



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.025.4

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-3-11>

Методика выбора дорожно-строительной техники в условиях недостатка информации



Петр СМЕРНОВ



Борис СУББОТИН



Олег ПИКАЛЕВ

Петр Ильич Смирнов¹, Борис Сергеевич Субботин², Олег Николаевич Пикалев³

^{1,3} Вологодский государственный университет, Вологда, Россия.

² Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия.

¹ ORCID 0000-0002-9405-7248; Web of Science Researcher ID: AEH-5042-2022; Scopus Author ID: 57209334364; РИНЦ SPIN-код: 4575-7032; РИНЦ Author ID: 715866.

² ORCID 0000-0003-1685-082X; Scopus Author ID: 57210937421; РИНЦ SPIN-код: 5281-7511; РИНЦ Author ID: 677084.

³ ORCID 0000-0002-7328-5073; Scopus Author ID: 57218557725; РИНЦ SPIN-код: 3411-3297; РИНЦ Author ID: 408420.

✉ ¹ smirnovpi@vogu35.ru.

АННОТАЦИЯ

В концепции оценки эффективности техники в рамках полного жизненного цикла (ЖЦ) выбор модели – один из определяющих факторов.

Цель данной работы обосновать применение усовершенствованной авторами методики оценки конкурентоспособности и качества техники применительно к дорожно-строительным машинам, предлагаемой к использованию для выбора машин в условиях частичной неопределенности и недостатка информации.

В статье методологически обоснованы блоки оценки

техники на стадии выбора, приводятся результаты исследований изменения стоимости дорожно-строительных машин на вторичном рынке в Российской Федерации, предлагаются оценочные подходы к определению качества и работоспособности продукции, а также приводится итоговый алгоритм с формированием интегральной оценки по единичным показателям конкурентоспособности. Методологически предлагаемый метод может быть интересен при оценке других типов и классов техники при аналогичных условиях оценки.

Ключевые слова: транспортно-технологические машины, дорожно-строительная техника, оценка качества, конкурентоспособность машин.

Для цитирования: Смирнов П. И., Субботин Б. С., Пикалев О. Н. Методика выбора дорожно-строительной техники в условиях недостатка информации // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 3 (112). С. 92–100. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-3-11>.

Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.
English translation of the full text of the article is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

В современной отечественной и зарубежной научно-исследовательской литературе достаточно широко рассматриваются частные вопросы оценки качества, производительности и конкурентоспособности техники в целом и дорожно-строительных машин (ДСМ) в частности.

В работе [1] сравниваются экономические показатели использования гидравлических и канатных экскаваторов в шахтах России. Установлено, что стоимость владения канатным экскаватором ЭКГ-12К меньше по сравнению с гидравлическими экскаваторами. В работе [2] разработаны показатели эффективности копания гидравлическим экскаватором и создано программное обеспечение для их расчета. В [3] исследуется стратегия эксплуатации группы машин для балансировки расхода топлива и производительности, а также определены оптимальные параметры для минимизации эксплуатационных расходов. В работе [4] анализируется применение ДСМ для завершения крупных государственных проектов, таких как проект ирригационной системы Kaleswaram Lift и проект Polavaram. Результаты мониторинга работы с каменными дробилками и карьерами, а также анализ технических характеристик машин, помогают оптимизировать маркетинговые стратегии продажи экскаваторов и погрузчиков. В [5] выбираются наиболее эффективные модели землеройно-транспортных машин для условий грунтов Республики Казахстан. Исследование [6] анализирует эволюцию методов оценки конкурентоспособности машин и оборудования, выявляя их применимость в современных рыночных условиях.

В исследовании [7] описывается опыт компании PT Citra Mitra Sehati, занимающейся добычей полезных ископаемых открытым способом в районе Улок Купай, Бенгкулу, Индонезия. Используемое оборудование, включая экскаватор Dossan Dx 500 и десять самосвалов Hino 700, имеет высокий уровень износа, что снижает производительность и увеличивает эксплуатационные расходы. Исследование направлено на сравнение использования старого и нового оборудования с учетом экономических параметров. Результаты показывают, что новое оборудование более эффективно в производстве, при этом имеются значительные различия в стоимости

обслуживания и производства продукции между старым и новым оборудованием. В работе [8] обсуждается важность диагностики состояния оборудования и управления его жизненным циклом для минимизации дополнительных затрат и времени, связанных с непредвиденными поломками. Анализ стоимости жизненного цикла экскаватора 320С за период с 2010 по 2017 год позволяет определить оптимальное время замены оборудования и его стоимость владения.

В статье [9] освещены результаты анализа текущего состояния и направлений развития сектора дорожно-строительного оборудования в России на рубеже 2023 года. Исследование базируется на изучении статистической информации, а также на разработках, реализованных Институтом проблем транспорта Российской академии наук, Научно-производственной компанией «НТМТ» и кафедрой автомобильных дорог Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета в различные периоды, дополненных сведениями, полученными из интернета. В статье подчеркивается, что ключевая проблема отечественной отрасли дорожного строительства кроется в значительном износе оборудования, достигающем 50 %, главной причиной чего является недостаточно высокий уровень его обновления.

