятельности промышленного симбиоза. Показано, что большинство современных подходов акцентирует внимание на экономических и экологических аспектах, тогда как социальное и инновационное изменения остаются в тени исследовательского интереса. На основе анализа теоретических и прикладных исследований авторами предложена новая обобщённая система показателей, включающая четыре группы эффектов: экономический, экологический, социальный и инновационный. Предложенный интегративный подход позволяет комплексно оценивать потенциал формирования промышленных симбиозов и учитывать долгосрочные системные эффекты их реализации.

Ключевые слова: промышленный симбиоз, оценка эффектов, социальные эффекты, инновационные эффекты, устойчивое развитие.

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE EFFECTS OF INDUSTRIAL SYMBIOSIS IMPLEMENTATION: AN INNOVATION CONTEXT

L. V. Khoreva, A. L. Belykh

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «St. Petersburg State Economic University», Russia, St. Petersburg, Canal Griboyedov, 30-32, letter A
AGR Software LLC, St. Petersburg, Russia.*

The article presents a systematic review of existing methods for assessing the effects of industrial symbiosis activities. It is shown that most modern approaches focus on economic and environmental aspects, while social and innovation changes remain underexplored. Based on the analysis of theoretical and applied research, the authors propose a new generalized system of indicators that includes four groups of effects: economic, environmental, social, and innovation. The proposed integrative approach contributes to comprehensive assessment of the potential for forming industrial symbioses and taking into account the long-term systemic effects of their implementation.

Keywords: industrial symbiosis, assessment of effects, social effects, innovation effects, sustainable development.

Введение

На сегодняшний день концепция промышленный симбиоз активно реализуется на практике в различных странах мира. В основе промышленного симбиоза (ПС) заложен принцип: отходы одного предприятия – ресурсы для другого [1]. В рамках ПС организации (как правило, независимых отраслей), находящиеся на определенной ограниченной территории, целенаправленно сотрудничают друг с другом с целью оптимизации издержек путем исполь-

зования побочных продуктов и производственных отходов одних предприятий другими компаниями в качестве сырья для собственного производства, а также совместного потребления информационных, энергетических и прочих ресурсов [5].

В открытых источниках можно найти информацию о более чем 30 примерах промышленных симбиозов, функционирующих в различных странах. В табл. 1 представлены примеры некоторых ПС, которые развиваются сегодня в Европе, Америке и Азии.

EDN PYNUGG

¹Хорева Любовь Викторовна – доктор экономических наук, профессор кафедры экономики и управления в сфере услуг, профессор; +7 (921) 630-05-32, e-mail: luhor@inbox.ru, ORCID 0000-0003-0060-1896;

²Белых Александр Леонидович – магистр экономики, стажер кафедры экономики и управления в сфере услуг, руководитель проектов; +7 (911) 812-83-28), e-mail: alexbelikh@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8016-8476>.

Таблица 1 – Практические примеры реализации промышленного симбиоза в мире [2]

Европа	Америка	Азия
- Великобритания: ПС в регионе Хамбер; - Швеция: Эко-промышленный парк Händelö; - Финляндия: Промышленный эко-центр Harjavalta; - Дания: Kalundborg Symbiosis - Бельгия: Промышленный парк Kaiserbaracke - Нидерланды: Rotterdam Harbor INES - Германия: Промышленный парк Knapsack - Франция: Промышленный парк Deux Synthe	- США: Продовольственный центр Intervale; - Пуэрто-Рико: Guayama Industrial; - Бразилия: Norte Fluminense; - Мексика: Альта-мира-Тампико	- Южная Корея: Эко-промышленный парк Ulsan; - Китай: Национальный эко-промышленный демонстрационный парк Lubei; - Индия: Промышленная зона Nanjangud; - Япония: Эко-город Kawasaki; - Австралия: Промышленная зона Kwinana

Приведённые в таблице примеры показывают широкую практическую применимость и высокую востребованность концепции промышленного симбиоза в системе экономических отношений. Однако единого и признанного как теоретиками, так и практиками подхода к оценке эффектов от функционирования промышленных симбиозов пока не выработано. В статье мы хотим остановиться на анализе существующих подходов и предложить собственный взгляд на решение задачи комплексной оценки эффектов, возникающих в результате функционирования промышленных симбиозов.

Материалы и методы исследования

При проведении исследования авторами произведен поиск и анализ наиболее цитируемых статей (более 20 цитирований) по теме оценки эффективности реализации промышленного симбиоза. Существующие методики оценивания эффектов были структурированы, что позволило провести сравнительный анализ и выявить возможности для нивелирования их ограничений.

Дополнительно при формировании нового метода оценки промышленных симбиозов был исследован практический опыт формирования промышленно-симбиотических цепочек [3].

Результаты и обсуждения

В исследовательских работах, посвященных оценке эффектов от реализации промышленного симбиоза, в основном делается акцент на расчете экономических и экологических выгод от развития промышленных симбиотических цепочек. В своей работе Т. Маттила с соавторами предлагают использовать оценку жизненного цикла (LCA) в качестве универсальной и комплексной базы для количественной оценки экологической выгоды от обмена побочными продуктами и отходами

между предприятиями [15]. Одна из идей – переход от локальной оценки по определенному предприятию к системному анализу, чтобы избежать скрытого переноса экологической нагрузки на другие производственные этапы. В другой своей работе Т. Маттила с соавторами развивают идею оценки жизненного цикла продукции при расчете экологических эффектов [14]. Помимо классической по процессной модели (Process-LCA), в рамках которой анализируются технологические стадии внутри симбиоза, авторы предлагают метод «затраты - выпуск» (Input-Output LCA, IO-LCA) – макроэкономическая модель на основе национальных таблиц межотраслевого баланса, и гибридный метод (Hybrid LCA) – комбинация двух подходов, в рамках чего локальные процессы оцениваются с учетом глобальных межотраслевых показателей. В работе Е.Э. Уткиной [7] исследуются методы IO-LCA, Process-LCA, а также термодинамические и эксергетические методы (для оценки физической эффективности обмена энергией и теплом), и методы на основе индикаторов (системы экспресс-метрик). В своей работе М. Мартин с коллегами исследуют вопрос распределения экологических выгод между участниками промышленного симбиоза [13]. На примере эко-индустриального парка Händelö (Швеция), где действуют биоэтаноловый завод, ТЭЦ (вырабатывающая энергию из биомассы), биогазовая установка, сельскохозяйственные предприятия, авторы демонстрируют, как выбор метода оценки меняет экологический профиль конкретного предприятия. Например, при использовании одного метода биоэтанол кажется «экологически чистым» продуктом, а при использовании другого - его углеродный след возрастает, так как часть нагрузки ТЭЦ перекладывается на данное предприятие. Тем самым следует подчеркнуть важность адекватного выбора методов оценки для комплексного определения эффектов деятельности конкретного промышленного симбиоза.

Ряд авторов предпринимает попытку систематизации существующих подходов, методов и конкретных индикаторов, которые используются для оценки эффективности промышленного симбиоза в трех ключевых измерениях устойчивого развития: экологическом, экономическом и социальном [16]. Для первого аспекта, который считается сегодня наиболее изученным, используются такие методы как оценка жизненного цикла (LCA), анализ материальных потоков (MFA) и термодинамический анализ (exergy analysis). Ключевые индикаторами являются объем сокращения выбросов парниковых газов (CO_2 -экв.), количество сэкономленной первичной энергии, снижение объема отходов, отправляемых на полигоны для захоронения, и объемы сохраненной свежей воды. Экономические факторы считаются главными драйверами для бизнеса участия в промышленном симбиозе, однако их оценка часто ограничивается внутренними отчетами компаний. Среди методов оценки экономических эффектов используются такие как расчет затрат по стадиям жизненного цикла (LCC), традиционный анализ «затраты-выгоды» (CBA) и расчет периода окупаемости инвестиций (Payback Period). Индикаторами являются прямое снижение затрат на сырье, сокращение расходов на утилизацию отходов, чистая приведенная стоимость (NPV) проекта в ПС и общая прибыль от продажи побочных продуктов и отходов. Социальный аспект промышленного симбиоза - самый слабоизученный и наименее разработанный в методологическом плане. В качестве методов оценки влияния на социальную систему используются сегодня такие методы как социальная оценка жизненного цикла (S-LCA), анкетирование и углублённые интервью с представителями локальных сообществ, на территории которых развивается промышленный симбиоз. Индикаторами «социальной оценки» являются: количество созданных рабочих мест в регионе, уровень удовлетворенности и вовлеченности сотрудников и уровень кооперации/доверия между локальными предприятиями, взводящими в ПС.

Авторы работы [12] сосредоточили внимание на определении интуитивно понятного метода оценки целесообразности обмена побочными продуктами на ранних этапах производства на основе системы индикаторов. Методика авторов включает оценку технической реализуемости, экономической жизнеспособности, экологической выгоды, но не затрагивает социальные условия организации ПС. Особенность методики заключается сопоставлении качественных и количественных характеристик (например, физико-химические

свойства отхода и потребности производства в подобных ресурсах для дальнейшей переработки).

В статье [10] авторы описывают собственную модель комплексной оценки промышленного симбиоза, которая позволяет одновременно измерять и сопоставлять экологические выгоды и экономическую эффективность от реализации промышленных симбиотических обменов. Развивается интегрированный методологический подход, сочетающий несколько аналитических инструментов: анализ материальных потоков (MFA), оценка жизненного цикла (LCA), экономический анализ (Economic Benefit Evaluation) и методы многокритериального анализа для объединения разнородных экологических и экономических индикаторов в единую систему. Укажем, однако, что в этой методике тоже «выпадают» из рассмотрения социальные аспекты функционирования ПС.

В исследовании Т.О. Толстых с соавторами [6] помимо экологических и экономических аспектов исследуются уже и социальный контур, и сетевое доверие - факторы, без которых устойчивое долгосрочное взаимодействие между независимыми компаниями невозможно. Для оценки качества взаимодействия между участниками симбиоза авторы работы [5] предлагают использовать критерии, основанные на теории встроенных сетей: «Доверие» измеряется через размер сети, историю совместного опыта, регулярность контактов и наличие общих долгосрочных целей (высокий уровень доверия снижает транзакционные издержки, тем самым снижает потребность в жестком юридическом контроле); «Влияние на местное сообщество» (социально-экономический вклад) оценивается количеством созданных или сохраненных рабочих мест в регионе, поддержкой местных предпринимателей и вкладом симбиоза в экономическую стабильность территории.

Комплексный подход к рассмотрению функционирования ПС встречаем в работе Е.В. Шкарупеты [9], в которой предлагается при оценке эффективности промышленного симбиоза не только рассматривать экологические и экономические эффекты как отдельные виды эффектов, но использовать экосистемный подход и сформировать обобщенную группу индикаторов по нескольким ключевым измерениям (зрелости) ПС. Предлагается выделить такие группы индикаторов: (1) индикаторы сетевой связанности и масштаба, (2) цифровые и интеллектуальные индикаторы, (3) эколого-экономические (циркулярные) индикаторы, (4) экосистемная синергия. Методика

предлагает не просто измерять текущие результаты, а оценивать динамический потенциал самовосстановления и саморазвития промышленной экосистемы за счет цифровых обратных связей. На базе предложенной системы индикаторов может быть рассмотрена возможность построения обобщенного индекса зрелости конкретного ПС с учетом возможности обмена ресурсами к взаимной выгоде всех участников экосистемы промышленного симбиоза [8].

Важным направлением современных исследований промышленных симбиозов является систематизация и оценка результатов развития концепции ПС [17]. Несмотря на более чем тридцатилетние исследования ПС, они носят все еще фрагментированный характер, особенно в контексте оценки эффективности функционирования ПС. Большинство работ фокусируется на чем-то одном: либо только на экологических выгодах (сокращение CO₂), либо только на экономике (прибыль предприятий), либо на социальных аспектах (рабочие места). Укажем, что современные исследователи затрагивают широкий спектр проблем, связанных с ПС и предлагают оценивать не только общепризнанные эффекты от функционирования ПС (экологические: снижение потребления первичных ресурсов, сокращение выбросов парниковых газов, эффективное использование энергии, например, через утилизацию избыточного тепла; экономические: прямое снижение затрат на сырье и утилизацию отходов, появление новых источников дохода от продажи побочных продуктов, повышение конкурентоспособности и снижение бизнес-рисков; социальные: создание рабочих мест, развитие локальных сообществ и укрепление связей между бизнесом и властью), но также как технические и организационные, в частности, развитие новых технологий, инноваций, а также рост доверия и долгосрочного сотрудничества между предприятиями (социальный капитал). При этом эффекты рассматриваются в контексте масштаба (уровень предприятия; уровень промышленного симбиоза / эко-индустриального парка / кластера; уровень региона) и с точки зрения времени (краткосрочные: физический обмен ресурсами (тонны пара, кубометры отходов); среднесрочные изменения: изменение структуры затрат, снижение общего углеродного следа региона; долгосрочные системные эффекты: внедрение в регионе практик циркулярной экономики, изменение законодательства, устойчивое развитие территории).

