

УДК 625.76.08

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-2-220-233>

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО ПАРКА НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

С.Ч. Монгуш,

ФГБОУ ВО «Тувинский государственный университет» (ТувГУ),

г. Кызыл, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В связи с развитием жилищного и транспортного строительства в Республике Тыва прогнозируется недостаток мощности парка наземных транспортно-технологических машин. Состояние машин с течением времени изменяется и не в лучшую сторону. Работоспособность и производительность техники снижается, а затраты на проведение мероприятий по поддержанию ее в рабочем состоянии постоянно увеличиваются. Поэтому понятно стремление к безотказной работе машин и к увеличению продолжительности их использования. Каждое предприятие заинтересовано в эффективном применении имеющейся машинной техники, а в эксплуатационном – тем более, так как эффективность ее использования является целью работы такого предприятия.

Материалы и методы. Для улучшения работоспособности и увеличения производительности техники, уменьшения затрат на мероприятия по техническому обслуживанию и ремонту ее в данной статье разработана методика оптимизации процесса формирования парка наземных транспортно-технологических машин в Республике Тыва по стратегическому плану развития строительства. Данная методика состоит из трех блоков – «Анализ регионального парка наземных транспортно-технологических машин», «Моделирование процессов обновления парка наземных транспортно-технологических машин» и «Исследование процессов обеспечения работоспособности парка наземных транспортно-технологических машин».

Результаты. Результатом моделирования является формулировка рекомендаций по обновлению парка наземных транспортно-технологических машин и по формированию системы обеспечения работоспособности парка наземных транспортно-технологических машин с учетом планируемого обновления.

Обсуждение и заключение. Получены расчетные соотношения для оценки убытков предприятий вследствие недостаточной укомплектованности наземными транспортно-технологическими машинами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: наземные транспортно-технологические машины, работоспособность, укомплектованность, моделирование, техническое обслуживание, капитальный ремонт, оптимизация, коэффициент готовности, предприятие, обновление парка машин, эксплуатация.

БЛАГОДАРНОСТИ. Автор выражает благодарность рецензентам статьи.

Поступила 24.12.2019, принята к публикации 24.04.2020.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Монгуш С.Ч. Оптимизация процесса формирования регионального парка наземных транспортно-технологических машин. Вестник СибАДИ. 2020; 17 (2): 220-233. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-2-220-233>

© Монгуш С.Ч.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-2-220-233>

OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF FORMING A REGIONAL EQUIPMENT FLEET OF GROUND TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES

Syldys Mongush,

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“the Tuvan State University”,
Kyzyl, Russia*

ABSTRACT

Introduction. Due to the development of building and transport construction in the Republic of Tuva, a lack of capacity of an equipment fleet of ground transportation and technological machines is predicted. The condition of cars changes eventually and not for the better. The operability and productivity of equipment decreases, and the costs of measures to maintain it in working condition are constantly increasing. Therefore, the desire for failure-free operation of machines and to increase the duration of its use is understandable. Each enterprise is interested in the efficient use of the current machinery, and operational - especially since the efficiency of its use is the goal of such an enterprise.

Materials and methods. To improve the working capacity and increase the productivity of the equipment, to reduce the costs of maintenance and repair activities a methodology of optimizing the process of forming an equipment fleet of ground transportation and technological machines in the Republic of Tuva has been developed in this article. The methodology consists of three blocks - “The analysis of a regional equipment fleet of ground transportation and technological machines”, “Modeling the processes of updating the equipment fleet of ground transportation and technological machines” and “Research on processes to ensure the operability of the equipment fleet of ground vehicles transport and technological machines”.

Results. The modeling result is the formulation of recommendations on updating the equipment fleet of ground transportation and technological machines and on the formation of a system for ensuring the operability of the equipment fleet of ground transportation and technological machines considering the planned update.

Discussion and conclusion. Estimated ratios are obtained for assessing the losses of enterprises due to insufficient equipment level of ground transport and technological machines.

KEYWORDS: ground transport and technological machines, operating capacity, equipment level, modeling, maintenance, major repair, optimization, operation ratio, enterprise, equipment fleet renewal, operation.

ACKNOWLEDGEMENTS. The author expresses his gratitude to the reviewers of the article.

Submitted 24.12.2019, revised 24.04.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Mongush S. Optimization of the process of forming a regional equipment fleet of ground transport and technological machines. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (2): 220-233. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-2-220-233>

© Mongush S.



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Программа развития Республики Тыва (РТ)¹ предусматривает интенсивное развитие жилищного и транспортного строительства² [1], что подтверждается данными Тывастата. На рисунке 1 показана динамика роста общего жилого фонда с 2008 по 2017 г. Коэффициент динамики роста F представляет собой отношение общего жилого фонда в конкретный год к данному показателю 2008 г.

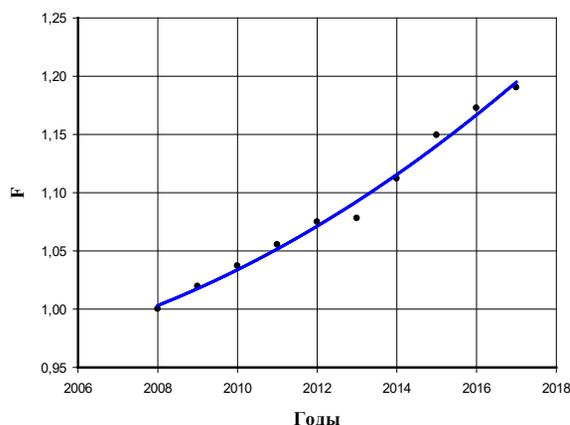


Рисунок 1 – Динамика роста общего жилого фонда

Figure 1 – Growth dynamics of total housing stock

Несмотря на положительную динамику в работе [2, 3] отмечено, что плановые показатели выше фактических примерно в полтора раза. К причинам такого отставания относятся:

- недостаточная мощность парка наземных транспортно-технологических машин (НТТМ);
- высокая степень изношенности (более 60 % машин с истекшим сроком службы) и простои машин, связанные с их неработоспособностью (до 40 % фонда рабочего времени);
- отсутствие координации работ между строительными предприятиями РТ;
- отсутствие оценки в потребности НТТМ по типам и размерному ряду;
- слабое развитие предприятий, осуществляющих техническое обслуживание и ремонт, вследствие ограничения инвестиций.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для устранения этих причин была разрабо-

тана методика оптимизации процесса формирования парка НТТМ в РТ. Схема данной методики представлена на рисунке 2.

Основу методики составляют три блока [2, 4, 5]:

- анализ регионального парка НТТМ;
- моделирование процессов обновления парка НТТМ;
- исследование процессов обеспечения работоспособности парка НТТМ.