Авторы работы [10] обсуждают важность производительности дорожных машин как критерия, связывающего все этапы жизненного цикла дорог и машин. Исследование направлено на определение связи между объемами работ и производительностью дорожных машин, используемых на объектах. Цель статьи заключалась в анализе технической, эксплуатационной и фактической производительности машин при эксплуатации на конкретных объектах.

В статье [11] рассматривается вопрос об эффективности эксплуатации дорожных машин, основной акцент делается на системе технической эксплуатации. В качестве основного недостатка текущего подхода отмечается отсутствие учета объемов выполняемых работ при поддержании технического состояния машин, что считается необходимым для более эффективной эксплуатации машин. Статья [12] нацелена на выявление связи между жизненными циклами машин и дорог. Обсуждаются факторы, влияющие на формирование парков дорожных машин с учетом



особенностей эксплуатации и обновления техники. Предлагается новый подход к формированию парков машин на основе обратной связи между жизненным циклом дороги и машины, что может улучшить эффективность и рациональность использования оборудования.

В современной практике эксплуатации дорожной техники многие прежние задачи потеряли свою научную значимость [13]. Это обусловлено внедрением новейших нормативов, развитием CALS-технологий, внедрением передовых систем мониторинга и усилиями по автоматизации процессов работы. В этой связи возникает необходимость в переоценке и структурировании научных вопросов, связанных с изучением жизненного цикла дорожных машин. Для анализа применяются математическое моделирование, анализ влияющих факторов и оценки экспертов. В области дорожного строительства активно используются отраслевые методики и система ЭРА-ГЛОНАСС. Проведенное исследование подчеркивает ключевые аспекты современной системы жизненного цикла дорожной техники и выделяет специфику их изучения. Рекомендации и внедрение мониторинговых систем в дорожной технике способствуют научным разработкам. В статье предложены методы решения актуальных научных проблем, учитывающие новые тренды в эксплуатации дорожной техники, что способствует более точному и обоснованному формулированию научных задач.

Статья [14] исследует изменения в потребительских качествах дорожно-строительных машин с 1993 по 2018 годы. В исследовании, основанном на экспертных оценках различных источников, отмечается, что за последние 25 лет изменились требования к машинам, особенно под воздействием экономических кризисов. В начале рассматриваемого периода больше ценились характеристики, связанные с формированием парков машин и обеспечением работоспособности. С развитием рынка стали важнее качества, определяющие эффективность использования машин при растущих объемах строительства.

Статья [15] обсуждает необходимость оценки эффективности эксплуатации автомобилей в агропромышленном комплексе (АПК) и предлагает многокритериальную модель для этой цели. Основное свойство

модели – объективность, которая достигается без использования экспертных оценок. В статье [16] также представлено «дерево решений» для системы оценки качества автотранспортных средств, которое помогает упорядочить поиск решений.

В статье [17] описывается новый подход к определению предпочтений потребителей при выборе дорожно-строительной техники среди доступных на рынке вариантов. Он основан на применении одной из математических стратегий для многокритериальной оптимизации – метода районирования – и заключается в анализе всех возможных комбинаций приоритетов по оценочным характеристикам. Использование данной методики значительно улучшает понятность и точность оценок. Эффективность метода демонстрируется на примере анализа технического уровня бульдозеров и сравнении полученных данных с оценками, сделанными с помощью одного из классических подходов, – экспертного кластерного анализа по значимым эксплуатационным характеристикам.

В связи с этим нами ставится следующая *цель* данного исследования: предложить усовершенствованную методику оценки ДСМ по технико-экономическим показателям, пригодную для применения как для техники с близкими до степени смещения техническими характеристиками, так и в случае частичной или ограниченной информации о результатах эксплуатации (новые или свежие модели), также относительно свободную от субъективных оценок лица, принимающего решения.

РЕЗУЛЬТАТЫ. ПРЕДЛАГАЕМАЯ МЕТОДОЛОГИЯ

За основу методики оценки ДСМ по технико-экономическим показателям были взяты методологические подходы для легковых автомобилей, рассмотренные в диссертационной работе П. И. Смирнова [18] и апробированные для лесозаготовительной и грузовой техники [19; 20]. Процесс покупки дорожно-строительной машины аналогичен инвестированию в производственные активы, что отражает ключевые интересы коммерческих структур, нацеленных на приобретение ДСМ для своих операционных потребностей.

Этот подход позволяет рассматривать выбор, приобретение и эксплуатацию ДСМ с учетом экономических принципов и крите-

риев, которые обычно используются при оценке эффективности инвестиционных проектов. При определении наиболее подходящей модели ДСМ для конкретных условий эксплуатации основное внимание уделяется технико-экономическим параметрам машин. К этой категории относятся технические характеристики, влияющие на эффективность использования техники, а также показатели, связанные с затратами на ее эксплуатацию.