В исследовании Е.Э. Уткиной [7] проводится систематизация и критический анализ существующих в мировой и отечественной практике методов оценки эффективности промышленных симбиотических цепочек для выявления их сильных сторон и ограничений. Автором классифицируются инструменты анализа на несколько основных групп в зависимости от их фокуса: экологические (оценка сокращения выбросов или экономия ресурсов), экономические (оценка прямой финансовой выгоды для участников, снижения издержек на утилизацию), социальные (создание рабочих мест, улучшение экологической обстановки для населения), институциональные (оценка устойчивости самих симбиотических сетей). Такой подход нам представляется достаточно перспективным поскольку он впитывается в современную ESG-концепцию, добавляя в анализ институциональные характеристики ПС. Приведенный нами анализ демонстрирует, что именно технические и инновационные аспекты эффективности реализации промышленного симбиоза до сих пор изучены слабее всего.

Согласно накопленному опыту формирования промышленного симбиоза, любой ПС можно описать через такие количественные показатели как число участников симбиоза, количество сфер деятельности компаний-участников, разнообразие продуктов, участвующих в обменах в рамках симбиотических цепочек, а также количество лидеров развития ПС. Данные показатели оказывают влияние на итоговые достигаемые экономические, социальные, экологические и инновационные эффекты. На рис. 1 приведена предлагаемая авторами система показателей для оценки развития ПС, включающая все четыре вида эффектов.

Приведем уточнения к выбранным показателям для каждого эффекта:

1. Экономический эффект предполагается оценивать с помощью такого показателя, как «Совокупный экономический эффект» (СЭконЭф) в млн руб. согласно формуле 1:

$$\text{СЭконЭф} = V_{\text{прямая}} + V_{\text{косвенная}} + Z_{\text{экон}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{прямая}}$ — дополнительная выручка компаний-участников ПС от разработки и вывода на рынок новых продуктов, млн руб.

$V_{\text{косвенная}}$ — дополнительная выручка компаний-участников ПС от повышения узнаваемости бренда, млн руб.

$Z_{\text{экон}}$ — размер сниженных затрат компаний-участников ПС, млн руб.

Экономический эффект Совокупный экономический эффект (млн руб.)	Экологический эффект Совокупный экологический эффект (тыс. т)	
	Промышленный симбиоз Количество участников (шт.) Количество сфер деятельности участников (шт.) Количество продуктов (цепочек) в промышленном симбиозе (шт.) Количество лидеров развития симбиоза (шт.)	Инновационный эффект Доля инновационно активных компаний-участников ПС (%)
Социальный эффект Количество новых компаний/ бизнесов в регионе (шт.) от действия ПС		

Рисунок 1 – Новая обобщённая система показателей для оценки потенциала формирования промышленного симбиоза

Важно отметить, что не во всех примерах ПС [3] все составные части СЭконЭф были зафиксированы (например, дополнительная выручка компаний-участников ПС от повышения узнаваемости бренда является скорее косвенным эффектом с точки зрения симбиозов, однако пренебрегать данным фактором и исключать его из методики, как представляется авторам, нельзя).

2. Экологический эффект предполагается оценивать с помощью такого показателя, как «Совокупный экологический эффект» (СЭколЭф) в тоннах согласно формуле 2:

$$\text{СЭколЭф} = \text{РесЭкон} + \text{ОтхЭкон}, \quad (2)$$

где РесЭкон – объем сэкономленных ресурсов компаний-участников ПС в тыс. т.

ОтхЭкон – объем предотвращенных отходов от компаний-участников ПС в тыс. т.

При этом факторы РесЭкон и ОтхЭкон в некоторых цепочках могут быть созависимыми (например, когда определенное предприятие начинает использовать отработанные шины в качестве сырья для генерации энергии вместо природного топлива, тем самым уменьшая площадь хранения твердых бытовых отходов, парниковый эффект, объем использования газа/угля и так далее), однако данная зависимость зачастую является косвенной и подтверждается расчетным способом. Тем не менее, несмотря на указанную особенность, расчет показателя СЭколЭф корректно (по возможности) производить с учетом данных двух факторов.

3. Социальный эффект предлагается оценивать с помощью такого показателя, как «Количество новых компаний/бизнесов в регионе от действия промышленного симбиоза» в штуках. Анализ практических примеров реализации ПС показывает [3], что в случае успешного теста по использованию одного продукта вторичной переработки в качестве ресурса на другом производстве для масштабирования успешно достигнутого процесса используются такие инструменты как открытие новой компании или диверсификация бизнеса действующими

организаций. Так или иначе, оба этих инструмента ведут к созданию новых рабочих мест, что является положительным социальным эффектом для региона. В связи с чем для оценки социального эффекта от ПС достаточно, по мнению авторов, не разделять данные инструменты и считать их тождественными.

4. Инновационный эффект предлагается оценивать с помощью такого показателя, как «Доля инновационно активных компаний-участников ПС», измеряемый в процентах. Анализ практических примеров промышленного симбиоза возможен с использованием таких факторов, как «Количество новых решений/технологий за счет совместных НИОКР по теме ПС» и «Количество новых продуктов». В то же время оба фактора являются в определенном смысле производными от предлагаемого показателя: чем больше доля предприятий, которые целенаправленно исследуют варианты повторного использования продуктов вторичной переработки в других производствах, тем больше решений/технологий/конечных товаров будет сгенерировано [5]. Также показатель «Доля инновационно активных предприятий» широко используется при анализе инновационной деятельности в разных странах [4]. Считаем, что предлагаемая нами методика оценки деятельности ПС позволяет дополнительно оценить влияние ПС на инновационную активность компаний путем сопоставления с аналогичными показателями других исследований.

Заключение

Завершая краткое рассмотрение подходов к методам оценки эффектов от реализации промышленного симбиоза и на этой основе предлагая собственный подход укажем, что проведенный анализ научной литературы показывает, что оценка эффективности ПС в настоящее время представляет собой активно развивающуюся, но всё ещё фрагментированную область научных исследований. Большин-

ство авторов сосредотачиваются на экономических и экологических аспектах, при этом социальное влияние промышленного симбиоза остаётся наименее разработанным как в теоретическом, так и в методическом аспектах. Кроме того, существующие методики часто ограничиваются уровнем предприятия или отдельной симбиотической цепочки, не учитывая долгосрочные институциональные изменения.

Особого внимания заслуживают подходы, предлагающие оценивать не только текущие результаты, но и динамический потенциал саморазвития промышленных экосистем (например, через индексы зрелости и сетевой связанности), а также методы, учитывающие институциональные аспекты устойчивости симбиотических цепочек. Именно интегративный подход предложен нами в данной статье, который базируется на новой обобщённой системе показателей оценки потенциала формирования и развития промышленных симбиозов, учитывающей экономические, социальные, экологические и инновационные эффекты функционирования ПС. Перспективным направлением будущих исследований считаем дальнейшую разработку комплексных, многоуровневых моделей оценки, которые объединяли бы экологические, экономические, социальные и институциональные индикаторы в единую систему, согласованную с современной ESG-концепцией.

Литература

- Белова, Е.Г., Хорева, Л.В. Циркулярная экономика и промышленный симбиоз улучшает благосостояние и сохраняют планету // Петербург предлагает. 2019. № 3. С. 25-27.
- Белых, А. Л. Модели формирования промышленного симбиоза // Управление. 2023. Т. 11, № 1. С. 51-63. DOI 10.26425/2309-3633-2023-11-1-51-63.
- Белых, А.Л. Промышленный симбиоз в системе межфирменной кооперации: лучшие практики // Инновации. 2020. №5. С. 60–67.
- Индикаторы инновационной деятельности: 2026: статистический сборник / В.В. Власова, Л. М. Гоцберг, Г.А. Грачева и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М.: НИУ ВШЭ, 2026. – 216 с.
- Кузнецов, С.В. и др. Эмпирическое исследование влияния мер по развитию инноваций на формирование «экономики предложения» в РФ // Инновации. 2024. № 4. С. 23–28.
- Толстых, Т.О. Гераськина, А. А., Щелчков, К.А. Подходы к формированию критериев оценки эффективности промышленных симбиозов // Регион: системы, экономика, управление. 2024. № 2 (65). С. 113–125.
- Уткина, Е.Э. Анализ и классификация способов оценки промышленно-симбиотических взаимодействий // Вестник Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. 2020. Т. 17, № 5 (113). С. 26–41.
- Хорева, Л.В. Белых, А.Л., Шраер, А.В. Экосистема как инновационная форма сетевой межфирменной кооперации // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2019. № 6(52). С. 48-53.
- Шкарупета, Е.В. Методический подход к оценке промышленного симбиоза на основе экосистемных индикаторов // Цифровые интеллектуальные экосистемы в экономике и промышленности. СПб.: Политех-Пресс, 2023. С. 271–289.
- Chen, X., Dong, M., Zhang, L. Comprehensive evaluation of environmental and economic benefits of industrial symbiosis in industrial parks // Journal of Cleaner Production. 2022. Vol. 354. P. 131635.
- Chertow, M., Park, J. Scholarship and practice in industrial symbiosis: 1989-2014 // Taking stock of industrial ecology. Springer, Cham, 2016. P. 87-116.
- Kosmol, L., Leyh, L.L., Herrmann, S. An indicator-based method supporting assessment and decision-making of potential by-product exchanges in industrial symbiosis // Journal of Cleaner Production. 2021. Vol. 289. P. 125593.
- Martin, M. Svensson, N., Eklund, M. Who gets the benefits? An approach for assessing the environmental performance of industrial symbiosis // Journal of Cleaner Production. 2015. Vol. 98. P. 263–271.
- Mattila, T.J., Pakarinen, S., Sokka, L. Quantifying the total environmental impacts of an industrial symbiosis-a comparison of process-, hybrid and input-output life cycle assessment // Environmental Science & Technology. 2010. Vol. 44, № 11. P. 4309–4314.
- Mattila, T., Lehtoranta, S., Sokka, S. Methodological aspects of applying life cycle assessment to industrial symbioses // Journal of Industrial Ecology. 2012. Vol. 16, № 1. P. 51–60.
- Neves, A., Godina, R., Azevedo, S.G. Environmental, economic, and social impact of industrial symbiosis: Methods and indicators review // International Joint Conference on Industrial Engineering and Operations Management. Cham: Springer International Publishing, 2018. P. 157-165.
- Wadström, C., Johansson, M., Wallén M. A framework for studying outcomes in industrial symbiosis // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021. Vol. 151. P. 111526.

СТРУКТУРНЫЕ ДИСБАЛАНСЫ КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ КОРПОРАТИВНОЙ ИННОВАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

З.А. Пичугин¹, И.Г. Салимьянова²

*Санкт-Петербургский государственный экономический университет,
Россия, 191023, Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, 30-32, литер А.*

В статье исследуется проблема оценки состояния корпоративной инновационной системы (КИС) с учетом внутренней согласованности ее элементов. Проанализированы существующие подходы к оценке инновационного развития организаций и выявлены их ограничения, связанные с ориентацией на интегральные показатели. Обоснована необходимость рассмотрения структурных дисбалансов как самостоятельного объекта управления. Предложено авторское определение структурного дисбаланса и разработан индекс структурного дисбаланса (ISD), позволяющий количественно оценивать неравномерность развития элементов КИС. Показано, что учет дисбалансов позволяет выявлять «узкие места» инновационной системы и формировать адресные управленческие решения, направленные на повышение воспроизводимости инновационного цикла.

Ключевые слова: корпоративная инновационная система, структурный дисбаланс, инновационная зрелость, индекс ISD, инновационный менеджмент, оценка инновационного развития.

STRUCTURAL IMBALANCES AS AN OBJECT OF MANAGEMENT OF THE DEVELOPMENT OF A CORPORATE INNOVATION SYSTEM

Z.A. Pichugin, I.G. Salimyanova

Saint Petersburg State University of Economics,

St. Petersburg, nab., 191023, Russia. Griboyedov Canal, 30-32, letter A.

The article explores the problem of assessing the state of a corporate innovation system (CIS) taking into account the internal consistency of its elements. The existing approaches to assessing the innovative development of organizations are analyzed, and their limitations related to the focus on integral indicators are identified. The necessity of considering structural imbalances as an independent object of management is substantiated. The author's definition of structural imbalance is proposed, and the Structural Imbalance Index (ISD) is developed to quantify the uneven development of CIS elements. It is shown that the account of imbalances allows to identify the “bottlenecks” of the innovation system and to form targeted management decisions aimed at increasing the reproducibility of the innovation cycle.

Keywords: corporate innovation system, structural imbalance, innovation maturity, ISD index, innovation management, assessment of innovation development.