Основными результатами выполнения мероприятий, заложенных в первом блоке, являются итог сопоставления плановых объемов работ на предстоящий период с имеющимися мощностями парка НТТМ на текущий момент и результаты расчетов о необходимости наращивания мощности парка машин [6, 7].

Второй блок включает в себя четыре модели, описывающие процессы обновления парка машин. Необходимо отметить, что помимо приобретения новой техники в методике предусмотрена возможность покупки подержанных машин и машин после капитального ремонта. Это связано с тем, что, как показывает практика, объем финансирования, выделяемый на покупку новой техники, может составлять около 50 % от требуемого объема [2, 8]. Результатом моделирования, заложенного во втором блоке, является формулировка рекомендаций по обновлению парка НТТМ.

Третий блок направлен на формулировку рекомендаций по формированию системы обеспечения работоспособности парка НТТМ с учетом планируемого обновления. Существенная роль в мероприятиях данного блока отводится информационной автоматизированной системе управления технической эксплуатации.

При реализации процесса обновления парка НТТМ сопоставление различных вариантов должно проводиться с обеспечением минимума капитальных вложений Z, что описывается следующим соотношением [2, 3]:

$$Z = C_m \cdot X_{\text{пок}} + C_{\text{нн}_i}(t) \cdot X_{\text{нн}} - \sum C_{\text{пр}_i}(t) \cdot X_{\text{пр}_i} + Z_{\text{кр}_i}(t) \cdot X_{\text{кр}} - C_{\text{лик}_i}(t) \cdot X_{\text{сп}} \rightarrow \min., \tag{1}$$

где i – возрастные группы НТТМ;
C_м – стоимость новой машины, руб.;

¹ Стратегия социально-экономического развития Республики Тыва до 2020 года. Одобрена постановлением Правительства Республики Тыва от 30 января 2012 г. № 28.

² Транспортная стратегия Республики Тыва до 2030 года. Утверждена постановлением Правительства Республики Тыва от 28 марта 2018 г. № 136.

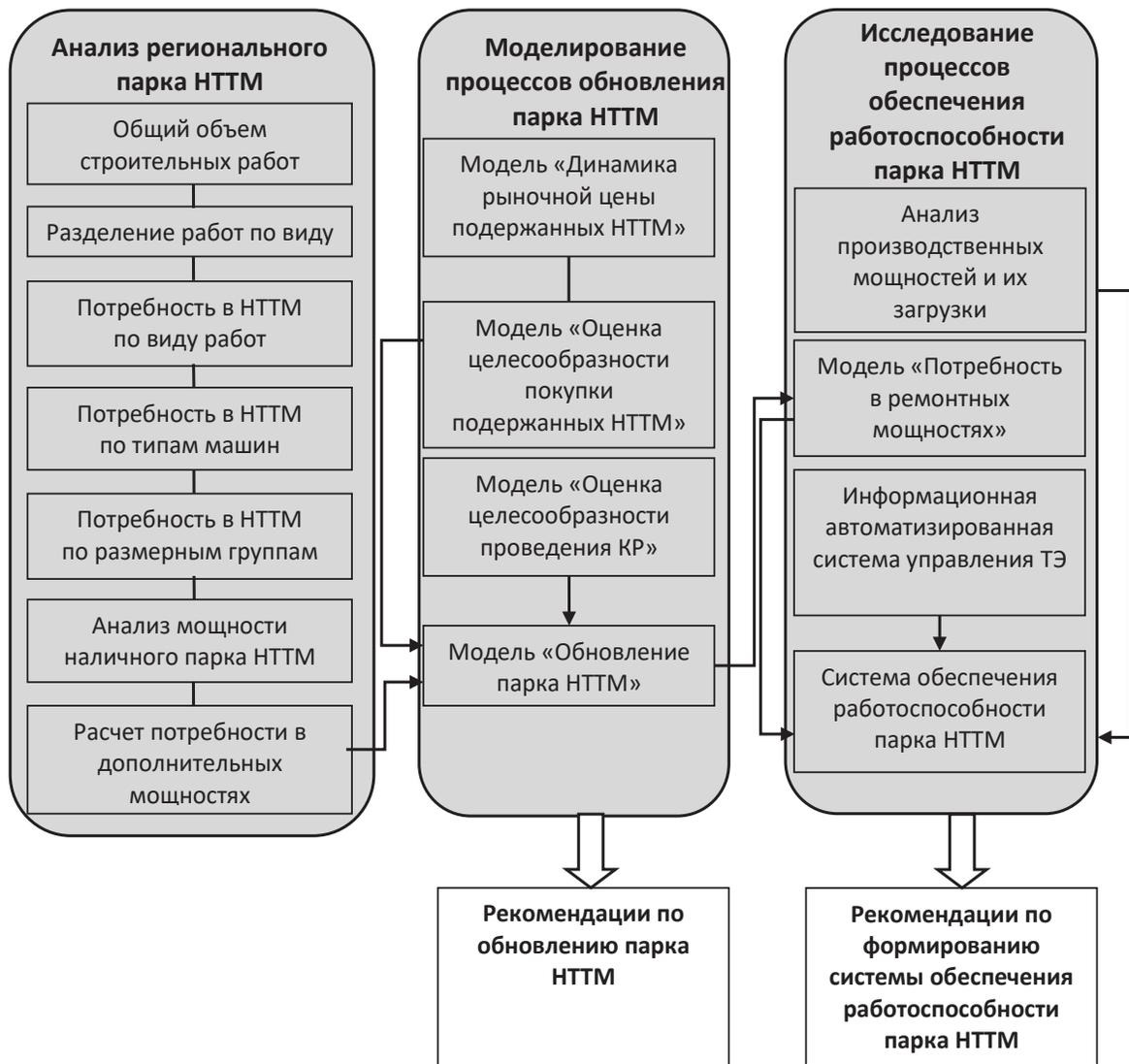


Рисунок 2 – Схема методики оптимизации процесса формирования парка наземных транспортно-технологических машин

Figure 2 – Diagram of a methodology for optimizing the process of forming a fleet equipment of ground transportation and technological machines

- стоимость машин разных возрастных групп, руб.;
- цена машин разных возрастных групп при их продаже, руб.;
- стоимость машин при их ликвидации, руб.;
- затраты на капитальный ремонт машин разных возрастных групп, руб.;
- $X_{\text{пок}}$ – количество новых купленных машин;
- $X_{\text{нн}}$ – количество машин, приобретенных на вторичном рынке;
- количество машин различных возрастных групп;

- $X_{\text{кр}}$ – количество машин, находящихся в ремонте;
- $X_{\text{сп}}$ – количество машин, предназначенных к списанию.