В начальной фазе оценки ДСМ эти параметры группируются по критериям, позволяющим собрать их в единую аналитическую категорию (по типу, назначению, наличию дополнительного оборудования и прочим характеристикам).

При выборе дорожно-строительной машины для коммерческого применения внутри организации критическим аспектом, наряду с соответствием технических параметров установленным стандартам, является сравнение «полезного эффекта от использования» с затратами на его получение в течение всего жизненного цикла (ЖЦ) оборудования.

Этот принцип является ключевым для оценки уровня конкурентоспособности ДСМ с точки зрения предлагаемого набора технико-экономических характеристик.

1. *Эффективность использования*: относится к способности машины выполнять требуемые работы с максимальной производительностью и минимальными временными затратами.

2. *Эксплуатационные расходы*: включают в себя все затраты на обслуживание, ремонт, смазочно-заправочные материалы в течение всего ЖЦ техники.

3. *Надежность и долговечность*.

4. *Остаточная стоимость*: представляет собой оценку стоимости машины по окончании ее эксплуатационного периода, которая может существенно влиять на общую экономическую выгоду от ее использования.

5. *Удобство и безопасность эксплуатации*: подразумевают оценку того, насколько удобно и безопасно работать с данной машиной, что также может повлиять на производительность труда и затраты на обучение персонала.

Выбор ДСМ с учетом этих параметров позволяет организациям максимизировать возврат инвестиций и обеспечить высокую конкурентоспособность на рынке.

Это условие определяет оценку уровня конкурентоспособности по технико-экономическим показателям:

$$P_{\Sigma} / Z_{\Sigma} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где P_{Σ} – полезный эффект от эксплуатации ДСМ на всем ЖЦ;

Z_{Σ} – совокупные затраты на достижение полезного эффекта на всем ЖЦ.

В дальнейшем это отношение будем обозначать как интегральный показатель качества продукции по технико-экономическим показателям – $\kappa_{\text{ГЭП}}$.

$$\kappa_{\text{ГЭП}} = P_{\Sigma} / Z_{\Sigma}. \quad (2)$$

Для оценки экономической выгоды от использования дорожно-строительных машин в качестве основы используется методика, разработанная С. В. Репиным. Этот подход предполагает не только применение интегрального показателя для сравнения ДСМ по их технико-экономическим характеристикам, но и расчет удельных затрат на выполнение определенного объема работы. Такие затраты выражаются через удельные расходы на единицу транспортной работы, обозначаемые как $Z_{\text{уд}}$, с предпочтением использования показателя в рублях за час работы машины.

Расчет удельных затрат на единицу работы может осуществляться на основе реального жизненного цикла машины, либо на основе условного ЖЦ при условии, что отсутствуют эксплуатационные данные, например, предполагая 10000 часов работы машины. Этот подход позволяет более объективно сравнивать различные модели ДСМ и принимать взвешенные решения при выборе наиболее подходящего оборудования с учетом его экономической эффективности в долгосрочной перспективе.

Наш подход к анализу дорожно-строительных машин на этапе сравнения их по технико-экономическим показателям включает возможность применения дополнительного аналитического модуля. Этот модуль предназначен для детализированной оценки по отдельным специфическим критериям, которые могут быть критически важны в определенных условиях эксплуатации или для конкретных предпочтений потребителя. К таким критериям относятся, например, параметры двигателя, тяговые характеристики, особенности рабочей зоны, грузоподъемность, уровень удобства и эргономичности рабочего места оператора,