В условиях ускоряющейся технологической динамики и роста неопределенности внешней среды инновационная деятельность становится одним из ключевых факторов обеспечения устойчивости и конкурентоспособности организаций. В то же время наблюдается постепенное смещение приоритетов организаций от точечного внедрения отдельных инновационных решений к формированию и развитию корпоративных инновационных систем (КИС), обеспечивающих воспроизводимый инновационный цикл [4].

Развитие корпоративных инновационных систем определяется не только наличием инвестиционных ресурсов и научно-технических компетенций, но и степенью согласованности управленческих, организационных, технологических и кад-

ровых элементов, участвующих в создании, апробации и внедрении инноваций. В связи с этим возникает необходимость разработки методов, позволяющих оценивать состояние инновационной системы и определять приоритетные направления управленческих воздействий.

Целью настоящего исследования является обоснование подхода к оценке состояния корпоративной инновационной системы, основанного на выявлении структурных дисбалансов между уровнями развития ее элементов.

Задачами исследования являются: анализ существующих отечественных и зарубежных подходов к оценке зрелости КИС; обоснование необ-

EDN HDQGLL

¹Пичугин Захар Алексеевич – аспирант, тел.: +7 (911) 701-12-08, e-mail: 7011708@mail.ru;

²Салимьянова Индира Гаязовна – доктор экономических наук, профессор кафедры менеджмента и инноваций, тел.: +7 (921) 305 8387, e-mail: saliindira@yandex.ru.

ходимости рассмотрения структурных дисбалансов как самостоятельного объекта управления развитием КИС.

Существующие подходы к оценке зрелости КИС

Измерение инновационной активности и инновационной зрелости организаций является распространенной международной практикой. Активно развиваются модели инновационной зрелости и инновационных способностей, позволяющие оценивать готовность организаций к разработке и внедрению инноваций. В большинстве случаев подобные подходы ориентированы на оценку уровня развития инновационной системы либо на отнесение организации к определенному стадийному уровню. Подобные подходы получили широкое распространение как в зарубежных исследованиях [8], так и в отечественной литературе [1, 2].

Существующие в современной литературе подходы к оценке инновационного развития организаций можно условно разделить на три группы: статистико-измерительные, нормативно-управленческие и зрелостные модели.

Статистико-измерительные подходы

Суть данной группы подходов заключается в измерении инновационной активности организаций через фиксируемые результаты и виды инноваций, а также через набор смежных показателей (инвестиции в НИОКР, количество патентов и т.п.). Наиболее ярким представителем данных подходов является Руководство Осло [13], используемое для фиксирования и сопоставления данных на уровне отраслей и стран.

К достоинствам данной группы подходов относится формирование стандартизированной системы показателей, позволяющей проводить сравнительный анализ инновационной активности, а также высокая воспроизводимость результатов измерений. Помимо этого, подходы задают единый понятийный аппарат и обеспечивают сопоставимость данных, что особенно важно для макро- и мезоуровневых исследований.

Ограничения подходов связаны с тем, что объектом анализа зачастую выступает факт осуществления инновационной деятельности или ее результаты, а не внутренняя структура системы, обеспечивающей эту деятельность. Показатели агрегируют различные аспекты инновационного процесса, не фиксируя степень их согласованности.

В условиях неравномерного развития корпоративной инновационной системы это может приводить к искажению интерпретации результа-

тов. Например, организация, осуществившая закупку и внедрение единичных, но эффективных, инноваций, может формально демонстрировать высокий уровень инновационной активности, несмотря на отсутствие воспроизводимых процессов генерации и масштабирования решений. В данном случае расчетные показатели не отражают устойчивость инновационного процесса, так как слабость отдельных элементов системы компенсируется результатами других.

Таким образом, при наличии структурной несогласованности статистико-измерительный подход может давать некорректные представления о состоянии корпоративной инновационной системы организации.

Нормативно-управленческие подходы

Нормативно-управленческие подходы представляют собой крупную и активно развивающуюся группу методов [10], ориентированную на формирование целостной системы управления инновациями. Важность рассмотрения инноваций как системы управления подчеркивалась в работах Кихландера И. [11], Арслана М. [7], Озкана О. [14] и ряде других. Рассмотрим подробнее группу методов на примере стандарта ISO 56002 [3]. В данном стандарте инновационная деятельность рассматривается как управляемый процесс, включающий стратегию, лидерство, поддержку, операционную деятельность, оценку результативности и улучшение.

Достоинством данного подхода является его системный характер: инновационная деятельность интегрируется в общую систему управления организацией, что позволяет рассматривать инновации как регулярный воспроизводимый процесс. Стандарт задает архитектуру инновационного менеджмента и фиксирует необходимость наличия всех ключевых элементов.

В то же время ограничением данного и схожих подходов является их нормативная природа: несмотря на то, что в них описываются необходимые элементы КИС, данные стандарты, как правило, лишены инструментов для оценки степени развития как системы в целом, так и отдельных ее элементов. Наличие вышеупомянутых контуров не означает их согласованного и сбалансированного развития, что может приводить к сложностям при практической реализации инноваций. Так, организация может иметь формализованную стратегию и регламентированные процессы, но при этом сталкиваться с отсутствием реальных механизмов внедрения решений или ограничениями со стороны ресурсов или компетенций. В таких случаях система формально соответствует архитектуре инновационного менеджмента, однако

фактически инновационный цикл является точечным и невоспроизводимым.

Таким образом, нормативно-управленческий подход позволяет оценить полноту структуры системы, но не способен выявлять элементы, ограничивающие ее фактическое функционирование.

Модели инновационной зрелости и инновационных способностей

Модели инновационной зрелости и инновационных способностей ориентированы на оценку уровня развития инновационной системы организаций через совокупность измерений (стратегия, процессы, культура, ресурсы и др.) и их стадийное развитие. Классические и современные исследования Эссмана Х. и Прееза Н. [8], Мюллера-Портмана Т. [12] и др. рассматривают инновационную способность как комплексную характеристику, формируемую набором взаимосвязанных факторов. Согласно работе Гименеза-Медины М. и др. [9], за последние 20 лет было выполнено более 78 исследований, посвященных данному виду моделей.

К достоинствам данных моделей относится их ориентация на корпоративный уровень анализа и попытка учесть многомерность инновационного развития. В отличие от статистических подходов, они позволяют анализировать внутренние контуры инновационной системы и формировать представление о ее зрелости.

Ограничение большинства данных моделей связано с логикой агрегирования результатов. Как правило, итоговая оценка формируется либо через усреднение показателей по различным измерениям, либо через субъективное отнесение организации к определенному уровню зрелости на основе совокупности критериев, в результате чего формируемая характеристика отражает «среднее состояние» системы. При неравномерном развитии элементов КИС такая логика приводит к потенциальному искажению результатов. Приведенные подходы обеспечивают удобный инструмент позиционирования организации по общему уровню развития инновационной системы, однако остаются недостаточно чувствительными к неравномерности развития ее отдельных компонентов. В условиях, когда высокие значения по одним измерениям компенсируют слабость других, итоговая оценка может создавать более благоприятное представление о состоянии КИС, чем это оправдано с точки зрения воспроизводимости инновационного цикла.

Рассмотренные группы подходов демонстрируют различную глубину анализа инновационной деятельности: от фиксации результатов и

активности – до оценки архитектуры и зрелости инновационной системы. Вместе с тем их объединяет общий методический недостаток – ориентация на интегральные или структурно-формальные характеристики без явного учета внутренней согласованности элементов системы.

Дисбалансы как управленческий объект КИС

Корпоративная инновационная система представляет собой совокупность элементов внутренней среды организации, задействованных на всех этапах жизненного цикла продуктовых и процессных инноваций, а также связей и отношений, возникающих при взаимодействии элементов как внутри организации, так и с внешним окружением [5]. На ее функционирование влияют как внешние по отношению к организации факторы (законодательство, макроэкономическая среда, уровень развития технологий, состояние рынка труда и т.п.), так и внутренние (наличие инновационной стратегии, организационная структура организации, инновационная культура, финансирование инноваций и т.п.). Системная природа КИС проявляется в том, что ее фактическая способность обеспечивать воспроизводимый инновационный цикл зависит не только от уровня развития отдельных элементов, но и от степени их согласованности между собой [6]. Иными словами, для оценки состояния КИС недостаточно фиксировать зрелость ее компонентов по отдельности; необходимо учитывать, насколько их развитие сбалансировано. Необходимость согласованности элементов КИС проявляется в том, что наличие даже одного «выпадающего» элемента КИС формирует эффект «бутылочного горлышка», приводящего к снижению воспроизводимости инновационного цикла. В качестве примера можно рассмотреть организацию А, осуществляющую инновационную деятельность. Для обеспечения воспроизводимости инновационного цикла организация должна обладать не только стратегическими и управленческими механизмами, но и процессами отбора и внедрения инициатив, инфраструктурой разработки и тестирования решений, кадровыми компетенциями, а также устойчивыми внутренними и внешними взаимодействиями. Отставание любого из указанных контуров ограничивает результативность всей системы. Так, отсутствие инфраструктуры для разработки и тестирования решения не может быть компенсировано наличием стратегии инновационного развития, отлаженными процессами внедрения инноваций или прочими компонентами. В связи с этим возникает необходимость ввода понятия «структурный дисбаланс». Под

структурным дисбалансом корпоративной инновационной системы в настоящем исследовании понимается существенное отклонение уровня развития отдельного элемента КИС от уровня развития других элементов, приводящее к снижению согласованности инновационного цикла и ограничению воспроизводимости инновационной деятельности.

Для перехода от качественного описания структурных дисбалансов к их количественной диагностике целесообразно ввести индекс, позволяющий оценить степень неравномерности развития элементов корпоративной инновационной системы.

Нами предлагается использовать индекс структурного дисбаланса (ISD, Index of Structural Disbalance), рассчитываемый как отношение размаха значений уровней развития элементов системы к их среднему значению:

$$ISD = \frac{\max(X) - \min(X)}{\bar{X}}, \quad (1)$$

где X – вектор со значениями уровней развития элементов корпоративной инновационной системы;

$\max(X)$ и $\min(X)$ – соответственно максимальное и минимальное значения среди оцениваемых элементов;

$\bar{X}$ – средний уровень развития системы.

Предлагаемый показатель является авторской интерпретацией статистического показателя размаха, адаптированной к задачам анализа внутренней согласованности корпоративной инновационной системы. В отличие от традиционных показателей вариативности (таких как стандартное отклонение или коэффициент вариации), индекс ISD ориентирован на выявление предельного разрыва между наиболее и наименее развитыми элементами системы, что соответствует логике выявления «узких мест», ограничивающих воспроизводимость инновационного цикла.

Содержательная интерпретация показателя состоит в том, что рост его значения отражает усиление несбалансированности между элементами корпоративной инновационной системы: чем выше значение ISD, тем более выраженной является несбалансированность развития элементов корпоративной инновационной системы и тем выше вероятность наличия структурных ограничений, препятствующих эффективной реализации инновационной деятельности. При значениях показателя, близких к нулю, можно говорить о высокой степени согласованности элементов системы.

Для целей предварительной аналитической интерпретации значения индекса могут быть условно разделены на три зоны: низкая степень структурного дисбаланса, умеренная степень

структурного дисбаланса и выраженный структурный дисбаланс. Конкретизация пороговых значений требует дальнейшей эмпирической апробации, однако ориентировочные значения являются следующими:

- $ISD < 0,2$ – сбалансированное развитие элементов системы, низкий дисбаланс;

- $0,2 \leq ISD < 0,5$ – умеренный структурный дисбаланс;

- $ISD \geq 0,5$ – выраженный структурный дисбаланс, требующий приоритетного управленческого воздействия.

Использование индекса ISD позволяет дополнить традиционные подходы к оценке инновационной зрелости организаций инструментом, ориентированным на выявление ограничивающих элементов системы. Это обеспечивает переход от интегральной оценки уровня развития корпоративной инновационной системы к диагностике ее внутренней согласованности и формированию адресных управленческих решений, направленных на устранение структурных дисбалансов. В то же время индекс ISD не подменяет собой оценку общего уровня развития КИС, а используется как дополнительный показатель, характеризующий степень несбалансированности ее структурных элементов.

Смысл введения понятия структурного дисбаланса состоит в переносе акцента с общей оценки состояния КИС на выявление тех элементов, которые фактически ограничивают развитие системы. При наличии выраженного дисбаланса дальнейшее развитие уже сильных компонентов не приводит к сопоставимому приросту общей результативности инновационного цикла, поскольку слабый элемент продолжает выполнять функцию ограничителя. Например, развитие инфраструктуры тестирования и цифровых инструментов не обеспечивает роста результативности инновационной деятельности при отсутствии процессов отбора, сопровождения и внедрения решений; аналогично, наличие развитой стратегии инновационного развития не компенсирует дефицит кадровых и организационных механизмов реализации инициатив. В этом смысле структурный дисбаланс выступает не просто характеристикой внутреннего состояния КИС, а основанием для определения приоритетности управленческих воздействий.