Разбиение парка машин на возрастные группы осуществляется с использованием коэффициента готовности (K_r), который характеризует техническое состояние как конкретной машины, так и всего парка. В процессе старения машин величина K_r изменяется по экспоненциальному закону [1]:

$$K_r(t) = \exp(-\beta_t \cdot t); t = 1, 2 \dots t_c, \quad (2)$$

где β_t – коэффициент, характеризующий скорость старения машин по наработке, мес.⁻¹, год⁻¹;

t_c – продолжительность эксплуатации машин до момента их списания, месяцы, годы.

При формировании возрастных групп используются следующие исходные данные:

- минимальное значение коэффициента готовности K_{rmin} , определяющее возраст списания машины t_c ;
- шаг изменения ΔK или количество групп N .

Для разбиения парка НТТМ по возрастным группам непрерывная функция изменения $K_r(t)$ представляется в дискретном виде по интервалам времени эксплуатации t . Чаще используется прием разбиения с постоянным шагом ΔK по оси K_r (рисунок 3). При таком подходе в рамках одной возрастной группы оказываются машины с практически одинаковым техническим состоянием [9, 10].

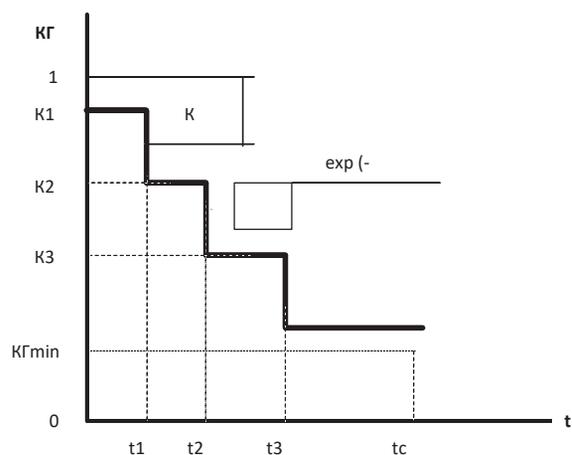


Рисунок 3 – Разбиение парка НТТМ на возрастные группы

Figure 3 – The subdivision of the ground transportation and technological machines (GTTM) equipment fleet into age groups

Количество возрастных групп N при заданном значении ΔK определяется из соотношения

$$N = \frac{1 - K_{rmin}}{\Delta K} . \quad (3)$$

Значение коэффициента готовности для i -й возрастной группы

$$K_{ri} = 1 - \frac{\Delta K}{2} - \Delta K \cdot (i - 1). \quad (4)$$

Временные границы для возрастных групп определяются из соотношения

$$t_i = \frac{-\ln(1 - i \cdot \Delta K)}{\beta_t}, \text{ мес.} \quad (5)$$

Далее будет представлено описание моделей, входящих во второй и третий блоки.

МОДЕЛЬ «ДИНАМИКА РЫНОЧНОЙ ЦЕНЫ ПОДЕРЖАННЫХ НТТМ»

Для анализа динамики изменения стоимости НТТМ была взята совокупная информация с различных сайтов продажи строительной техники для некоторых строительных машин. Регрессионный анализ показал, что для всех типов машин изменение розничной стоимости от их возраста достаточно хорошо описывается степенной зависимостью следующего вида:

$$K_M(t) = K_{M0} \cdot \exp(-\beta_c \cdot t), \quad (6)$$

где K_{M0} – стоимость новой машины, руб.;

β_c – коэффициент, определяющий динамику уменьшения цены с увеличением возраста машины – коэффициент старения по стоимости, мес.⁻¹, год⁻¹;

t – возраст машины, месяцы, годы.

В таблице 1 приведены результаты регрессионного анализа.

Скорости изменения стоимостей для разных строительных машин отличаются друг от друга. Самое медленное обесценивание с возрастом характерно для экскаваторов и бульдозеров. Для них коэффициент β_c имеет минимальное значение, а срок службы – максимален. Наиболее быстрыми темпами теряет свою стоимость кран КС-35715 на базе шасси МАЗа, для которого коэффициент β_c максимален. На рисунках 4 и 5 представлены временные зависимости стоимостей экскаватора ЕК-12 и крана КС-35715.

Использование экспоненциальной зависимости для прогнозирования цены поддержанных машин не означает, что конечная их цена с течением длительного времени будет нулевой. Значение остаточной стоимости поддержанной техники не должно опускаться ниже стоимости металлолома и годных ее деталей, что по статистике составляет до 10 % от балансовой стоимости машины.

Таблица 1
Динамика уменьшения стоимости различных НТТМ; t, годы

Table 1
The dynamics of reducing the cost of various GTTM; t, years

Вид строительной техники	Стоимость машины, млн. руб.	Коэффициент корреляции
Кран КС-55713	$K_M(t) = 5,528 \cdot e^{-0,13 \cdot t}$	0,986
Бульдозер Komatsu D65	$K_M(t) = 10,906 \cdot e^{-0,13 \cdot t}$	0,979
Экскаватор JCB 3CX	$K_M(t) = 3,634 \cdot e^{-0,10 \cdot t}$	0,987
Экскаватор ЕК-12	$K_M(t) = 2,410 \cdot e^{-0,13 \cdot t}$	0,981
Экскаватор ЭО-5126	$K_M(t) = 5,341 \cdot e^{-0,22 \cdot t}$	0,96
Кран КС-35715 на базе шасси МАЗа	$K_M(t) = 5,167 \cdot e^{-0,36 \cdot t}$	0,957
Бульдозер Б10 (ЧТЗ 10т)	$K_M(t) = 4,647 \cdot e^{-0,012 \cdot t}$	0,980

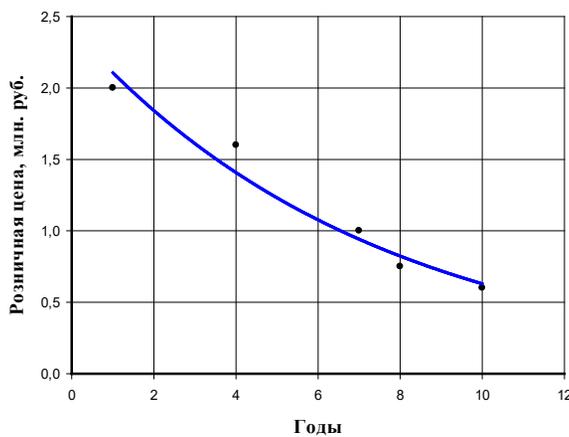


Рисунок 4 – Временная зависимость стоимости экскаватора ЕК-12

Figure 4 – Time dependence of the cost of the excavator EK-12

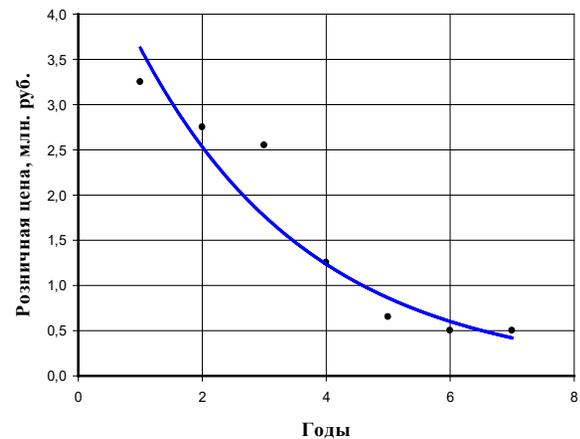


Рисунок 5 – Временная зависимость стоимости крана КС-35715

Figure 5 – Time dependence of the cost of the crane KC-35715

МОДЕЛЬ «ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПОКУПКИ ПОДЕРЖАННЫХ НТТМ»