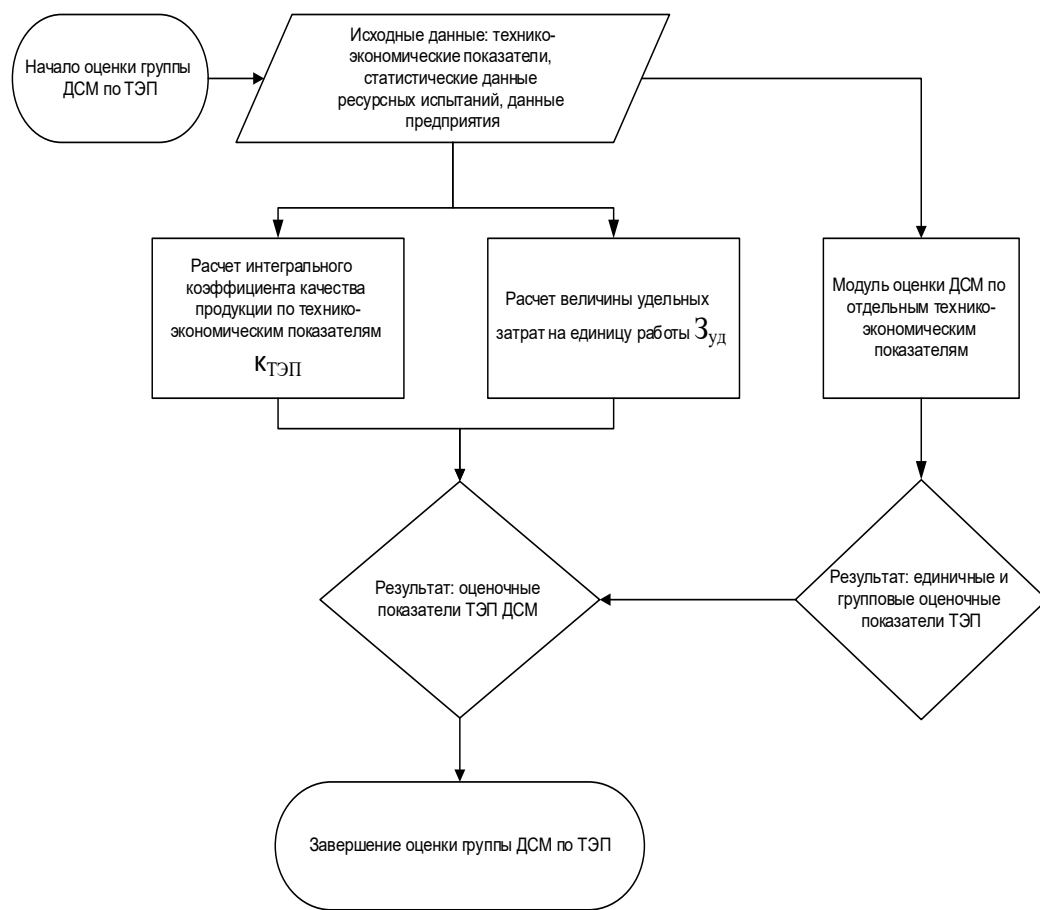


Рис. 1. Блок-схема оценки анализируемых ДСМ по ТЭП [разработана авторами].

а также спецификации отдельных важных узлов машины.

Оценки по этим критериям формируются на основе сравнительного анализа доступных вариантов ДСМ. Для объективного сравнения и выбора наилучшего варианта при наличии нескольких схожих альтернатив и в условиях ограниченной информации или неопределенности, предлагается использовать метод районирования. Этот метод был дополнительно усовершенствован А. В. Терентьевым [21] и позволяет эффективно решать многокритериальные задачи выбора, оптимизируя процесс принятия решений в сложных условиях.

Введение такого дополнительного модуля позволяет углубленно анализировать каждый аспект предлагаемой техники, учитывая уникальные требования и предпочтения потребителя, что делает процесс выбора ДСМ более целенаправленным и обоснованным.

Включение дополнительных критериев оценки и применение математических мето-

дов для интеграции этих результатов в общий интегральный показатель – это значительный шаг вперед в методологии анализа и выбора дорожно-строительных машин. Такой подход позволяет не только уменьшить субъективизм, который часто сопровождает процесс оценки, но и повысить объективность и достоверность при определении уровня конкурентоспособности различных моделей ДСМ.

Интегральный технико-экономический показатель качества продукции, обозначаемый как $K_{ТЭП}$, играет ключевую роль в этом процессе, так как он суммирует различные аспекты эффективности использования машин в одно обобщенное числовое выражение. Это позволяет потребителям и организациям делать обоснованный выбор на основе сравнения максимальной отдачи от инвестированных средств.

Однако, как и любой комплексный метод, предложенный подход требует доступа к обширным и точным данным о технических параметрах, эксплуатационных расходах

и потенциальном доходе от использования техники, а также умения корректно интерпретировать эту информацию в контексте специфических условий эксплуатации. Это может представлять собой некоторый вызов, особенно для новых моделей ДСМ, по которым может не быть достаточного объема эксплуатационных данных.

Блок-схема предлагаемого метода оценки ДСМ по технико-экономическим показателям приведена на рис. 1, алгоритм проведения расчета $\kappa_{\text{тэп}}$ и $З_{\text{уд}}$ для оценки ДСМ на стадии принятия решения о приобретении приведен далее.

Первый шаг. Создание базы данных для изучаемой группы дорожно-строительных машин на основе информации из интернет-ресурсов и экспериментальных данных, полученных от пользователей и эксплуатантов.

Второй шаг. Для расчета и определения суммарных затрат на эксплуатацию дорожно-строительных машин на протяжении всего их жизненного цикла необходимо рассчитать следующие составляющие статьи для определения общих затрат $З_{\text{сумм}}$:

$С_{\text{ДСМ}}$ – стоимость техники в рублях;
 $З_{\text{единовр}}$ – первоначальные затраты при приобретении, в рублях;

$З_{\text{пост.год}}$ – условно постоянные годовые затраты, в рублях за год;

$T_{\text{исп}}$ – число лет использования в рассматриваемом ЖЦ, в годах;

$З_{\text{ТО}}$ – затраты на техническое обслуживание, в рублях;

$N_{\text{рт}}$ – усредненная норма расхода топлива, в литрах за час работы;

$С_{\text{топл}}$ – стоимость топлива, в рублях за литр;

$З_{\text{кред}}$ – выплаты по кредиту, лизинговые платежи, в рублях;

$L_{\text{общ}}$ – величина предполагаемой наработки или величина, равная наработке условного ЖЦ.