Создаваемый эффект «бутылочного горлышка» приводит к тому, что фактический уровень развития КИС должен интерпретироваться с учетом уровня развития элемента, обладающего наибольшим ограничивающим воздействием на воспроизводимость инновационного цикла. В связи с этим повышение эффективности/зрелости

уже развитых элементов приведет к менее результативному конечному эффекту по сравнению с ситуацией, при которой объектом первоочередного управленческого воздействия становится элемент, отставание которого формирует наиболее выраженный структурный дисбаланс.

С учетом изложенного, процесс принятия решений по развитию корпоративной инновационной системы может быть представлен как последовательность следующих этапов:

- выделение структурных элементов КИС, подлежащих оценке;
- определение уровня развития каждого элемента на основе выбранной системы показателей;
- выявление структурных дисбалансов как наиболее существенных отклонений между уровнями развития элементов;
- определение элемента или группы элементов, выступающих ограничителями воспроизводимости инновационного цикла;
- формирование управленческих воздействий, направленных на поэтапное устранение выявленных дисбалансов;
- повторная оценка уровней развития элементов КИС и степень структурного дисбаланса после реализации управленческих воздействий.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что существующие подходы к оценке инновационного развития организаций недостаточно чувствительны к внутренней несогласованности корпоративной инновационной системы. Введение понятия структурного дисбаланса позволяет перейти от усредненной оценки состояния КИС к выявлению элементов, ограничивающих воспроизводимость инновационного цикла. В этом случае объектом управления становится не общий уровень инновационной зрелости как таковой, а те структурные компоненты системы, отставание которых снижает согласованность инновационного процесса. Следовательно, развитие КИС целесообразно рассматривать как процесс последовательного устранения структурных дисбалансов, а управленческие воздействия ориентировать прежде всего на те элементы, которые выступают ограничителями инновационного развития.

Литература

1. Акатов, Н. Б. Экспресс-диагностика инновационной зрелости предприятия / Н. Б. Акатов, О. А. Козлова, С. Ю. Тюлькина // Журнал экономической теории. – 2009. – № 4. – С. 15.
2. Брусакова, И. А. Методы и модели оценки зрелости инновационной структуры // Управленческие науки. – 2019. – Т. 9, № 3. – С. 56–62.
3. ГОСТ Р ИСО 56002–2020. Инновационный менеджмент. Системы инновационного менеджмента. Руководящие указания. – Изд. офиц. – Москва: Стандартинформ, 2020. – 44 с.
4. Падерин, А. А. Повышение эффективности инновационного менеджмента / А. А. Падерин, М. В. Власов // Innovative economy: information, analytics, forecasts. – 2024. – № 6. – С. 140–148.
5. Пичугин, З. А. Анализ подходов к определению понятия «корпоративная инновационная система» // Технико-технологические проблемы сервиса. – 2024. – № 4(70). – С. 105–109.
6. Салимьянова И.Г., Трейман М.Г. Корпоративные инновационные системы: учебное пособие. -СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2024. –123 с.
7. Arslan, M. Effects of Standardized Innovation Management Systems on Innovation Ambidexterity and Innovation Performance / M. Arslan, H. Ince, S. Z. Imamoglu // Sustainability. – 2024. – Vol. 17, no. 1. – P. 116.
8. Essmann, H. An Innovation Capability Maturity Model – Development and Initial Application // Zenodo. – 2009. – P. 1–12.
9. Giménez-Medina, M. A systematic review of capability and maturity innovation assessment models: Opportunities and challenges / M. Giménez-Medina, J. G. Enríquez, F. J. Domínguez-Mayo // Expert Systems with Applications. – 2023. – Vol. 213. – P. 118968.
10. Karstegl, N. Exploring innovation management systems: A systematic literature review and bibliometric analysis / N. Karstegl, M. Enjolras, F. Mayer // Journal of Engineering and Technology Management. – 2025. – Vol. 76. – P. 101876.
11. Kihlander, I. Critical Factors to Consider When Designing an Innovation Management System / I. Kihlander, M. Magnusson, M. Karlsson // Research-Technology Management. – 2024. – Vol. 67, no. 3. – P. 34–43.
12. Müller-Prothmann, T. IPMM – Integrated Innovation Maturity Model for Lean Assessment of Innovation Capability // XXII ISPIM Conference 2011: Sustainability in Innovation, June 12–15, 2011, Hamburg, Germany / T. Müller-Prothmann, A. Stein; eds. K. R. E. Huizingh, S. Conn, M. Torkkeli, I. Bitran. – 2011.
13. OECD/Eurostat. Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation. – 4th ed. – Paris; Luxembourg: OECD Publishing; Eurostat, 2018. – 256 p.
14. Özkan, Ö. Effect of ISO 56002 innovation management system fundamental principles on corporate performance components: research within the scope of R&D employees // Beykoz Akademi Dergisi. – 2024. – Vol. 12, no. 1. – P. 273–294.

ТУРИСТСКИЙ КОМПЛЕКС РОССИИ КАК СТРАТЕГИЧЕСКИЙ РЕСУРС ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ГЕОПОЛИТИЧЕСКИХ ВЫЗОВОВ

А.В. Кучумов¹

*Санкт-Петербургский государственный экономический университет,
Россия, 191023, Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, 30-32, литер А.*

В статье исследуется роль национальных интересов Российской Федерации в развитии туристской отрасли и их влияние на поддержание экономической безопасности в период геополитических изменений 2022–2026 годов. Отдельное внимание уделяется угрозам, связанным с внедрением систем искусственного интеллекта в туризме, а также процессу переориентации туристских потоков на внутренний рынок. По итогам работы определены десять ключевых угроз национальным интересам в туризме, предложены семь мер по их ослаблению и построена матрица рисков применения ИИ с оценкой вероятности и тяжести последствий. Полученные выводы могут найти применение в работе государственных структур при подготовке документов стратегического планирования в сферах туризма и экономической безопасности.

Ключевые слова: национальные интересы, туризм, экономическая безопасность, туристский поток, искусственный интеллект, региональная экономика, геополитические вызовы, кадровый дефицит, инвестиции.

THE TOURISM COMPLEX OF RUSSIA AS A STRATEGIC RESOURCE FOR ENSURING NATIONAL ECONOMIC SECURITY UNDER GEOPOLITICAL CHALLENGES

A.V. Kuchumov

*Saint Petersburg State University of Economics,
St. Petersburg, nab., 191023, Russia. Griboyedov Canal, 30-32, letter A.*

The article examines the role of Russia's national interests in tourism development and their impact on economic security during the geopolitical shifts of 2022–2026. The authors analyze how the objectives of the tourism complex relate to the needs of the state and society. Special attention is paid to threats from artificial intelligence systems in tourism and the reorientation of tourist flows to the domestic market. An assessment is made of the current stage of domestic tourism development from the perspective of compliance with national interests. The study identifies ten key threats to national interests in tourism, proposes seven measures to mitigate them, and constructs an AI risk matrix with probability and consequence assessments. The findings can be used by government bodies in developing strategic planning documents in tourism and economic security.

Keywords: national interests, tourism, economic security, tourist flow, artificial intelligence, regional economy, geopolitical challenges, personnel shortage, investments.

Туристический сектор объединяет множество отраслей, работа которых направлена на продвижение территорий в экономическом и социокультурном отношениях. Взаимодействие этих отраслей порождает мультипликативный эффект и стимулирует социально-экономические преобразования. Сегодня туризм воспринимается не просто как обслуживающая сфера, а как важный стратегический инструмент национального развития, способный влиять на макроэкономику, занятость и связи между регионами.

Несколько причин объясняют повышенное внимание к этой теме в последние годы. Во-первых, геополитическая ситуация в

2022–2026 годах существенно изменила структуру международных туристических потоков, что потребовало выработки новых подходов к развитию отрасли. Во-вторых, внутренний туризм стал одним из приоритетов государственной политики, и этот факт нуждается в научном анализе с точки зрения национальных интересов. В-третьих, цифровизация экономики и распространение искусственного интеллекта несут как дополнительные возможности, так и ранее неизвестные угрозы для экономической безопасности в туризме.

Цель исследования заключается в обосновании того, что туристский комплекс России может рассматриваться как стратегический ре-

курс для обеспечения национальной экономической безопасности, а также в подготовке практических предложений по снижению соответствующих рисков.

Методология опирается на базовые положения экономической теории, теории национальной безопасности и региональной экономики. В работе применялись следующие методы:

- системный анализ — чтобы рассмотреть туристский комплекс как целостную структуру, связанную с национальными интересами;
- статистический анализ — для обработки и интерпретации данных Росстата, АТОР и UNWTO о туристических потоках, инвестициях и дефиците кадров;
- сравнительный анализ — для оценки того, как различаются туристические потоки по регионам и как разнятся меры государственной поддержки;
- метод экспертных оценок — для определения вероятности наступления рисков, связанных с ИИ, и их возможных последствий (таблица 6);
- прогностический метод — для расчёта ожидаемых результатов от внедрения предложенных мер.

Научная новизна работы заключается в следующих положениях:

1. Предложена авторская группировка рисков применения искусственного интеллекта в туризме, охватывающая пять категорий (утечка персональных данных, алгоритмическая дискриминация, зависимость от зарубеж-

ного ПО, фейки о туристических объектах, сокращение рабочих мест), с оценкой вероятности и степени влияния на экономическую безопасность.

2. Впервые систематизированы меры государственной поддержки туристского комплекса, как инструмента экономической безопасности в условиях внешних ограничений.

3. Обнаружена зависимость между острой кадровой голода в туризме и показателями экономической безопасности регионов, что позволяет заблаговременно прогнозировать риски торможения развития туристической инфраструктуры.

4. Создана матрица ожидаемых результатов, содержащая количественные индикаторы для оценки эффективности мер по укреплению экономической безопасности через развитие туризма.

Под национальными интересами принято понимать объективно значимые потребности государства как социальной общности, сформировавшиеся под влиянием исторических, культурных и социальных факторов [3]. Эти интересы делятся на три уровня — личностные, общественные и государственные. Если рассматривать, как цели развития туризма соотносятся с национальными интересами, то видно, что туристский комплекс объединяет в себе социальную, культурную и экономическую составляющие.

В таблице 1 показано, каким образом национальные интересы на разных уровнях проявляются в сфере туризма.

Таблица 1 – Структура национальных интересов в сфере туризма

Уровень	Содержание интереса	Примеры в туризме
Личность	Безопасность, качество отдыха, доступность	Доступные цены, безопасные маршруты, качественный сервис
Общество	Сохранение культуры, патриотизм, занятость	Внутренний туризм, сохранение наследия, рабочие места
Государство	Экономический рост, суверенитет, безопасность	Импортозамещение в туризме, контроль турпотоков

Если изучать точки соприкосновения национальных интересов и потребностей в развитии туристского комплекса, то социокультурный аспект включает в себя такие параметры, как качество жизни, систему ценностей, глубину межрегиональных и межнациональных связей, состояние объектов культурного наследия. Социально-экономический аспект описывает характер взаимодействия между разными участниками экономической деятельности в вопросах развития и воздействия на социальную сферу [2; 10].

Ряд исследователей уже обращались к теме связи туризма с национальными интересами через призму экономической безопасности. Туризм в их работах предстаёт как инструмент регулирования межрегионального взаимодействия и поддержания социальной стабильности [8]. Туристский комплекс способствует увеличению доходов региональных бюджетов, помогает расти отдельным секторам в структуре ВВП, создаёт дополнительные рабочие места.

Национальные интересы в туристской сфере реализуются через комплексное освоение территорий, развитие разных секторов экономики, поддержку экологической и предпринимательской безопасности, а также через демографический рост [6].

В таблице 2 обобщены данные о том, как туризм воздействует на отдельные компоненты экономической безопасности.

Таблица 2 – Влияние туризма на компоненты экономической безопасности

Компонент экономической безопасности	Влияние туризма	Индикаторы
Производственная безопасность	Развитие смежных отраслей (питание, транспорт, строительство)	Рост оборота общепита, загрузка транспорта
Финансовая безопасность	Поступление налогов, валютная выручка	Доля туризма в ВРП, налоги от турбизнеса
Социальная безопасность	Создание рабочих мест, развитие территорий	Уровень занятости, миграционная привлекательность
Инновационная безопасность	Внедрение цифровых технологий, ИИ	Доля цифровых сервисов, инвестиции в ИТ

Анализ литературы и статистических данных позволил выделить десять основных угроз национальным интересам в области туризма [5]:

- отставание регионов по уровню развития материально-технической базы;
- сворачивание программ развития туристского комплекса;
- нарастание диспропорций в социально-экономическом положении регионов;
- ослабление или разрыв связей между институтами;
- падение качества предоставляемых услуг;
- высокая степень ресурсной зависимости отдельных территорий;
- вывоз капитала за пределы страны;

- расширение теневого сектора в экономике;
- информационные атаки на туристическую инфраструктуру;
- нехватка квалифицированных кадров в туристической отрасли.