Целесообразность приобретения подержанной машины оценивается через себестоимость машино-часа работы $C_{мч}$, которая в упрощенном виде определяется по соотношению³ [11, 12]:

$$C_{мч_i}(t) = \sum_i \{ [A_i(t) + A_{кр_i}(t) + Z_i + Z_{ПЭБ_i} + Z_{ВС_i} + H_i + Z_{пр}] + [Z_{ГСМ_i}(t) + Z_{ТОР_i}(t) + Z_{пер_i}] \}, \quad (7)$$

где i – номер единицы НТТМ в парке;

$A_i(t)$ – амортизационные отчисления на обновление парка НТТМ;

$A_{кр_i}(t)$ – амортизационные отчисления на КР;

Z_i – зарплата операторов машин;

$Z_{ПЭБ_i}$ – затраты на содержание производственно-эксплуатационной базы;

$Z_{ВС_i}$ – отчисления в вышестоящую организацию, учредителям и т.п.;

H_i – налоги;

³System For Providing Fuel Efficiency Information Of Construction Machinery. United States Patent. Patent No.: US 9.446.769 B2. Date of Patent: Sep. 20. 2016.

Z_{np} – прочие отчисления (страховка, проценты по кредитам, лизинговые платежи, платежи за разрешения, техосмотры и пр.);

$Z_{ГСМ_i}(t)$ – затраты на ГСМ и рабочие жидкости;

$Z_{ТОиР_i}(t)$ – затраты на ТОиР, в том числе на запасные части и детали, которые быстро изнашиваются;

$Z_{пер_i}$ – затраты на перебазировку техники.

Первое слагаемое в формуле (7), стоящее в квадратных скобках, представляет собой условно-постоянные затраты $Z_{пост}(t)$. Эти затраты не зависят от количества отработанных машино-часов за расчетный период. Но существует зависимость $Z_{пост}(t)$ от возраста машин. Второе слагаемое в квадратных скобках формулы (7) является переменными затратами $Z_{пер}(t)$. Они возрастают пропорционально отработанным машино-часам.

Оценка целесообразности покупки подержанных НТТМ осуществляется путем сопоставления эксплуатационных показателей новой и аналогичной покупаемой подержанной машины. Для последней важны срок эксплуатации до покупки и экономическая целесообразность проведения КР [13, 14, 15, 16].

Последовательность расчета эксплуатационных показателей новой машины, то есть эксплуатируемой на предприятии с момента покупки, представлена в таблице 2.

Таблица 2
Эксплуатационные показатели новой машины за месяц

Table 2
Operational characteristics of a new machine for a month

Показатель	Формула
Эксплуатационные затраты, руб. в мес.	$Z_э(t) = Z_{э0} \cdot \exp(\beta_z \cdot t)$
Амортизационные отчисления, руб. в мес.	$A = K_{M0} \cdot \frac{E_H}{12}$
Условно-постоянные затраты, руб. в мес.	$Z_{пост} = A + 3$
Фактические затраты, руб. в мес.	$Z_ф(t) = Z_э(t) + Z_{пост}$
Коэффициент готовности за месяц	$K_r(t) = \exp(-\beta_t \cdot t)$
Наработка за текущий месяц, маш.-час.	$T(t) = T1 \cdot K_r(t)$
Месячная выручка, руб.	$B(t) = T(t) \cdot Ц_{мч}$
Прибыль за месяц, руб.	$P(t) = B(t) - Z_ф(t)$
Себестоимость машино-часа, руб.	$C_{мч}(t) = \frac{Z_ф(t)}{T(t)}$
Прибыль за машино-час, руб.	$P_{мч}(t) = Ц_{мч} - C_{мч}(t)$
Уровень рентабельности машино-часа работы	$R_{мч}(t) = \frac{P_{мч}(t)}{C_{мч}(t)}$

В таблице 2 приняты следующие обозначения:

$E_H = 0,12$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

3 – зарплата оператора машины, руб.;

β_t и β_z – коэффициенты, описывающие динамику изменений по наработке и затратам, соответственно, мес.⁻¹;

$Z_{э0}$ – эксплуатационные затраты новой машины, руб. в мес.;

T1 – наработка машины за первый месяц, машино-час.;

$Ц_{мч}$ – цена машино-часа, руб.

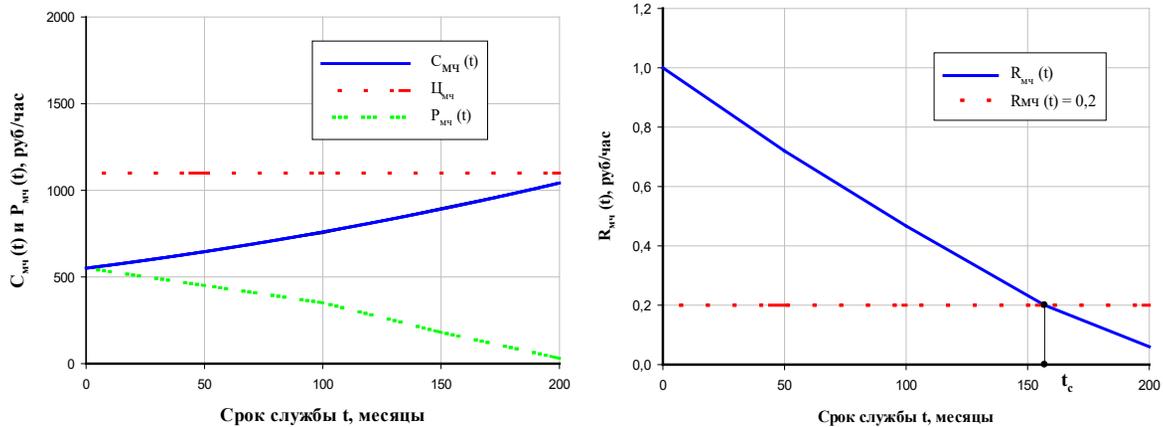


Рисунок 6 – Экономические показатели эксплуатации и срок службы экскаватора ЭО-4124

Figure 6 – Economic operational characteristics and excavator service life ЭО-4124

Уровень рентабельности машино-часа работы НТТМ может быть использован в качестве критерия экономической целесообразности при определении срока службы машины. Как видно из таблицы 2, рентабельность и прибыль определяются разностью между ценой $\Pi_{\text{мч}}$ и себестоимостью $C_{\text{мч}}(t)$ машино-часа. Для расчета экономических показателей с использованием соотношений, приведенных в таблице 2, была разработана программа в пакете MathCAD. На рисунке 6, а представлены результаты расчета экономических показателей экскаватора ЭО-4124 (по данным [17]). Рисунок 6, б поясняет процедуру определения срока службы машины по минимальному уровню рентабельности 20 %.