Третий шаг. Определяем итоговые суммарные затраты на эксплуатацию ДСМ на всем ЖЦ:

$$З_{\text{пост.год}} \times T_{\text{исп}} + З_{\text{ТО}} + \frac{N_{\text{рт}} \times L_{\text{общ}} \times C_{\text{топл}}}{100} + З_{\text{кред}}, \text{ руб.} \quad (3)$$

Четвертый шаг. Расчет удельных затрат: $З_{\text{уд}} = З_{\text{сумм}} / L_{\text{общ}}$, руб./час. (4)

Пятый шаг. Расчет полезного эффекта от эксплуатации ДСМ на всем ЖЦ P_{Σ} . В качестве последнего берется одна из указанных ниже величин в руб./час:

$D_{\text{ком.экспл}}$ – удельная величина предполагаемого дохода от коммерческой эксплуатации определяется в рублях за час работы;

$D_{\text{альт}}$ – удельный альтернативный доход определяется как разница между стоимостью услуг по предоставлению организации ДСМ в аренду и прогнозными затратами на собственные машины, приведенная к одному часу работы ДСМ.

Значение последнего определяется решением системы (5):

$$\begin{cases} D_{\text{альт}} = \sum Q_{\text{аренда}}(t) - \sum Q_{\text{собств}}(t) \\ D_{\text{альт}} > 0, \text{ если } t \in [t_{\text{окуп}} \dots t_{\text{службы}}] \\ t_{\text{окуп}} < t_{\text{службы}} \end{cases} \quad (5)$$

Шестой шаг. Расчет отдельных составляющих затрат на достижение полезного эффекта на всем ЖЦ ДСМ $З_{\Sigma}$:

$З_{\text{о}}$ – затраты на оплату труда;

$З_{\text{топл}}$ – затраты на топливо;

$З_{\text{зчр}}$ – приобретение запчастей и шин;

$З_{\text{экспл}}$ – затраты на эксплуатационные материалы;

$З_{\text{тр}}$ – затраты на ТО и ремонт;

$З_{\text{н}}$ – накладные расходы;

$З_{\text{кред}}$ – выплаты по кредиту, лизинговые платежи;

$D_{\text{пр}}$ – стоимость продажи ДСМ при эксплуатации до предельного состояния может быть принята равной ликвидационной стоимости или с учетом применения математической модели изменения остаточной стоимости, приведенной в работе далее.

Седьмой шаг. Расчет совокупных затрат на достижение полезного эффекта на всем ЖЦ ДСМ $З_{\Sigma}$:

$$З_{\Sigma} = З_{\text{о}} + З_{\text{т}} + З_{\text{зчр}} + З_{\text{экспл}} + З_{\text{тр}} + З_{\text{н}} + З_{\text{кред}} - D_{\text{пр}}, \text{ руб.} \quad (6)$$

Восьмой шаг. Расчет интегрального показателя по ТЭП $\kappa_{\text{тэп}}$:

$$\kappa_{\text{тэп}} = (P_{\Sigma} \times L_{\text{общ}}) / З_{\Sigma} \quad (7)$$

Девятый шаг. Запись рассчитанных значений $З_{\text{уд}}$ руб./час и $\kappa_{\text{тэп}}$ в итоговую таблицу оценки ДСМ. При необходимости переход к оценке следующего ДСМ из анализируемой группы (переход на второй шаг).

В приведенной выше методике представляет особенный интерес величина $D_{\text{пр}}$ – стоимости продажи ДСМ при эксплуатации до предельного состояния, которая может быть принята равной ликвидационной стоимости или рассчитана по полученным математическим моделям. Для их нахождения был выпол-