Последняя угроза — кадровый дефицит — выделена в информационном письме конференции ITES-2026 как самостоятельная проблема. По оценкам Росстата, в 2024 году потребность в персонале в сфере туризма и гостеприимства удовлетворялась лишь на 80–85%. Ситуация особенно остра в регионах с высоким турпотоком — в Краснодарском крае, Крыму, Санкт-Петербурге и Москве.

В таблице 3 приведены расчёты, показывающие масштаб кадрового голода по отдельным регионам.

Таблица 3 – Кадровый дефицит в туристской отрасли России (2024–2025 гг.)

Регион	Потребность в кадрах (тыс. чел.)	Дефицит (%)	Наиболее востребованные специальности
Москва	25,4	18%	Администраторы отелей, гиды
Санкт-Петербург	18,2	22%	Экскурсоводы, менеджеры туризма
Краснодарский край	32,1	25%	Персонал отелей, работники питания
Республика Крым	12,5	28%	Сезонные работники, аниматоры
Республика Татарстан	8,3	15%	Трансферные менеджеры, гиды

Кадровый дефицит напрямую бьёт по национальным интересам: страдает качество туристического продукта, растёт нагрузка на действующих сотрудников, тормозится освоение новых дестинаций, процветает нелегальная занятость.

Одним из ключевых показателей для оценки потенциала туризма и его вклада в социально-экономическое развитие служат туристские потоки. Принято разделять внутренний и въездной потоки [11]. Внутренний поток — это количество поездок граждан внутри

своей страны. Въездной поток — это число прибытий иностранных туристов.

В таблице 4 представлена динамика обоих потоков за последние шесть лет. За период 2020–2025 гг. внутренний туристский поток вырос на 82,5% (с 28,5 до 52,0 млн поездок), тогда как въездной поток сократился на 34,4%. Доля внутреннего туризма увеличилась с 81,7% до 92,5%, что подтверждает успешную переориентацию отрасли на внутреннего потребителя в условиях геополитических ограничений.

Из таблицы видно, что внутренний турпоток неуклонно растёт, а въездной — сокращается. За первое полугодие 2024 года число внутренних поездок увеличилось на 9,35% и достигло 36,9 млн человек. Быстрее всего этот

показатель растёт в Центральном, Северо-Западном и Южном федеральных округах.

В таблице 5 показано, как распределяются внутренние поездки по округам.

Таблица 4 – Динамика туристских потоков в России (2020–2025 гг.)

Год	Внутренние поездки (млн)	Въездные поездки (млн)	Доля внутреннего туризма (%)
2020	28,5	6,4	81,7
2021	34,2	8,1	80,8
2022	38,1	5,2	88,0
2023	42,5	4,8	89,9
2024	47,3	4,5	91,3
2025	52,0	4,2	92,5

Источник: составлено автором на основе данных Росстата и АТОР

Таблица 5 – Региональное распределение внутренних туристских поездок (2024 г.)

Федеральный округ	Число поездок (млн)	Доля (%)	Рост к 2023 г. (%)
Центральный ФО	14,2	30,0	+10,2
Северо-Западный ФО	9,8	20,7	+11,5
Южный ФО	8,5	18,0	+8,9
Приволжский ФО	6,3	13,3	+7,4
Северо-Кавказский ФО	3,2	6,8	+12,1
Уральский ФО	2,8	5,9	+6,8
Сибирский ФО	1,6	3,4	+5,2
Дальневосточный ФО	0,9	1,9	+4,3

Три федеральных округа (Центральный, Северо-Западный, Южный) аккумулируют 68,7% всех внутренних туристских поездок, тогда как доля Дальневосточного округа не превышает 1,9%. Такая неравномерность создаёт угрозу национальным интересам, поскольку консервирует отставание слаборазвитых территорий и увеличивает межрегиональные диспропорции.

Данные таблицы 5 свидетельствуют о сильной региональной неравномерности. Почти 70% всех внутренних поездок приходится на три округа — Центральный, Северо-Западный и Южный. Такая диспропорция создаёт угрозу национальным интересам, поскольку противоречит принципам сбалансированного регионального развития.

Программа конференции ITES-2026 особо выделяет проблему рисков, связанных с искусственным интеллектом в контексте экономической и информационной безопасности туристского комплекса.

К числу основных рисков авторы относят:

- утечку личных данных туристов через интеллектуальные системы бронирования и рекомендаций;
- алгоритмическую дискриминацию, когда цена или условия обслуживания различаются для разных групп пользователей в зависимости от настроек моделей;

- зависимость критически важных объектов (аэропортов, вокзалов, систем управления турпотоками) от импортных ИИ-решений;
- распространение недостоверной информации о туристических объектах с помощью генеративных нейросетей;
- сокращение рабочих мест из-за автоматизации без одновременного создания новых высококвалифицированных позиций.

В таблице 6 эти риски оценены по вероятности наступления и возможным последствиям, а также предложены способы их минимизации.

Наиболее вероятными рисками ИИ в туризме являются утечка данных и зависимость от импортного ПО (оба имеют высокую вероятность). Наиболее тяжёлые последствия (ущерб репутации и уязвимость инфраструктуры) также связаны с этими двумя группами рисков. Следовательно, приоритетными направлениями минимизации должны стать локализация данных и импортозамещение в сфере ПО.

Согласно Указу Президента РФ от 02.07.2021 №400 [1], технологический и информационный суверенитет относятся к числу приоритетных национальных интересов. Следовательно, внедрение ИИ в туризме должно сопровождаться обязательной сертификацией, хранением данных внутри страны и развитием российских платформенных решений.

Таблица 6 – Риски ИИ в туризме и меры по их минимизации

Риск	Вероятность	Последствия для экономической безопасности	Меры минимизации
Утечка данных	Высокая	Ущерб репутации, отток туристов	Локализация данных, отечественное ПО
Алгоритмическая дискриминация	Средняя	Социальная напряженность, жалобы	Аудит алгоритмов, прозрачность ценообразования
Зависимость от импорта	Высокая	Уязвимость инфраструктуры	Импортозамещение, развитие Open Source
Фейки о дестинациях	Средняя	Снижение турпотока	Мониторинг сети, быстрая реакция
Кадровое замещение	Низкая	Безработица, падение качества	Переобучение, новые специальности

Сокращение въездных потоков вынуждает пересматривать стратегию развития туристского комплекса в сторону внутреннего потребителя. Внутренний туризм даёт регио-

нам дополнительные доходы, помогает сохранять культурно-исторические ценности, воспитывает патриотические настроения [7].

В таблице 7 перечислены основные меры государственной поддержки туризма, действовавшие в 2023–2026 годах.

Таблица 7 – Меры государственной поддержки туризма в России (2023–2026 гг.)

Мера поддержки	Объём финансирования	Результат
Туристический кешбэк	10 млрд руб. (2023)	Рост поездок на 15%
Гранты на создание модульных отелей	8 млрд руб.	500 новых объектов
Субсидирование чартерных программ	3,5 млрд руб.	Рост турпотока на 20% на южных направлениях
Национальный проект «Туризм и индустрия гостеприимства»	372 млрд руб. (до 2030 г.)	Развитие инфраструктуры 300+ инвестиционных проектов
Льготное кредитование туроператоров	Ставка 3–5%	Поддержка 200+ компаний

Национальный проект «Туризм и индустрия гостеприимства» является самой масштабной мерой поддержки (372 млрд руб. до 2030 г.), однако наибольшую оперативную эффективность в расчёте на рубль показал туристический кешбэк (рост поездок на 15% при затратах 10 млрд руб.). Льготное кредитование туроператоров охватило более 200 компаний, что способствовало сохранению туроператорской сети в кризисный период.

Стратегия национальной безопасности [1] прямо указывает, что сокращение бюджетных доходов от туристической деятельности негативно сказывается на продвижении регионов и качестве жизни людей. В то же время туристский комплекс может стать основой для выстраивания новых отношений с дружественными странами, упрощения визовых формальностей и восстановления социально-политической стабильности [9].

Перед Россией стоит задача достижения научно-технологического суверенитета. Туристский комплекс может внести вклад в её решение, стимулируя разработку новых технологий и укрепляя связи со смежными отраслями [10].

В таблице 8 представлены перспективные направления туризма с точки зрения национальных интересов.

Инвестиционная привлекательность туристического комплекса — важнейший фактор экономической безопасности. В условиях санкций приходится делать ставку на внутренние источники капитала и средства из дружественных стран.

В таблице 9 отражена динамика инвестиций в туристскую инфраструктуру за последние шесть лет.

Объём инвестиций в туристскую инфраструктуру вырос с 285 млрд руб. в 2020 году до 410 млрд руб. в 2025 году (рост на 43,9%). Доля частных инвестиций увеличилась с 42% до 52%, что свидетельствует о повышении доверия бизнеса к государственной политике. Однако более 60% всех вложений по-прежнему сосредоточены в десяти наиболее развитых регионах, что усиливает региональную неравномерность.

Рост доли частных инвестиций говорит о том, что бизнес постепенно начинает доверять государственной политике в сфере ту-

ризма. Однако сохраняется проблема неравномерного распределения средств: более 60% всех вложений осваивается в десяти самых развитых регионах.

Таблица 8 – Перспективные направления развития туризма в контексте национальных интересов

Направление	Содержание	Вклад в экономическую безопасность
Промышленный туризм	Посещение предприятий, заводов	Импортозамещение, инженерное образование
Сельский туризм	Развитие агротуризма, фермерских хозяйств	Поддержка малого бизнеса, развитие территорий
Военно-патриотический туризм	Музеи, реконструкции, места боевой славы	Патриотическое воспитание, историческая память
Экологический туризм	Заповедники, национальные парки	Сохранение природы, экологическое просвещение
Деловой туризм	Конгрессы, выставки, форумы	Международное сотрудничество, инвестиции

Таблица 9 – Инвестиции в туристскую инфраструктуру России (2020–2025 гг.)

Год	Объём инвестиций (млрд руб.)	Основные направления	Доля частных инвестиций (%)
2020	285	Гостиницы, санатории	42
2021	312	Транспортная инфраструктура	45
2022	298	Глэмпинги, модульные отели	40
2023	345	Комплексное развитие территорий	48
2024	378	Курорты, туристские кластеры	50
2025	410	Цифровая инфраструктура, ИИ	52

На основе проведённого анализа авторы предлагают следующие шаги по усилению экономической безопасности России с помощью туристского комплекса:

- расширение программ субсидирования поездок для социально незащищённых слоёв населения, чтобы стимулировать внутренний туризм;
- создание туристической инфраструктуры в отстающих регионах (Дальний Восток, Сибирь, Северный Кавказ) с использованием механизмов государственно-частного партнёрства;
- цифровая трансформация управления турпотоками, включая разработку национальной платформы бронирования на основе отечественного ПО;

- подготовка кадров для туротрасли через целевое обучение, программы переподготовки и повышение престижа профессий в сфере гостеприимства;
- импортозамещение в туристической инфраструктуре — налаживание собственного производства оборудования для отелей, санаториев и турбаз;
- обеспечение информационной безопасности туризма — создание системы мониторинга и быстрого реагирования на ложные сведения о российских дестинациях;
- интеграция с дружественными странами через совместные туристические маршруты и упрощение визовых формальностей.

В таблице 10 приведены ожидаемые результаты от реализации этих мер с указанием количественных индикаторов.

Таблица 10 – Ожидаемые результаты реализации предложенных мер

Мера	Горизонт реализации	Ожидаемый результат	Индикатор
Стимулирование внутреннего туризма	2026–2028	Рост внутреннего турпотока на 20%	млн поездок
Развитие инфраструктуры регионов	2026–2030	Сокращение неравномерности на 15%	индекс Джини
Цифровая платформа	2026–2027	Снижение доли импортного ПО до 10%	доля рынка
Подготовка кадров	2026–2028	Сокращение дефицита до 5–7%	% дефицита
Импортозамещение	2026–2030	Рост доли отечественного оборудования до 60%	% импорта

Анализ ожидаемых результатов реализации предложенных мер позволяет заключить, что наиболее быстрый эффект, достигаемый в горизонте двух-трёх лет, дадут меры по стимулированию внутреннего туризма и созданию цифровой платформы бронирования. Уже к 2028 году ожидается рост внутреннего туристского потока на 20 процентов при одновременном снижении доли импортного программного обеспечения до 10 процентов. Меры по сокращению региональной неравномерности и импортозамещению в туристской инфраструктуре требуют более длительного периода реализации — от пяти до семи лет, однако именно они вносят наибольший вклад в долгосрочную экономическую безопасность страны. Подготовка кадров занимает промежуточное положение по срокам (три года) и является критически важным условием для реализации всех остальных мер, поскольку без квалифицированного персонала невозможно освоить ни новые инвестиции, ни цифровые платформы, ни модернизированную инфраструктуру. Все предложенные индикаторы имеют количественное выражение, что позволяет осуществлять ежегодный мониторинг эффективности государственной политики в сфере туризма и при необходимости корректировать управленческие решения.