По величине расчетного срока службы t_c экскаватора ЭО-4124, который в данном случае составил 157 мес., определяется (соотношение $K_r(t)$ в таблице 2) величина минимального значения коэффициента готовности $K_{r\text{min}} = 0,73$, то есть в рамках одного расчета происходит увязывание экономических и технических характеристик НТТМ [16, 18]. Расчетное минимальное значение коэффициента готовности определяет предельное состояние

машины и показывает экономическую нецелесообразность ее дальнейшей эксплуатации. Поэтому по мере достижения $K_{r\text{min}}$ должен решаться вопрос о проведении капитального ремонта [19] или о списании машины [20].

Экономические показатели не новой машины определяются по тем же соотношениям, что и для новой машины (см. таблицу 2). Но при этом должны учитываться срок ее эксплуатации на момент покупки и соответствующая этому сроку стоимость машины⁴. Возможны отличия в коэффициентах β_t и β_z .

Сопоставление двух вариантов решения о покупке машины (новой и не новой) может проводиться по оптимальному сроку службы, для определения которого лучше использовать удельные затраты за машино-час $Z_{\text{уд}}$ (отнесенные к единице продукции), вычисляемые из соотношения [10]:

$$Z_{\text{уд}} = C + E_n \cdot K_{\text{уд}}, \quad (8)$$

где C – себестоимость единицы продукции, руб./ед. прод.;

$K_{\text{уд}}$ – удельные капитальные затраты, руб./ед. прод.

⁴ МДС 81–3.99 Методические указания по разработке сметных норм и расценок на эксплуатацию строительных машин и автотранспортных средств. – М: Госстрой России. Введены в действие с 01.01.2000. 52 с.

На рисунке 7 показаны временные зависимости удельных затрат двух вариантов приобретения машин $Z_1(t)$ и $Z_2(t)$ [10].

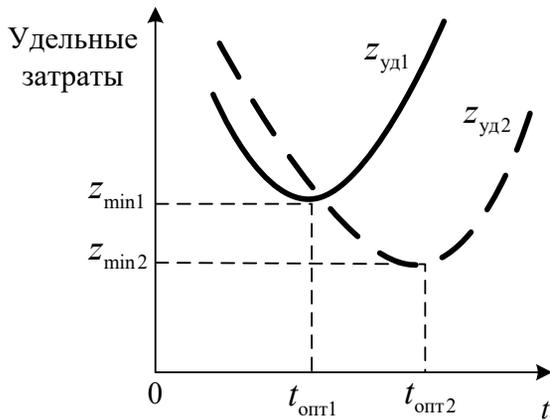


Рисунок 7 – Временные зависимости удельных затрат

Figure 7 – Time dependencies of unit costs

Минимум функции $Z(t)$ определяет оптимальный срок службы НТТМ. В данном случае предпочтение должно быть отдано второму варианту, обеспечивающему больший срок эксплуатации и меньшие затраты.

МОДЕЛЬ «ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА»

Капитальный ремонт представляет собой один из вариантов обновления парка НТТМ [2]. Целесообразность проведения КР должна быть оценена с экономической точки зрения. Модель «Оценка целесообразности проведения капитального ремонта» основана на сопоставлении изменений коэффициентов готовности $K_r(t)$ и «старения» по рыночной цене $K_m(t)$ в ходе эксплуатации, учитывающих затраты на проведение КР и его результаты.

Результатом проведения капитального ремонта является степень восстановления работоспособности машины $K_{кр}$. Изменение во времени данного показателя описывается следующим соотношением:

$$K_{кр}(t) = \exp(-\beta_{кр} \cdot t), \tag{9}$$

где $\beta_{кр}$ – коэффициент, определяющий динамику уменьшения $K_{кр}$ после капитальных ремонтов.

Если степень восстановления работоспособности в результате КР превышает отношение стоимости КР ($S_{кр}$) к стоимости новой машины $K_{м0}$, то его проведение является целесообразным с экономической точки зрения. То есть

$$K_{кр} \geq K_{СКР} = \frac{S_{кр}}{K_{м0}}. \tag{10}$$

На рисунке 8 проиллюстрирована процедура оценки целесообразности капитального ремонта.

Определяющими в данной процедуре являются зависимости $K_{кр}(t)$, $K_r(t)$ и $K_m(t)$. В качестве исходных данных используются значения коэффициентов β_c , β_t , $\beta_{кр}$, минимальное значение коэффициента готовности K_{rmin} , степень восстановления работоспособности машины после первого КР ($K_{кр1}$) и отношения $K_{СКР}$ для разных КР. Для конкретизации в рассматриваемом варианте приняты: $\beta_c = 0,12 \text{ мес}^{-1}$; $\beta_t = 0,25 \text{ мес}^{-1}$; $\beta_{кр} = 0,5 \text{ мес}^{-1}$; $K_{rmin} = 0,65$; $K_{кр1} = 0,85$; $K_{СКР1} = 0,6$ (здесь и далее цифры в индексе соответствуют номеру КР); $K_{СКР2} = 0,5$; $K_{СКР3} = 0,5$.

Время проведения КР определяется моментом достижения коэффициентом готовности своего минимального значения K_{rmin} . Степень восстановления работоспособности в результате проведения первого капитального ремонта КР1 (момент времени $t_{кр1}$) определяется величиной ΔK_r , соответствующей интервалу между линиями $K_{кр}(t)$ и $K_r(t)$, то есть $K_r(t_{кр1}) = K_{rmin} + \Delta K_r$. Это соответствует «омоложению» НТТМ на величину $\Delta t_{восст}$, что позволяет продолжать эксплуатацию машины до момента времени $t_{кр2}$.

Скачок ΔK_m определяется величиной $K_{СКР}$. Разность в интенсивностях старения НТТМ по техническому состоянию и рыночной стоимости машины (β_t и β_c) приводит к получению выгоды, в качестве которой выступает дополнительный срок службы Δt . Положительная величина Δt (как показано на рисунке 8) говорит об экономической целесообразности КР.