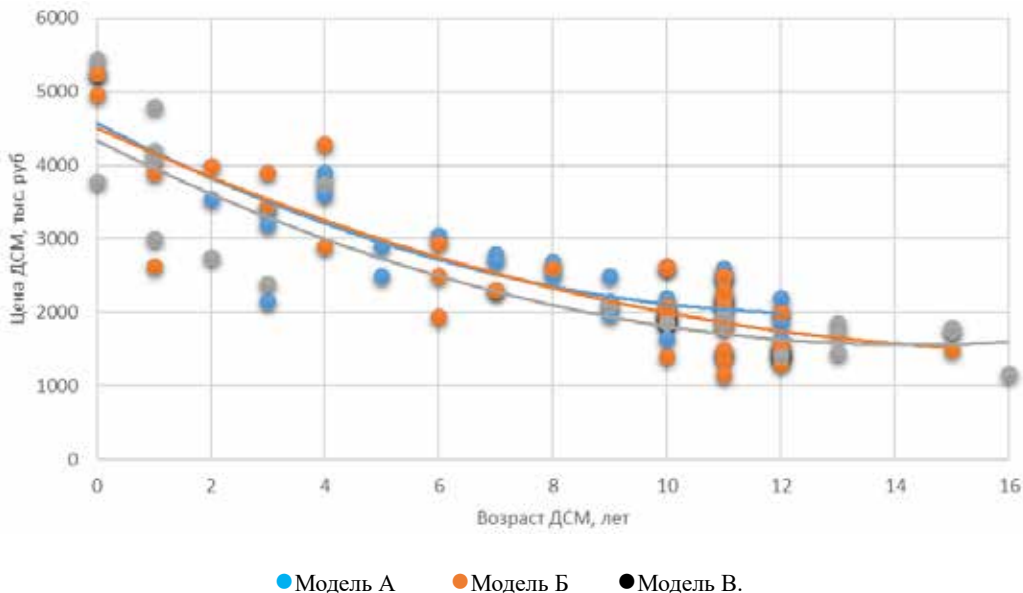


Рис. 2. Регрессионные модели изменения стоимости погрузчиков грузоподъемностью 3 тонны [разработаны авторами].

Таблица 1

Математические модели изменения стоимости ДСМ

Модель	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации
А	$y = 15.794x^2 - 404.68x + 4576.9$	$R^2 = 0.7117$
Б	$y = 10.492x^2 - 356.58x + 4512.4$	$R^2 = 0.7606$
В	$y = 13.598x^2 - 388.92x + 4337.8$	$R^2 = 0.8171$

нен анализ статистических данных. Для расчета были использованы данные таких агрегаторов объявлений как Avito, excavator.ru, Avto.ru. Анализировались предложения о продаже трех фронтальных колесных по-

грузчиков китайских производителей грузоподъемностью 3–5 т от новых и до самых возрастных предложений, одновременно фиксировалась цена и наработка в моточасах при наличии о ней сведений.

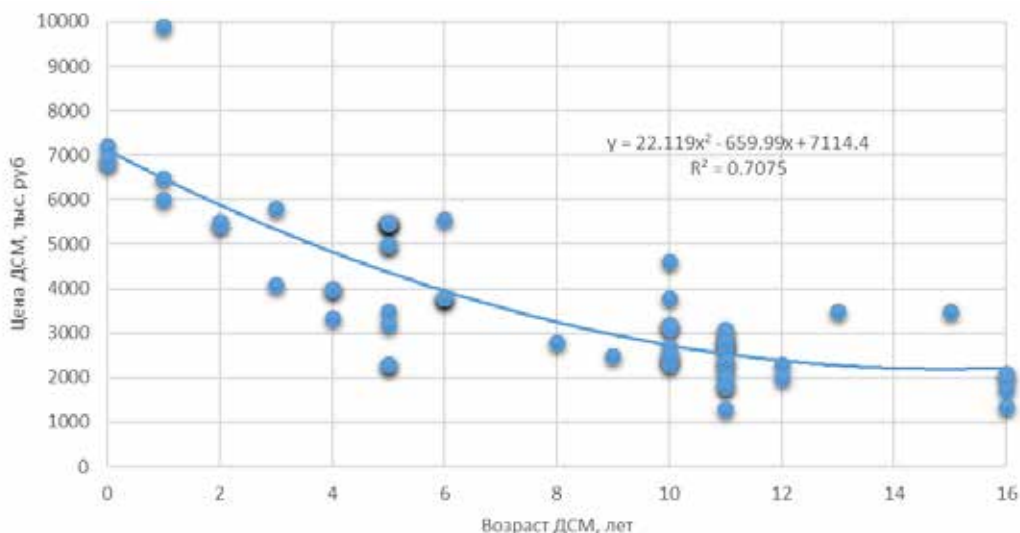


Рис. 3. Регрессионная модель изменения стоимости погрузчиков грузоподъемностью пять тонн [разработана авторами].

На основании собранных данных были получены статистические зависимости стоимости ДСМ на вторичном рынке от их возраста, представленные на рис. 2. При этом существует ясное понимание того, что понятия «цена» на порталах объявлений о продаже техники и реальная стоимость техники на вторичном рынке могут зачастую значительно отличаться. При этом отчасти это ограничение компенсируется как объемом собранных записей, так и особенностью портала объявлений *excavator.ru*, у которого записи о проданной технике уходят в архив с возможностью просмотра. Записи из архива, как правило, учитывают снижение заявленной продавцом стоимости в процессе экспозиции объявления на сайте и поэтому гораздо ближе к реальной стоимости продажи техники на вторичном рынке. В общей доле статистической информации доля таких объявлений порядка 34 %.

Для собранных статистических данных о стоимости техники были рассчитаны регрессионные модели (см. таблицу 1), для которых были получены достаточно значимые коэффициенты детерминации R^2 . Наибольшее значение $R^2 = 0.8171$ было получено на данных о стоимости погрузчиков модели В грузоподъемностью три тонны ввиду наибольшего объема собранных данных.