Проведённое исследование позволяет сделать несколько обобщающих выводов.

Во-первых, туристский комплекс России демонстрирует уверенный рост внутреннего турпотока. Если в 2020 году было совершено 28,5 млн внутренних поездок, то по оценкам 2025 года этот показатель превысит 52 млн. Однако позитивная динамика сочетается с серьёзными региональными диспропорциями: три федеральных округа аккумулируют почти 70% всех поездок, тогда как Дальний Восток и Сибирь получают лишь незначительную часть турпотока.

Во-вторых, кадровый дефицит в туристской отрасли варьируется от 15% до 28% в зависимости от региона и представляет собой прямую угрозу национальным интересам. Без решения кадровой проблемы невозможно обеспечить должное качество услуг, развивать новые дестинации и выводить теневую занятость из тени.

В-третьих, внедрение искусственного интеллекта в туризме несёт не только технологические преимущества, но и значительные риски. Утечка персональных данных, алгоритмическая дискриминация, зависимость от импортного ПО и распространение фейков — всё это нуждается в системном регулировании.

Предложенная в статье матрица рисков (таблица 6) может служить основой для разработки отраслевых стандартов безопасности.

В-четвёртых, меры государственной поддержки, перечисленные в таблице 7, уже дают ощутимые результаты: туристический кешбэк увеличил число поездок на 15%, гранты на модульные отели позволили создать 500 новых объектов, а национальный проект до 2030 года предполагает развитие более 300 инвестиционных проектов. В то же время требуется дальнейшее совершенствование инструментов поддержки, особенно в части подготовки кадров и импортозамещения.

В-пятых, предложенные авторами семь мер (разд. 9) с горизонтом реализации до 2030 года способны сократить региональную неравномерность на 15%, снизить дефицит кадров до 5–7% и поднять долю отечественного оборудования до 60%. Количественные индикаторы, приведённые в таблице 10, позволяют оценивать прогресс и корректировать политику по мере необходимости.

В-шестых, национальные интересы в сфере туризма не сводятся только к экономическим показателям. Сохранение культурного наследия, воспитание патриотизма, укрепление межрегиональных связей, обеспечение информационной безопасности — эти аспекты не менее важны. Туризм оказывается той сферой, где интересы личности, общества и государства могут быть согласованы наиболее органично.

Таким образом, исследование подтверждает исходную гипотезу: туристский комплекс является стратегическим ресурсом национальной экономической безопасности России. Однако реализация этого потенциала требует целенаправленной государственной политики, учитывающей выявленные угрозы и риски. Особое внимание в ближайшие годы следует уделить управлению ИИ-рисками в туризме, так как цифровая трансформация будет только нарастать.

Дальнейшие исследования в этом направлении могут быть связаны с более детальной проработкой методик оценки экономической безопасности на уровне отдельных туристских дестинаций, а также с анализом зарубежного опыта импортозамещения в туристской инфраструктуре.

Литература

1. Указ Президента РФ от 02.07.2021 №400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации».

2. Кучумов А.В., Еремичева П.Ю., Богданов И.Ю. Национальные интересы развития туризма как элемента экономической безопасности страны // Проблемы современной экономики. – 2024. – № 4 (92). – С. 185-188.
3. Казакова М.Н. Национальные интересы: к вопросу об определении и содержании понятия // Вестник Мордовского университета. – 2010. – Т. 20, №3. – С. 26-32.
4. Кружалин В.И., Мироненко Н.С., Зигерн-Корн Н.В., Шабалина Н.В. География туризма: учебник. – М.: Федеральное агентство по туризму, 2014. – 336 с.
5. Малолетко А.Н. Национальные интересы развития туризма как элемент экономической безопасности страны // Вестник ассоциации вузов туризма и сервиса. – 2010. – №2.
6. Николаева М.А. Экономическая безопасность сферы туризма: теоретико-проблемный аспект //

- Электронный Вестник Ростовского социально-экономического института. – 2016. – №2. – С. 578-581.
7. Кучумов А.В., Еремичева П.Ю. Анализ факторов негативного влияния на развитие туризма Юго-Восточной Азии // Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса. – 2024. – Т. 10. – № 1. – С. 45-59.
8. Филипов В.А. Экономическая безопасность в сфере туризма // Материалы XV Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». – 2023.
9. Консульский информационный портал. Информация о визовом/безвизовом режиме поездок граждан. URL: <https://www.kdmid.ru> (дата обращения: 27.05.2026).
10. Гуриева Л.К., Кучумов А.В., Еремичева П.Ю. Национальные особенности применения ESG-принципов в концепции устойчивого развития туризма // Вестник Северо-Осетинского государственного университета имени К.Л. Хетагурова. – 2024. – № 3. – С. 161-170.

УДК 338.24

ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА: МОДЕЛИ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ КОМПАНИЙ В ЦИФРОВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

А.Ю. Бомбин¹

Санкт-Петербургский государственный экономический университет (СПбГЭУ), Россия, 191023, г. Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, д. 30-32, литер А.

В статье обоснована и представлена концептуальная модель интеграции технологий искусственного интеллекта в системы менеджмента качества, ориентированная на переход от реактивных форм контроля к предиктивному и адаптивному управлению. Модель нацелена на усиление организационной устойчивости, расширение аналитических возможностей СМК и согласование их с ESG-подходами в контексте цифровой трансформации компаний.

Ключевые слова: искусственный интеллект, система менеджмента качества, устойчивое развитие компании, цифровая экосистема, ESG-подход, организационная устойчивость, цифровая трансформация.

INTEGRATING ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO QUALITY MANAGEMENT SYSTEMS: MODELS FOR ENHANCING CORPORATE RESILIENCE IN DIGITAL ECOSYSTEMS

A.Yu. Bombin

*St. Petersburg State Economic University (SPbGEU)
191023, St. Petersburg, Griboyedov can., 30-32, building A.*

The article substantiates and presents a conceptual model for integrating artificial intelligence technologies into quality management systems, aimed at shifting from reactive control practices to predictive and adaptive quality governance. The model is designed to strengthen organisational resilience, expand the analytical capabilities of QMS and align them with ESG-oriented approaches in the context of corporate digital transformation.

Keywords: artificial intelligence, quality management system, corporate sustainable development, digital ecosystem, ESG approach, organisational resilience, digital transformation.

EDN [SEQPST](#)

¹Бомбин Андрей Юрьевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры рекламы и связей с общественностью, тел.: +7 (905) 260-57-96, e-mail: bombin.a@unicon.ru.

Введение

В условиях цифровой трансформации и усложнения внешней среды требования к системам управления в производственных и сервисных компаниях существенно возрастают. Если ранее ключевым ориентиром выступало обеспечение стабильного уровня качества продукции и услуг на основе регламентированных процедур и стандартов, то сегодня на первый план выходят адаптивность организаций, устойчивость к внешним шокам и соответствие повестке устойчивого развития и ESG-критериям. Системы менеджмента качества (СМК), являясь важнейшим институтом обеспечения надежности и предсказуемости процессов, оказываются в центре этих изменений и требуют переосмысления содержания и инструментального обеспечения [14, 15].

Традиционно СМК развивались как совокупность регламентов, процедур и методов контроля, направленных на снижение вариативности процессов и предотвращение несоответствующей продукции. Внедрение стандартов серии ISO, развитие процессного подхода, риск-ориентированного мышления и культуры непрерывного улучшения позволило сформировать устойчивый каркас управления качеством во многих организациях [5, 7, 14, 15]. Вместе с тем динамика рынков, рост объемов и сложности данных, усиление требований в области устойчивого развития и корпоративной социальной ответственности выявляют ограничения моделей, опирающихся преимущественно на постфактум-контроль и экспертные оценки.

Одновременно происходит интенсивное развитие технологий искусственного интеллекта, которые находят применение в аналитике данных, прогнозировании и поддержке управленческих решений. Для компаний, функционирующих в цифровых экосистемах и платформенных бизнес-моделях, ИИ становится не только инструментом повышения операционной эффективности, но и фактором формирования конкурентных преимуществ и устойчивости. Интеграция интеллектуальных технологий в контуры СМК создает предпосылки перехода от реактивного контроля к предиктивному и адаптивному управлению [8, 10, 13], основанному на непрерывном анализе потоков данных и моделировании сценариев развития ситуации.

При этом в научной и практической плоскости сохраняется ряд нерешенных вопросов, связанных с концептуализацией взаимодействия СМК и ИИ. На уровне отдельных функций управления качеством уже формируются примеры применения интеллектуальных алгоритмов – в мони-

торинге параметров, выявлении аномалий, анализе дефектности, прогнозировании отказов, управлении логистическими и сервисными процессами. Однако системное представление о том, как технологии искусственного интеллекта встраиваются в архитектуру СМК, меняют конфигурацию процессов, роли участников и механизмы принятия решений и, в конечном счете, влияют на устойчивость организаций, эксплуатирующих сложные технические и цифровые системы, пока разработано в недостаточной степени [8, 10].

Особую значимость приобретает рассмотрение интеграции ИИ в СМК через призму устойчивого развития. Для компаний, которые следуют ESG-подходам, вопросы качества выходят за рамки характеристик продукции и услуг и охватывают качество корпоративного управления, взаимодействия со стейкхолдерами, надежность и устойчивость цепочек поставок, экологическую и социальную результативность деятельности [8–11]. В этих условиях СМК может рассматриваться как инфраструктура управления устойчивостью, а технологии ИИ – как ключевой ресурс повышения прозрачности [6, 9, 11], управляемости и адаптивности соответствующих процессов.

Таким образом, формируется научная и практическая проблема, связанная с необходимостью разработки концептуальных моделей, описывающих интеграцию искусственного интеллекта в системы менеджмента качества компаний с позиций устойчивого развития и цифровых экосистем. Недостаточный уровень разработанности подобных моделей является барьером для формирования стратегий цифровой трансформации в области качества, а также определения приоритетных направлений по внедрению ИИ и оценки его влияния на устойчивость бизнеса.

Цель исследования – обосновать и представить концептуальную модель интеграции технологий искусственного интеллекта в системы менеджмента качества для повышения их результативности, адаптивности и устойчивости в условиях цифровой трансформации.

Для достижения цели решаются следующие задачи:

- проанализировать эволюцию роли СМК в контексте цифровой трансформации и ESG-повестки;
- идентифицировать ключевые направления применения ИИ в управлении качеством и устойчивостью;
- обосновать методологические подходы к оценке влияния ИИ на результативность и устойчивость СМК;
- предложить модель интеграции ИИ в контуры СМК с выделением уровней зрелости;

– охарактеризовать ожидаемые эффекты её внедрения для качества, ESG-результативности и организационной устойчивости компаний.

Объектом исследования выступают системы менеджмента качества компаний, функционирующих в условиях цифровизации и усиления требований устойчивого развития. Предмет исследования составляют процессы интеграции технологий искусственного интеллекта в указанные системы и их влияние на способность производственных и сервисных компаний обеспечивать стабильное качество, адаптироваться к изменениям внешней среды и реализовывать ESG-ориентированные стратегии.

Методология исследования

Методологическая основа исследования формируется на пересечении системного и процессного подходов к управлению качеством, концепций устойчивого развития и ESG, а также современных представлений о роли искусственного интеллекта в трансформации управленческих систем. Работа носит концептуально-методологический характер и ориентирована на разработку модели, интегрирующей эти подходы в контексте современных СМК. Такой междисциплинарный ракурс позволяет рассматривать СМК не только как совокупность регламентов и процедур, но и как динамическую инфраструктуру обеспечения устойчивости компании в цифровой среде, в которую целенаправленно встраиваются интеллектуальные технологии [8, 10, 13, 15].

В рамках системного подхода СМК трактуется как целостная система, включающая взаимосвязанные элементы – процессы, ресурсы, регламенты, участников и механизмы оценки результативности, – функционирование которых определяется внутренними и внешними факторами. Это позволяет выявить точки приложения технологий искусственного интеллекта не фрагментарно, а сквозным образом – через анализ потоков информации, контуров обратной связи и механизмов принятия решений. Процессный подход конкретизирует это представление, смещая фокус на выявление, описание, мониторинг и постоянное совершенствование процессов. Такой взгляд особенно актуален в условиях цифровизации и усложнения бизнес-моделей, где прозрачность и управляемость процессов становятся критически важными [1, 14, 15].