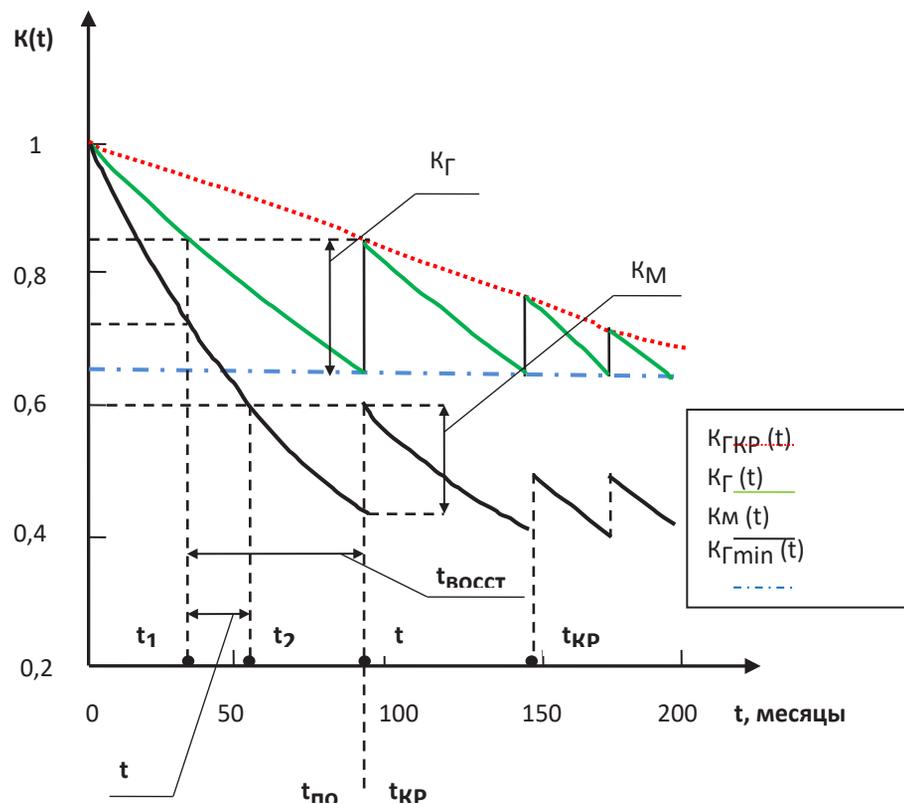


Рисунок 8 – К оценке целесообразности проведения КР

Figure 8 – On the assessment of the feasibility of a major repair (MR)

МОДЕЛЬ «ОБНОВЛЕНИЕ ПАРКА НТТМ»

Обновление парка НТТМ возможно путем использования следующих направлений [12, 21]:

- покупка новых отечественных или импортных машин;
- покупка машин, бывших в эксплуатации;
- проведение капитального ремонта собственной техники;
- продажа устаревших машин;
- списание техники, израсходовавшей свой ресурс;
- покупка не новой машины с последующим проведением КР;
- покупка не новой машины с последующим проведением КР для последующей ее продажи.

Как видим, большинство из данных вариантов попадают в рамки методик, описанных ранее. Исключение составляют два последних направления.

Выгодность покупки не новой машины с последующим проведением КР заключается

в следующем. Машина покупается в момент времени $t_{\text{пок}}$ по цене $K_{\text{М}}(t_{\text{пок}})$ (см. рисунок 8). Проводится капитальный ремонт, который обеспечивает возможность эксплуатации машины в течение времени $\Delta t_{\text{восст}}$. После этого машина продается по цене покупки. Условно-постоянные затраты владения машиной равняются стоимости КР. Полученная величина Δt получается практически бесплатным приращением срока службы.

Покупка не новой машины с проведением КР для ее последующей продажи связана с возможностью получения дополнительной прибыли, которая может быть использована для приобретения новой техники. Данное положение проиллюстрировано на рисунке 8. В момент времени t_3 покупается машина по стоимости $K_{\text{М}}(t_3)$. В проведение капитального ремонта вкладываются средства в размере $K_{\text{М}}(t_3 - t_2)$, после этого машина продается по цене $K_{\text{М}}(t_1)$. Величина прибыли составляет $K_{\text{М}}(t_2 - t_1)$.

Для горнодобывающих и строительно-дорожных предприятий чрезвычайно важен вопрос технической эксплуатации, используемой НТТМ. Эксплуатация зависит от степени надежности агрегатов машин и отдельных узлов. Надежность обеспечивается проведением их технического контроля. Это связано с материальными затратами, иногда очень значительными, так как стоимость запчастей для экскаваторов достаточно велика.

Для оптимизации процесса технического контроля важно знать и учитывать его многочисленные особенности, касающиеся разных вопросов, от природных, климатических факторов до технической компетенции и добросовестности персонала. Сегодня используют различные подходы для улучшения мониторинга технического состояния НТТМ.

Для обеспечения работоспособности и надежности техники применяют в основном планово-предупредительный ремонт – ППР. Для специализированной техники такой процесс достаточно сложен в части планирования и коррекции работ, трудоемок по расчету, и не всегда эффективен, что связано с системой организации обслуживания.

Вместо ППР целесообразнее применять непрерывный мониторинг надежности и работоспособности агрегатов машин и отдельных узлов, назвав его мониторингом системы ремонта. Такая система позволяет проводить непрерывный контроль техники, используя диагностические средства (различные датчики – температурные, вибрационные и др.).

Использование мониторинговой системы имеет преимущества, так как позволяет уменьшить трудоемкость диагностики, повысить ее надежность и точность. Кроме того, увеличится надежность соединений, так как будут исключены операции разъединения проводов, установки и подключения соответствующих датчиков. В результате применения системы повысится уровень безопасности и надежности эксплуатации техники, что скажется на технико-экономических параметрах НТТМ.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработана методика оптимизации процесса формирования парка НТТМ в Республике Тыва, состоящая из трех блоков – «Анализ регионального парка НТТМ», «Моделирование процессов обновления парка НТТМ» и

«Исследование процессов обеспечения работоспособности парка НТТМ». Результатом моделирования, заложенного во втором блоке, является формулировка рекомендаций по обновлению парка НТТМ. Третий блок направлен на формулировку рекомендаций по созданию системы обеспечения работоспособности парка НТТМ с учетом планируемого обновления.

2. Описана процедура разбиения парка машин на возрастные группы, которая осуществляется с использованием коэффициента готовности, характеризующего техническое состояние как конкретной машины, так всего парка НТТМ.