Аналогичная модель построена для погрузчиков фирмы «В» грузоподъемностью пять тонн, представленная на рис. 3. Регрессионная модель для них имеет вид: $y = 22.119x^2 - 659.99x + 7114.4$ при коэффициенте детерминации $R^2 = 0.7075$.

Кроме того, при сборе данных фиксировались записи о наработке техники, что позволило получить дополнительные достаточно интересные результаты. Так для погрузчиков грузоподъемностью 3–5 тонн фирмы «В» средняя наработка в моточасах на год эксплуатации составила 921 моточас/год, для модели «Б» – 780 моточасов/год и для модели «А» – 674 моточаса/год.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Как показал анализ статистических данных по стоимости ДСМ на примере погрузчиков разных брендов производства КНР, характер изменения стоимости у них аналогичен и не показывает значительной разницы в зависимости от конкретного производителя и модели. Построенные для них кривые

и модели аналогичны полученным С. В. Репиным для ДСМ европейских и американских производителей [21].

При этом, если еще несколько лет назад в аналогичных исследованиях, проводимых авторами, техника производства КНР по сравнению с ДСМ европейских и американских фирм производителей с первого года сильно теряла в стоимости на вторичном рынке, то сейчас мы этого не обнаруживаем.

При этом, несмотря на отсутствие различий в динамике снижения стоимости ДСМ на вторичном рынке между погрузчиками разных фирм производства КНР, было обнаружено, что средняя наработка в моточасах/год для погрузчиков одной из марок на 15 и на 27 % больше, чем у погрузчиков двух других фирм. По нашему мнению, последний факт может говорить о потенциальной возможности эксплуатировать технику более интенсивно, а также о меньших сроках поставки запасных частей и, возможно, о потенциально более высоком качестве техники.

Предложенный расчетный метод может быть использован при оценке ДСМ производителей, о продукции которых еще мало фактической информации в части ходимости узлов и агрегатов и ремонтпригодности ДСМ в целом.

Таким образом, предлагаемая нами методика, суть которой приведена на рис. 1 и в алгоритме выше, с учетом использования результатов статистических исследований по стоимости техники на вторичном рынке может использоваться при выборе ДСМ для приобретения с учетом существующей неопределенности и отсутствия эксплуатационных данных и данных о ресурсе и ходимости агрегатов. Отдельного внимания заслуживает блок оценки стоимости и наличия запасных частей для техники, что будет рассмотрено авторами в отдельном исследовании.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Анистратов К. Ю., Лукичев С. В., Исаченков А. Б. Сравнительный анализ эффективности использования канатных и гидравлических экскаваторов // Горный журнал. – 2020. – № 12. – С. 74–78. DOI: 10.17580/gzh.2020.12.17.
2. Janosevic, D., Mitrev, R., Andjelkovic, B., Petrov, P. Quantitative measures for assessment of the hydraulic excavator digging efficiency. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, 2012, Vol. 13, pp. 926–942. DOI: 10.1631/jzus. A1100318.
3. Wang, F., Wen, Q., Xu, X., Xu, B., Sun, Z. Site Operation Strategy for Wheel Loader/Truck Loading and Transportation Cycle. *IEEE Transactions on Vehicular*





Technology, 2021, Vol. 70, Iss. 5, pp. 4129–4138. DOI: 10.1109/TVT.2021.3070394.

4. Akhil, P. V. G. N. H., Madiraju, S., Ravi Kiran K., R., Deepthi, Y. P. Proliferation of Market Share of Hydraulic Excavators and Wheel Loaders in the Stone Crusher Segment by Strategic Decisions. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 2020, Vol. 9, Iss. 1, pp. 947–951. DOI: 10.35940/ijrte.A2163.059120.

5. Сурашов Н. Т., Толымбек Д. Н. Разработка комплексных показателей и оценка эффективности землеройно-транспортных машин отвалного типа // *Вестник СибАДИ*. – 2022. – Т. 19. – № 6. – С. 814–827. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-6-814-827.

6. Ivashkiv, T. Evolution of methods of estimation of machines and equipment is on competitiveness. *Market Infrastructure*, 2022, Iss. 6, pp. 3–7. DOI: 10.32843/miinfrastruct66-1.

7. Rachman, F. A., Zaenal, Iswandar. Kajian Teknis dan Ekonomis dalam Merencanakan Penggantian Alat Angkut pada Pengupasan Overburden Penambangan Batubara PT Citra Mitra Sehati Site Job PT Cakra Bumi Pertiwi di Kecamatan Ulok Kupai, Kabupaten Bengkulu Utara, Provinsi Bengkulu. *Bandung Conference Series: Mining Engineering*, 2023, Vol. 3, Iss. 1, pp. 232–238. DOI: 10.29313/bcsme.v3i1.6778.