Дополняют данную методологическую основу концепции устойчивого развития и ESG-подход. Они задают ориентиры для оценки эффектов внедрения искусственного интеллекта в СМК с учетом экологических, социальных и

управленческих аспектов деятельности организаций, эксплуатирующих сложные технические и цифровые системы. В этом контексте ИИ целесообразно рассматривать не только как инструмент повышения операционной эффективности, но и как фактор усиления СМК – прежде всего в задачах мониторинга, аналитики и управления устойчивостью [6, 9, 11].

Методологическая база исследования носит комплексный характер и объединяет взаимодополняющие методы. В частности, используется анализ и синтез научной литературы и нормативных источников, охватывающих проблематику систем менеджмента качества, цифровой трансформации, искусственного интеллекта, устойчивого развития и ESG. Дополнительно учитываются современные обзоры, посвященные развитию QMS-платформ и цифровых решений в сфере управления качеством. Это позволяет выявить ключевые тренды – усиление роли ИИ в СМК, интеграцию ESG-метрик в системы качества, развитие цифровых экосистем управления – и зафиксировать существующие подходы и ограничения их концептуализации.

Во-вторых, применяется сравнительный анализ, направленный на сопоставление различных моделей использования искусственного интеллекта в управлении качеством и устойчивостью. В рамках этого направления исследуются подходы к интеграции ИИ в ISO-ориентированные СМК, модели ИИ-поддерживаемого ESG-менеджмента, а также концепции цифровых экосистем, в которых качество рассматривается как системный атрибут [8-12].

В-третьих, ключевым методологическим инструментом выступает концептуальное моделирование. На этой основе формируется авторская модель интеграции технологий искусственного интеллекта в систему менеджмента качества компаний, отражающая контуры функционирования СМК в условиях цифровых экосистем [1, 3, 8, 10], точки встраивания ИИ в процессы планирования, обеспечения, контроля и улучшения качества, взаимодействие ИИ-модулей с ESG-метриками и параметрами устойчивости, а также уровни зрелости интеграции ИИ – от регламентно-контрольного до экосистемного [6, 9, 11]. Концептуальная модель строится как логико-структурная схема, отражающая потоки данных, функциональные блоки и связи между ними

Для повышения прикладной значимости дополнительно используется уровневый подход к описанию зрелости интеграции ИИ в СМК. На основе анализа литературы и практических кейсов

предлагается авторская шкала, включающая характеристики каждого уровня по нескольким параметрам: степень цифровизации процессов качества, глубина использования ИИ в аналитике и прогнозировании, степень интеграции ESG-метрик и устойчивости в контуры СМК, характер взаимодействия с цифровыми экосистемами и партнерами [8, 10, 12, 13]. Предлагаемая шкала может рассматриваться как диагностический инструмент при проведении аудита систем менеджмента качества и планировании дорожных карт их цифровой трансформации.

Результаты

Системы менеджмента качества постепенно выходят за рамки классического понимания как набора процедур, регламентов и инструментов контроля, обеспечивающих стабильность характеристик продукции и услуг. По мере усложнения бизнес-моделей, усиления сетевых взаимодействий и формирования цифровых экосистем качество начинает рассматриваться как системное свойство организации и её партнерских связей, отражающее устойчивость цепочек создания ценности, надежность цифровой инфраструктуры и качество управленческих решений. В этой логике СМК трансформируется в интеграционную платформу, связывающую процессы, данные, ресурсы и заинтересованные стороны [1, 14, 15].

Усиление повестки устойчивого развития и ESG-ориентированных подходов расширяет содержание СМК: качество деятельности охватывает не только технические характеристики продукта, но и социальные, экологические и управленческие параметры. В результате СМК встраивается в более широкий контур управления устойчивостью, где значимую роль играют мониторинг ESG-метрик, управление рисками и оценка устойчивости бизнес-модели и цифровой экосистемы [6, 9, 11].

Функционирование в цифровых экосистемах повышает требования к адаптивности и гибкости СМК. Компании взаимодействуют с множеством участников – поставщиками, операторами платформ, сервисными провайдерами, клиентами, регуляторами, – что требует согласованности стандартов качества, оперативного обмена данными и быстрой настройки процессов под новые условия. В этих условиях традиционные СМК, основанные на статичных регламентах и выборочном контроле, дополняются динамическими системами, опирающимися на постоянный сбор и анализ данных, использование цифровых платформ и интеллектуальных технологий [2-4, 13].

Технологии искусственного интеллекта обладают значительным потенциалом трансформации СМК за счет расширения возможностей по сбору, обработке и интерпретации данных, а также по поддержке управленческих решений. В рамках исследования выделено несколько ключевых направлений интеграции ИИ в контуры СМК [8, 10, 13].

Первое направление связано с использованием ИИ для мониторинга и анализа данных о процессах и результатах. Алгоритмы машинного обучения и интеллектуальной аналитики применяются для выявления закономерностей и аномалий в потоках производственных, логистических, сервисных и иных данных, включая эксплуатационные параметры технических систем и цифровой инфраструктуры, что обеспечивает более раннее обнаружение отклонений, прогнозирование вероятности дефектов или отказов и формирование рекомендаций по корректирующим и предупреждающим действиям [8, 10, 12]. При этом в фокус анализа попадают как агрегированные управленческие показатели, так и эксплуатационные параметры технических систем и цифровой инфраструктуры, отражающие фактическое состояние процессов и ресурсов.

Второе направление предполагает использование ИИ в поддержке управленческих решений в области качества и устойчивости. Интеллектуальные системы агрегируют разнородные данные – от показателей процессов и жалоб потребителей до ESG-индикаторов и регуляторных требований – формируя основу для многокритериальной оценки альтернатив [8, 10, 11].

Третье направление касается интеграции ИИ в контуры управления устойчивым развитием и ESG внутри СМК: интеллектуальные технологии обеспечивают автоматизированный сбор, обработку и верификацию ESG-данных, оценку устойчивости цепочек поставок, моделирование сценариев воздействия и мониторинг выполнения ESG-обязательств.

Четвертое направление связано с использованием ИИ в контексте цифровых экосистем, когда СМК отдельных компаний становятся элементами более широких конфигураций. В таких условиях интеллектуальные алгоритмы обеспечивают координацию требований качества, оптимизацию распределения ресурсов, согласование уровней сервиса и анализ совокупных рисков и устойчивости экосистемы.

На основе проведенного анализа разработана концептуальная модель, отражающая архитектуру взаимодействия СМК, ИИ-технологий и контуров устойчивого развития компании в условиях цифровых экосистем (см. рис. 1).

В качестве исходного элемента рассматривается СМК, структурированная по процессному принципу и включающая контуры: планирование качества, обеспечение качества, контроль и оценку результативности, улучшение и развитие. Дополнительно вводится блок управления устойчивым развитием и ESG, включающий процессы формулирования ESG-целей, мониторинга показателей, оценки рисков и подготовки отчетности.

В модель интегрируется слой технологий искусственного интеллекта, представленный функциональными модулями (см. таблица 1):

- модуль интеллектуального мониторинга и анализа данных;
- модуль прогнозирования и сценарного анализа;
- модуль оптимизации и поддерживающих рекомендаций;
- модуль ESG-аналитики и устойчивости.



Рисунок 1 – Концептуальная модель интеграции ИИ в систему менеджмента качества и контуры устойчивого развития компании. Источник: составлено автором на основании [1, 3, 5-8, 10-12]

Таблица 1 – Связь контуров СМК и модулей ИИ

Контур СМК	Основные задачи	Соответствующие модули ИИ	Ожидаемые эффекты
Планирование качества	Постановка целей качества, учёт рисков и возможностей	Модуль прогнозирования и сценарного анализа	Более обоснованные цели, учёт сценариев и рисков
Обеспечение качества	Реализация процессов, управление ресурсами	Модуль интеллектуального мониторинга и анализа данных	Снижение вариативности, оперативное выявление отклонений
Контроль и оценка	Контроль продукции и процессов, аудит, анализ данных	Модули мониторинга и оптимизации	Повышение точности контроля, автоматизация анализа
Улучшение и развитие	Корректирующие и предупреждающие действия, улучшения	Модуль оптимизации и поддерживающих рекомендаций	Системное улучшение, выбор эффективных мер

Источник: составлено автором на основании [6, 8-14]

Модули взаимодействуют с процессами СМК как сквозные интеллектуальные сервисы, обеспечивая обработку данных и генерацию управленческой информации на различных этапах жизненного цикла процессов.

Важным элементом модели является выделение уровней зрелости интеграции ИИ в СМК (см. таблица 2):

1. базовый уровень – использование традиционных методов контроля, эпизодическое применение ИИ;

2. аналитический уровень – систематическое применение ИИ для аналитики процессов качества и устойчивости;

3. предиктивный уровень – ИИ как ключевой инструмент прогнозирования отклонений и рисков, интегрированный в контуры принятия решений;

4. экосистемный уровень – СМК встроена в цифровые платформы и экосистемы, ИИ обеспечивает координацию требований качества и устойчивости между участниками.

Таблица 2 – Уровни зрелости интеграции ИИ в СМК

Уровень	Характеристика использования ИИ	Характеристика СМК	Эффект для устойчивости
Базовый	Эпизодическое применение ИИ для отдельных задач контроля	Традиционная СМК, фокус на постфактум-контроле, слабая интеграция данных	Минимальное влияние на устойчивость, ограниченная профилактика рисков
Аналитический	Регулярная аналитика данных с помощью ИИ (анализ дефектов, трендов)	СМК с усиленным блоком анализа и отчётности, частичная автоматизация	Улучшение качества решений, сокращение повторяющихся отклонений
Предиктивный	Предиктивные модели, прогноз отклонений и рисков, рекомендации по действиям	СМК как «раннее предупреждение», интеграция ИИ в контуры принятия решений	Повышение устойчивости за счет раннего реагирования и адаптивности
Экосистемный	ИИ-сервисы координируют требования качества и ESG между участниками экосистемы	СМК встроена в цифровые платформы и межфирменные процессы	Формирование коллективной устойчивости экосистемы, координация рисков

Источник: составлено автором на основании [1, 8, 10, 13]

Реализация предложенной модели обеспечивает совокупность эффектов, затрагивающих внутренние параметры функционирования компании и её внешнюю устойчивость (см. рисунок 2). Прежде всего повышается результативность управления качеством за счет перехода от реактивного

подхода к предиктивному и адаптивному управлению [8, 10, 12, 13]. Использование интеллектуальной аналитики и прогнозных моделей способствует более раннему обнаружению отклонений, снижению вероятности дефектов и сокращению временного лага между возникновением проблемы и управленческой реакцией.

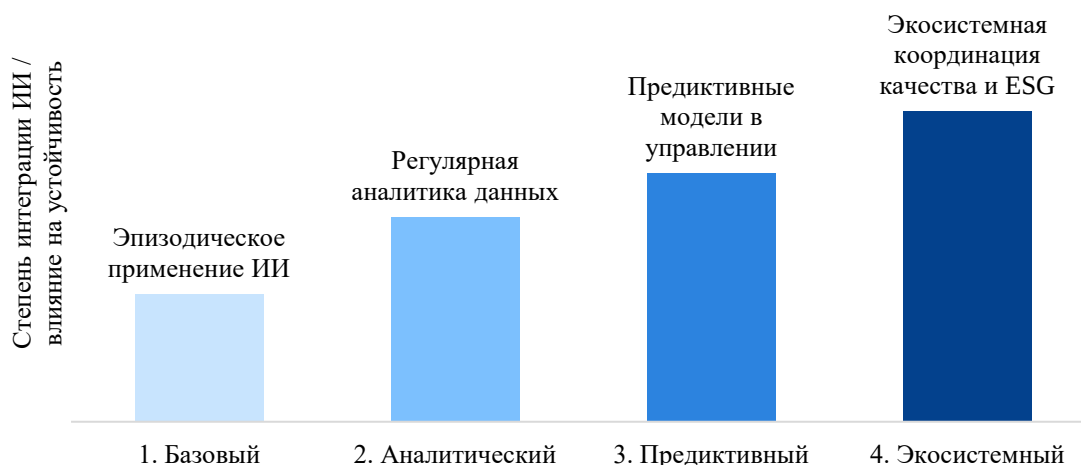


Рисунок 2 – Уровни зрелости интеграции ИИ в системе менеджмента качества. Источник: составлено автором на основании [2-4, 8, 10-13]

Существенный эффект связан с повышением прозрачности управленческих процессов. Интеграция искусственного интеллекта в систему менеджмента качества позволяет значительно углубить обработку данных, поступающих из разных функциональных контуров производственных и сервисных компаний. В результате формируется более целостное представление о качестве деятельности: становятся заметны взаимосвязи между отдельными отклонениями и системными причинами, что, в свою очередь, повышает обоснованность принимаемых управленческих решений [8, 10, 12].