3. Получены расчетные соотношения для описания процесса изменения рыночной стоимости некоторых видов НТТМ. Данные соотношения составляют основу методики «Динамика рыночной цены подержанных НТТМ», входящей во второй блок методики «Оптимизации процесса формирования парка НТТМ».

4. Описана модель «Оценка целесообразности покупки подержанных НТТМ», основанная на использовании себестоимости машино-часа работы. Данная модель представляет собой одно из направлений формирования парка НТТМ. Сопоставление двух вариантов решения о покупке машины (новой и не новой) может проводиться по оптимальному сроку службы, для определения которого предложено использовать удельные затраты за машино-час.

5. Приведено описание модели «Оценка целесообразности проведения капитального ремонта», которая основана на сопоставлении изменений коэффициентов готовности и «старения» по рыночной цене в ходе эксплуатации, учитывающих затраты на проведение капитального ремонта и его результаты.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные расчетные соотношения для оценки убытков предприятий вследствие недостаточной укомплектованности НТТМ можно применять в строительных организациях и предприятиях Республики Тыва. И при оптимизации периодичности проведения ТОиР технических систем в качестве критерия можно использовать вероятность безотказной работы единиц НТТМ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Монгуш С.Ч., Евтюков С.А. Анализ проблем эксплуатации строительной техники в Республике Тыва // Вестник ТувГУ. Технические и физико-математические науки. Кызыл, 2018. Вып. III (38). С.84–89.
2. Репин С.В., Ховалыг Н-Д.К., Монгуш С.Ч. Оптимизация состава парка строительных машин на примере Республики Тыва // Технология колесных и гусеничных машин. Обзорно-аналитический и научно-технический журнал. 2015. №4(20). С. 56–64.
3. Чооду О.А. Развитие систем планово-предупредительного ремонта горных и транспортно-технологических машин // Вестник ТувГУ. Технические и физико-математические науки. Кызыл, 2019. № 3 (42). С. 37–49.
4. Винник А.И., Макаренко Н.Г., Шаргаев А.А. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта бронетанкового вооружения и техники // Вестник СибАДИ. 2016. № 4 (50). С. 7–13.
5. Чооду О.А. Эксплуатация горных транспортно-технологических машин на месторождениях полезных ископаемых на территории РТ // Вестник ТувГУ. Технические и физико-математические науки. Кызыл, 2014. № 3 (22). С.92–102.
6. Лапина Н.В. Исследование стойкости полимерных материалов, используемых при ремонте дорожно-строительных машин, к воздействию повышенных температур // Вестник МАДИ (Государственного технического университета). 2018. Выпуск 3 (54). С.50–54.
7. Салихов Р.Ф., Чудова Т.М., Валиев Р.Р. Повышение надежности строительных и дорожных машин путем совершенствования системы измерения наработки // Вестник СибАДИ. 2016. № 2 (48). С. 25–31.
8. Bhagavath Venkatesh Technical Efficiency Measurement by Data Envelopment Analysis: An Application in Transportation // Alliance Journal of Business Research. [Электронный ресурс]. URL: <http://ajbr.org/archives.htm>. (дата обращения 01.12.2018).
9. Zhukov I.A., Dvornikov L.T. New constructive solutions of anvil-blocks of percussion mining machines // North Charleston: Create Space. 2015.130 p.
10. Саая С-С.Ш., Шавыраа Ч.Д., Куулар О.О. Анализ производительности автосамосвалов Тувинской горнорудной компании // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 12 (107). С.181–184.
11. Репин С.В., Бакланова Т.В., Монгуш С.Ч. Экономические критерии функционирования парка строительных машин // Вестник ТувГУ. Технические и физико-математические науки. 2016. Вып. III (31). С. 114–121.
12. Ховалыг Н-Д.К. Разработка критериев целесообразности покупки машин со сроком эксплу-

атации // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 2. С. 243–245.

13. Абалаков А.Д., Шеховцов А.И., Лысанова Г.И., Новикова Л.С. Особенности проявления неблагоприятных природных процессов на территории Республики Тыва // Успехи современного естествознания. 2016. № 6. С. 132–137.

14. Шавыраа Ч.Д., Куулар О.О. Выбор технологических решений технического обслуживания и текущего ремонта автобусов г. Кызыла // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2018. № 2. С.31–35.

15. Манаков А.Л., Кирпичников А.Ю., Тюнюкова Т.К. Анализ направлений совершенствования технической эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов // Вестник ИрГТУ. 2015. №5 (100). С. 127–131.

16. Плавельский Е.П. Путь становления и дальнейшего развития технического регулирования как составной части управления качеством продукции машиностроения на примере подъемно-транспортных, строительных, дорожных, горных машин и спецавтотранспортных средств // Строительные и дорожные машины. 2019. № 3. С. 3–14.

17. Чооду О.А., Евтюков С.А. Основные причины отказов горных машин на территории Республики Тыва // Вестник ТувГУ. Технические и физико-математические науки. 2017. №3. С. 13–19.

18. Куулар О.О., Шавыраа Ч.Д. Применение экскаватора ЭКГ-5И в горнодобывающей промышленности Республики Тыва // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. Вып.6. С. 179–184.

19. Кутузов В.В., Максименко А.Н., Макацария Д.Ю. Организация эксплуатации строительных и дорожных машин с учетом их технического состояния // Вестник Белорусско-Российского университета. 2006. № 4 (13). С. 28–31.

20. Сандан Н.Т., Евтюков С.А., Монгуш С.Ч. Влияние морального износа на сроки службы машин // Успехи современной науки. 2017. Том 1, № 12. С.114–118.

21. Максимов С.Е., Репин С.В., Зазыкин 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.

REFERENCES

1. Mongush S.CH., Yevtyukov S.A. Analiz problem ekspluatatsii stroitel'noy tekhniki v Respublike Tyva [analysis of problems of construction equipment operation in the Republic of Tyva]. *Vestnik TuvGU. Tekhnicheskkiye i fiziko-matematicheskkiye nauki*. Kyzyl, 2018; Vyp. III (38): 84-89. (in Russian)
2. Repin S.V., Khovalyg N-D.K., Mongush S.CH. Optimizatsiya sostava parka stroitel'nykh mashin

na primere Respubliki Tyva [Optimization of the composition of the fleet of construction machines on the example of the Republic of Tuva]. *Tekhnologiya kolesnykh i gusenichnykh mashin. Obzorno-analiticheskiy i nauchno-tekhnicheskiy zhurnal*. 2015; 4(20): 56-64. (in Russian)

3. Choodu O.A., Mongush S.CH. *Razvitiye sistem obsluzhivaniya gornyykh i dorozhno-stroitel'nykh mashin* [Development of maintenance systems for mining and road-building machines]. Kyzyl: RIO TuvGU, 2018: 115. (in Russian)