8. Enyindah, N. C., Amadi, R. K. Using Diagnosis and Life Cycle Cost to Improve Reliability of an Excavator. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 2019, Vol. 4, Iss. 3, pp. 21–26. DOI: 10.24018/ejeng.2019.4.3.1107.

9. Ануфриев К. А., Репин С. В. Анализ состояния рынка строительной техники на начало 2023 года // *Мехатроника, автоматика и робототехника*. – 2023. – № 11. – С. 127–132. DOI: 10.26160/2541-8637-2023-11-127-132.

10. Грушецкий С. М., Евтюков С. А., Кузнецов А. А. Определение технической и эксплуатационной производительностей дорожных машин на основе анализа объёмов работ // *Научно-технический вестник Брянского государственного университета*. – 2021. – № 1. – С. 38–52. EDN: EPLQOA.

11. Грушецкий С. М., Евтюков С. А., Репин С. В., Каро Г. А. Производительность как качественный критерий оценки эффективности всех этапов системы жизненного цикла дорожных машин // *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. – 2020. – № 4 (63). – С. 36–43. EDN: PJSSPR.

12. Евтюков С. А., Репин С. В., Грушецкий С. М., Каро Г. А. Формирование парка машин для строительства, реконструкции, ремонта и содержания автомобильных дорог с учетом этапов их жизненного цикла // *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. – 2020. – № 3 (62). – С. 62–69. EDN: EFBFJF.

13. Евтюков С. А., Репин С. В., Грушецкий С. М., Каро Г. А. Научные задачи исследования жизненного

цикла дорожных машин в современных условиях // *Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета*. – 2020. – Т. 17. – № 4 (74). – С. 442–451. DOI: 10.26518/2071-7296-2020-17-4-442-451.

14. Максимов С. Е., Репин С. В., Зызыкин А. В., Чечуев В. Е. Анализ рынка дорожно-строительных машин в России и эволюция потребительских качеств этих машин // *Строительные и дорожные машины*. – 2019. – № 7. – С. 3–12.

15. Мирзаев Р. Р., Терентьев А. В. Методы оценки качества транспортных машин, эксплуатируемых в агропромышленном комплексе // *Чтения академика В. Н. Болтинского*, Москва, 25–26 января 2022 года. Том Часть 2. – М.: ООО «Сам полиграфист», 2022. – С. 20–26.

16. Мирзаев Р. Р., Карелина М. Ю., Терентьев А. В., Сидоров Б. Б. Структура иерархической многокритериальной системы оценки качества транспортных машин, эксплуатируемых в агропромышленном комплексе // *Международный технико-экономический журнал*. – 2022. – № 2. – С. 45–53. EDN: ORIHCS.

17. Мейке У. Н., Терентьев А. В., Добромиров В. Н. Исследование возможности применения метода районирования для выбора дорожно-строительных машин // *Строительные и дорожные машины*. – 2022. – № 6. – С. 26–31. EDN: CGIMXE. [ограниченный доступ].

18. Смирнов П. И. Методика оценки конкурентоспособности легковых автомобилей // *Наука в современном информационном обществе: Материалы VII международной научно-практ. конференции*, North Charleston, USA, 09–10 ноября 2015 года / н.-и. ц. «Академический». Том 1. – North Charleston, USA: CreateSpace, 2015. – С. 130–133. EDN: UTTIDF.

19. Коржавский А. Н., Смирнов П. И. Разработка методики определения эффективного срока эксплуатации лесозаготовительной техники АО «ЛПК «Кипелово» // *Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы Международной научно-техн. конференции молодых ученых*, Могилев, 28–29 октября 2021 года / *Редколлегия: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]*. – Могилев: Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет», 2021. – С. 114. EDN: BXSPRG.

20. Соколов Л. Ю., Смирнов П. И. Разработка методики формирования оптимального парка техники АО «ЛПК «Кипелово» // *Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы Международной научно-техн. конференции молодых ученых*, Могилев, 28–29 октября 2021 года / *Редколлегия: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]*. – Могилев: Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет», 2021. – С. 119. EDN: FWBDBF.

21. Терентьев, А. В. Научно-методический подход к многокритериальной оценке срока эксплуатации автомобиля / *Дисс. ... докт. техн. наук*. – М.: МАДИ, 2018. – 303 с.

Информация об авторах:

Смирнов Петр Ильич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство» Вологодского государственного университета, Вологда, Россия, smirnovpi@vogu35.ru.

Субботин Борис Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Детали машин и теории механизмов» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ); доцент кафедры энергоресурсоэффективных технологий, промышленной экологии и безопасности Российского государственного университета им. А. Н. Косыгина, Москва, Россия, subbotin-bs@rguk.ru.

Пикалев Олег Николаевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Автомобили и автомобильное хозяйство» Вологодского государственного университета, Вологда, Россия, pikalevon@vogu35.ru.

Статья поступила в редакцию 27.02.2024, одобрена после рецензирования 25.05.2024, принята к публикации 29.05.2024.