Отдельного внимания заслуживает влияние подобной интеграции на устойчивость компании. Использование ИИ в СМК усиливает возможности раннего выявления рисков, проведения сценарного анализа и выбора корректирующих воздействий еще до того, как негативные тенденции переходят в критическую фазу. Благодаря этому система менеджмента качества начинает выполнять не только контрольные, но и интеллектуально-прогностические функции, обеспечивая организационную устойчивость [8-11].

Существенным эффектом также становится усиление связи между управлением качеством и реализацией ESG-стратегий. Встраивание модулей ESG-аналитики в контур СМК позволяет системно отслеживать экологические, социальные и управленческие параметры деятельности, что способствует росту доверия со стороны инвесторов, партнеров, потребителей и регуляторов. Для производственных и сервисных компаний, функционирующих в цифровых экосистемах, модель открывает возможности повышения согласованности и надежности взаимодействий между участниками [2-4, 13], поддерживая координацию требований, стандартизацию обмена данными, синхронизацию решений и прогнозирование межорганизационных рисков.

Научная новизна исследования заключается в развитии представлений о системе менеджмента качества как о многофункциональной управленческой платформе, обеспечивающей устойчивость компании в условиях цифровых экосистем, и в обосновании роли искусственного интеллекта как системообразующего фактора трансформации СМК [8, 10, 13]. Предложенная концептуальная модель интеграции ИИ в СМК объединяет процессы управления качеством, интеллектуальные модули обработки данных и блоки управления устойчивым развитием и ESG, формируя целостное

видение СМК как динамической архитектуры управления качеством и устойчивостью [1-4, 13].

Дополнительным элементом новизны является выделение уровней зрелости интеграции ИИ в систему менеджмента качества, что позволяет описывать не только целевое состояние интеллектуализированной СМК, но и этапы её эволюции. Это расширяет предметное поле исследований в сфере менеджмента качества, переводя акцент с внутрифирменных моделей на экосистемные и платформенные конфигурации управления качеством и устойчивостью.

Практическая значимость исследования определяется возможностью использования предложенной модели при разработке и совершенствовании корпоративных СМК в компаниях, ориентированных на цифровую трансформацию и устойчивое развитие. Модель может служить методической основой для диагностики текущего состояния СМК, определения направлений внедрения ИИ, проектирования дорожных карт цифровизации процессов качества и формирования системы показателей, отражающих взаимосвязь качества, устойчивости и ESG-результативности.

Практическую ценность представляет и уровневый подход к оценке зрелости интеграции ИИ в СМК, который может быть использован в качестве инструмента внутреннего аудита и стратегического планирования, а также адаптирован к отраслевой специфике – от производственных предприятий и логистических систем до сервисных компаний, платформенных бизнес-моделей и кластерных структур.

Заключение

Проведенное исследование показало, что интеграция технологий искусственного интеллекта в системы менеджмента качества является одним из ключевых направлений повышения устойчивости организаций, эксплуатирующих сложные технические и цифровые системы в условиях цифровых экосистем и усиления требований устойчивого развития. Предложенная концептуальная модель позволяет системно представить направления и уровни применения искусственного интеллекта в системе менеджмента качества, увязать задачи управления качеством с ESG-ориентированными стратегиями и тем самым заложить методическую основу для

трансформации корпоративных систем качества.

Практическая реализация модели дает многомерный эффект: повышается результативность и прозрачность управления качеством, усиливается организационная устойчивость, улучшаются ESG-показатели, а также укрепляется доверие со стороны внешних стейкхолдеров. Предложенный подход применим для широкого класса организаций, функционирующих в условиях цифровых экосистем, включая производственные, сервисные и инфраструктурные компании. В дальнейшем представляется целесообразным сосредоточить исследования на эмпирической верификации модели на материалах конкретных отраслей и компаний, а также на разработке инструментов количественной оценки уровня зрелости интеграции искусственного интеллекта в системы менеджмента качества.

Литература

1. Манахова, И. В. Модели трансформации систем менеджмента качества цифровой компании / И. В. Манахова, Е. В. Левченко, А. Р. Есина // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. 2021. Т. 18, № 1(115). С. 115-123. DOI 10.21686/2413-2829-2021-1-115-123. EDN ZJFJSY.
2. Сабирджанов, Э. Л. Современные тенденции развития цифровых экосистем / Э. Л. Сабирджанов, Д. В. Вакорин // Бренд-менеджмент пространств: вызовы, технологии, устойчивое развитие : сборник статей VI Всероссийской научно-практической конференции, Тюмень, 23 мая 2025 года. – Тюмень: ТюмГУ-Press, 2025. – С. 187-195. – EDN FVQLVY.
3. Шаравова, О. И. Концепции, модели и принципы построения экосистем в условиях сетевой экономики / О. И. Шаравова, А. Д. Кузовков, М. М. Шаравова // Век качества. – 2025. – № 1. – С. 105-130. – EDN VEHNQU.
4. Шишкова, А. С. Российские цифровые экосистемы в сегменте b2c: текущее состояние и перспективы развития / А. С. Шишкова, В. В. Макаров // Вестник СПбГУТ. – 2025. – Т. 3, № 3. – EDN LFRGFM.
5. Знакомство с проектом стандарта «ИСО 9001-2025 Системы менеджмента качества. Требования и руководство по применению» // BOK. URL: <https://efqm-rus.ru/znakomstvo-s-proektom-standarta-iso-9001-2025-sistemy-menedzhmenta-kachestva-trebovaniya-i-rukovodstvo-po-primeneniyu/#toggle-id-1-closed> (Дата обращения: 23.04.2026).
6. Искусственный интеллект для ESG-задач: 8 главных вопросов // SKOLKOVO. URL: <https://www.skolkovo.ru/card/iskusstvennyj-intellekt-dlya-resheniya-esg-zadach-8-glavnyh-voprosov/> (Дата обращения: 25.04.2026).
7. Новая версия стандарта ISO 9001-2026. Разбор пунктов. Система менеджмента качества. Требования // Линко. URL: <https://linco.ru/Blog/C?N=194> (Дата обращения: 23.04.2026).
8. Betito A.D.R., Sario J.A., Dela Cruz M.D., Labalan E.L. Strategic integration of artificial intelligence in total quality management: A model for sustainable transformation in Philippine higher education // TPM – Testing, Psychometrics, Methodology in Applied Psychology. 2025. Vol. 32, № S9. P. 1-8.
9. Chen Y. Research on the Impact of Artificial Intelligence on Corporate ESG Ratings // Accounting and Corporate Management. 2024. Vol. 6, № 5. P. 43. DOI: 10.23977/acccm.2024.060507.
10. Gueorguiev T. An approach to integrate Artificial Intelligence in ISO 9001-based quality management systems // Measurement: Sensors. – 2025. – Vol. 38. – P. 101787. – DOI: 10.1016/j.measen.2024.101787.
11. Liu Y., Song J., Zhou B., Liu J. Artificial intelligence applications and corporate ESG performance // International Review of Economics & Finance. 2025. Vol. 104. P. 104559. DOI: 10.1016/j.iref.2025.104559.
12. Sarker S., Nihat M.B.M. AI-Powered Quality Assurance and MIS Analytics: Building Resilient and Intelligent Digital Economies // The Eastasouth Journal of Information System and Computer Science. 2025. Vol. 3, № 2. P. 179190. DOI: 10.58812/esiscs.v3i02.767.
13. AI and Sustainability are Turning Quality Management Upside Down // IPW. URL: <https://ipwsystems.com/insights/ai-and-sustainability-are-turning-quality-management-upside-down> (Accessed: 25.04.2026).
14. ISO 9001:2025, A Transition Preparation Guide for Quality Management Systems // Robere & Associates (R&A). URL: <https://robere.co.id/iso-90012025-transition-guide/> (Accessed: 23.04.2026).
15. The Future of Quality Management Systems: Trends for 2025 // Compliance Quest. URL: <https://www.compliancequest.com/cq-guide/qms-latest-trends/> (Accessed: 23.04.2026).

ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ, ПРИНИМАЕМЫМ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМ ЖУРНАЛЕ «ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СЕРВИСА»

К публикации принимаются материалы научно-технического содержания по актуальным проблемам техники и технологии сервиса машин, приборов и инженерных систем жилищно-коммунального хозяйства, бытового обслуживания, дизайна, экологии, личного и общественного транспорта, не предназначенные для публикации в других изданиях.

Материалы, публикуемые в журнале, должны обладать несомненной новизной, относиться к вопросу проблемного назначения, иметь прикладное значение и теоретическое обоснование и быть оформлены по соответствующим правилам (см. <http://unecon.ru/zhurnal-ttps>).

Материалы для публикации должны сопровождаться: электронной версией статьи, представленной в формате редактора Microsoft Word (отправленной по e-mail).

Статья должна содержать следующие реквизиты:

- индекс универсальной десятичной классификации литературы (УДК);
- название статьи на русском и английском языках;
- фамилию имя отчество автора (авторов) полностью с указанием должности, звания, телефона и электронного адреса;

- полное наименование организации с указанием почтового индекса и адреса;
- аннотацию из 10 – 30 слов на русском и английском языках;
- 3 – 7 ключевых слова или словосочетания на русском и английском языках;
- текст статьи (8 – 15 страниц (14 пт.), номера страниц не указываются) на русском языке;
- литература (библиографические ссылки даются в конце текста в порядке упоминания по основному тексту статьи, в тексте в квадратных скобках указывается порядковый номер). Внутритекстовые, подстрочные и затекстовые библиографические ссылки (списки литературы) должны оформляться в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 – 2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

Статья представляется в электронном виде (на электронном носителе или высылается электронной почтой по адресу: GregoryL@yandex.ru).

При оформлении статьи должны соблюдаться следующие требования.

При наборе текста используется шрифт TimesNewRoman. Интервал текста кратный, без дополнительных интервалов. Лишние пробелы между словами не допускаются. Форматирование текста (выравнивание, отступы, переносы, интервалы и др.) должно производиться автоматически.

Иллюстрации представляются в графических редакторах MSWindows. Все иллюстрации сопровождаются подрисовочными подписями (не повторяющими фразы-ссылки на рисунки в тексте), включающими номер, название иллюстрации и при необходимости – условные обозначения.

Рисунки выполняются в соответствии со следующими требованиями:

- масштаб изображения – наиболее мелкий (при условии читаемости);
- буквенные и цифровые обозначения на рисунках по начертанию и размеру должны соответствовать обозначениям в тексте статьи;
- размер рисунка – не более 15х20 см;
- текстовая информация и условные обозначения выносятся из рисунка в текст статьи или подрисовочные подписи.

Иллюстрации (диаграммы, рисунки, таблицы) могут быть включены в файл текста или быть представлены отдельным файлом.

Все **графики, диаграммы** и прочие встраиваемые объекты должны снабжаться числовыми данными, обеспечивающими при необходимости их (графиков, диаграмм и пр.) достоверное воспроизведение.

Формулы должны быть созданы в редакторе формул MS Equation. Защита формул от редактирования не допускается. Формулы следует нумеровать в круглых скобках, например, (2). Величины, обозначенные латинскими буквами, а также простые формулы могут быть набраны курсивом. Все латинские буквы в формулах выполняются курсивом, греческие и русские – обычным шрифтом, функции – полужирным обычным.

Термины и определения, единицы физических величин, употребляемые в статье, должны соответствовать действующим национальным или международным стандартам.

На последней странице рукописи должны быть подписи всех авторов. Статьи студентов, соискателей и аспирантов, кроме того, должны быть подписаны научным руководителем.

Редакция не ставит в известность авторов об изменениях и сокращениях рукописи, имеющих редакционный характер и не затрагивающих принципиальных вопросов.

Итоговое решение об одобрении или отклонении представленного в редакцию материала принимается редакционным советом и является окончательным.

Журнал зарегистрирован
в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и
массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации –
ПИ № ТУ 78-01571 от 12 мая 2014 г.

Журнал входит в Российский индекс научного цитирования
http://elibrary.ru/title_about.asp?id=28520.

Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны
быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание
ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук
по следующим научным специальностям и соответствующим им отраслям науки,
по которым присуждаются ученые степени:

- 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта (технические науки);
- 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономические науки);
- 5.2.6. Менеджмент (экономические науки).

Электронная версия журнала расположена по адресу:
<https://unecon.ru/nauka/izdaniya/zhurnal-tehniko-tehnologicheskie-problemy-servisa/e-version/>

Журнал по подписке через предприятия связи не распространяется.
Свободная цена.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Технико-технологические проблемы сервиса
№3(77)/2026

Подписано в печать 09.07.2026 г. Дата выхода в свет 17.07.2026 г. Формат 60 x 84 ¹/₈. Бумага офсетная. Гарнитура TimesNewRoman. Печать офсетная. Объем 12,5 п.л. Тираж 500 экз. Заказ № 640

Адрес издателя и типографии: 191023, Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, д. 30-32, литер А
Отпечатано на полиграфической базе СПбГЭУ