4. Vinnik A.I., Makarenko N.G., Shargayev A.A. Sovershenstvovaniye sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta bronetankovogo vooruzheniya i tekhniki [Improvement of the system of maintenance and repair of armoured weapons and equipment]. *Vestnik SibADI*. 2016; 4 (50): 7-13. (in Russian)

5. Choodu O.A. Eksploatatsiya gornyykh transportno-tekhnologicheskikh mashin na mestorozhdeniyakh poleznykh iskopayemykh na territorii RT [Operation of mining transport and processing machines at mineral deposits in the territory of the Republic of Tuva]. *Vestnik TuvGU. Tekhnicheskkiye i fiziko-matematicheskkiye nauki*. Kyzyl, 2014; 3 (22): 92-102. (in Russian)

6. Lapina N.V. issledovaniye stoykosti polimernyykh materialov, ispol'zuyemykh pri remonte dorozhno-stroitel'nykh mashin, k vozdeystviyu povyshennykh temperatur [Study of resistance of polymer materials used in repair of road construction machines to high temperatures]. *Vestnik MADU (gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta)*. 2018; 3 (54): 50-54. (in Russian)

7. Salikhov R.F., Chudova T.M., Valiyev R.R. Povysheniye nadezhnosti stroitel'nykh i dorozhnykh mashin putem sovershenstvovaniya sistemy izmereniya narabotki [Improving the reliability of construction and road machines by improving the system of measurement of operating time]. *Vestnik SibADI*. 2016; 2 (48): 25-31. (in Russian)

8. Bhagavath, Venkatesh. Technical Efficiency Measurement by Data Envelopment Analysis: An Application in Transportation. *Alliance Journal of Business Research*. Available at: <http://ajbr.org/archives.htm>. (accessed 01.12.2018).

9. Zhukov I.A., Dvornikov L.T. New constructive solutions of anvil-blocks of percussion mining machines. North Charleston: Create Space. 2015: 130.

10. Saaya S-S.SH., Shavyraa CH.D., Kuular O.O. Analiz proizvoditel'nosti avtosamosvalov Tuvinskoy gornorudnoy kompanii [Performance analysis of dump trucks of the Tuva mining company]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2017; 12 (107):181-184. (in Russian)

11. Repin S.V., Baklanova T.V., Mongush S.CH. Ekonomicheskkiye kriterii funktsionirovaniya parka stroitel'nykh mashin [Economic criteria for the

functioning of the construction machinery fleet]. *Vestnik TuvGU. Tekhnicheskkiye i fiziko-matematicheskkiye nauki*. 2016; III (31):114-121. (in Russian)

12. Khovalyg N-D.K. Razrabotka kriteriyev tselesoobraznosti pokupki mashin so srokom eksploatatsii [Development of criteria of expediency of purchase of machines with service life]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2012; 2: 243-245. (in Russian)

13. Abalakov A.D., Shekhovtsov A.I., Lysanova G.I., Novikova L.S. Osobennosti proyavleniya neblagopriyatnykh prirodnykh protsessov na territorii Respubliki Tyva [Features of the manifestation of adverse natural processes in the Republic of Tuva]. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya*. 2016; 6:132-137. (in Russian)

14. Shavyraa CH.D., Kuular O.O. Vybortekhnologicheskikh resheniy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i tekushchego remonta avtobusov g. Kyzyl [Selection of technological solutions for maintenance and routine repair of buses in Kyzyl]. *Nauchnyye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2018; 2: 31-35. (in Russian)

15. Manakov A.L., Kirpichnikov A.YU., Tyunyukova T.K. Analiz napravleniy sovershenstvovaniya tekhnicheskoy eksploatatsii transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov [Analysis of the areas of improvement of technical operation of transport and technological machines and complexes]. *Vestnik IrGTU*. 2015; 5 (100): 127-131. (in Russian)

16. Plavel'skiy Ye.P. Put' stanovleniya i dal'neyshego razvitiya tekhnicheskogo regulirovaniya kak sostavnoy chasti upravleniya kachestvom produktsii mashinostroyeniya na primere pod'yemno-transportnykh, stroitel'nykh, dorozhnykh, gornyykh mashin i spetsavtotransportnykh sredstv [The way of formation and further development of technical regulation as an integral part of quality management of mechanical engineering products on the example of lifting-transport, construction, road, mining machines and special motor vehicles]. *Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny*. 2019; 3: 3-14. (in Russian)

17. Choodu O.A., Yevtyukov S.A. Osnovnyye prichiny otkazov gornyykh mashin na territorii Respubliki Tyva. [The main causes of failures of mining machines in the territory of the Republic of Tuva]. *Vestnik TuvGU. Tekhnicheskkiye i fiziko-matematicheskkiye nauki*. 2017; 3: 13-19. (in Russian)

18. Kuular O.O., Shavyraa CH.D. Primeneniye ekskavatora EKG-5I v gornodobyvayushchey promyshlennosti Respubliki Tyva [The use of the excavator EKG-5I in mining industry of the Republic of Tuva]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki*. 2017; 6: 179-184. (in Russian)

19. Kutuzov V.V., Maksimenko A.N., Makatsariya D.YU. Organizatsiya eksploatatsii stroitel'nykh i

dorozhnykh mashin s uchetom ikh tekhnicheskogo sostoyaniya [Organization of operation of construction and road machines considering their technical condition]. *Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta*. 2006; 4 (13): 28-31. (in Russian)

20. Sandan N.T., Yevtyukov S.A., Mongush S.CH. Vliyaniye moral'nogo iznosa na sroki sluzhby mashin [The impact of obsolescence on machine life]. *Uspekhi sovremennoy nauki*. 2017; 1, № 12: 114-118. (in Russian)

21. Maksimov S.Ye., Repin S.V., Zazykin A.V., Chechuyev V.Ye. Analiz rynka dorozhno-stroitel'nykh mashin v Rossii i evolyutsiya potrebitel'skikh kachestv etikh mashin [Market analysis of road-building machines in Russia and the evolution of consumer qualities of these machines]. *Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny*. 2019; 7: 3-12. (in Russian)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Монгуш Сылдыс Чамбаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортно-технологические средства» ФГБОУ ВО «Тувинский государственный университет» ORCID: 0000-0001-9402-6065. (667000, Россия, Республика Тыва, г. Кызыл, ул. Ленина, 36. e-mail: syldys-mongush@yandex.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Syldys Mongush – Cand. of Tech. Sci., Associate Professor of the Transport and Technological Facilities Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “the Tuvan State University”, ORCID: 0000-0001-9402-6065 (667000, Russia, the Republic of Tuva, Kyzyl, 36, Lenin St., e-mail: syldys-mongush@yandex.ru).