

ВЛИЯНИЕ ВИДОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ И НАДЁЖНОСТЬ ПАРКА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Куляшов И.Д., Чечуев В.Е., Кравец К.О.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург

Ключевые слова: эффективность, надёжность, работоспособность, производительность, строительные машины, парк машин, эксплуатация машин, математическая модель, виды эксплуатации машин, оценка рентабельности строительных машин.

Аннотация. Исследование направлено на изучение влияния различных типов эксплуатации техники и их показателей эффективности, таких как работоспособность, производительность, надёжность и рентабельность. Результаты исследования показывают, что определенные коэффициенты, такие как коэффициент загрузки оборудования по времени и коэффициент технического использования, могут значительно повысить эффективность и производительность строительной техники. В статье актуализируются вопросы, связанные с показателями надёжности и эффективности строительных машин. Поднимается вопрос о соответствии планов строительства с высокой степенью износа парка строительных машин, который, имеет меньшую степень обновления, чем нормативная. Были представлены результаты вычислительного анализа коэффициентов готовности и сохранения эффективности, используя экскаватор ЕК-270 в качестве примера. Минимально допустимый уровень рентабельности эксплуатации техники, который был принят на эксплуатационном предприятии, может быть использован для оценки нижнего уровня коэффициентов готовности и сохранения эффективности.

INFLUENCE OF TYPES OF OPERATION ON THE EFFICIENCY AND RELIABILITY OF THE CONSTRUCTION MACHINE FLEET

Kulyashov I.D., Chechuev V.E., Kravetz K.O.

Saint-Petersburg state of architecture and civil engineering, Saint-Petersburg

Keywords: efficiency, reliability, efficiency, productivity, construction machines, machine park, machine operation, mathematical model, types of machine operation, profitability assessment of construction machines.

Abstract. The study aims to investigate the impact of different types of machinery operation and their performance indicators, such as availability, productivity, reliability and cost-effectiveness. The results of the study show that certain coefficients, such as the equipment utilization time factor and the technical utilization factor, can significantly improve the efficiency and productivity of construction machinery. The article brings up to date the issues related to reliability and efficiency ratios of construction machinery. The question of conformity of construction plans with a high degree of depreciation of the construction machinery fleet, which, has a lesser degree of renewal than the normative one, is raised. The results of a computational analysis of availability and conservation efficiency ratios were presented, using the excavator EK-270 as an example. The minimum acceptable level of cost-effectiveness of machinery operation, which was adopted by the operating company, can be used to estimate the lower level of availability and conservation of efficiency ratios.

Введение

Темпы проведения строительных работ в значительной степени зависят от эффективности использования строительной техники. В свою очередь

эффективность использования техники определяется частью фонда рабочего времени машин, используемой непосредственно для выполнения работ на строительных объектах. В структуре организации эксплуатации парка машин следует рассматривать следующие виды эксплуатации: техническая, коммерческая и производственная. В каждом виде эксплуатации есть свое конкретное назначение, также должны быть свои показатели, с помощью которых можно оценивать эффективность работы каждого элемента эксплуатации машин. Однако, в настоящее время не разработаны конкретные показатели влияния каждого вида эксплуатации на эффективность работоспособности машин.

Актуальность

Мерой работоспособности парка строительных машин является общее время, затрачиваемое на выполнение операций на объектах, которое зависит от качества организации эксплуатации техники, включая техническую, производственную и коммерческую составляющие. Так как парк строительных машин остаётся старым и неэффективным, строительные компании вынуждены самостоятельно решать вопросы формирования парка техники и нести большие издержки. В настоящей статье рассмотрены основные методики расчёта оценки целесообразности покупки строительной машины с различными сроками службы. Следовательно, эффективные методы эксплуатации и соответствующие показатели являются ключевыми для обеспечения высокой работоспособности парка строительных машин.

Проблема

В настоящее время не разработаны показатели влияния отдельных видов эксплуатации на эффективность использования машин. Отсутствие математической модели, учитывающей влияние видов эксплуатации на эффективность парка строительных машин, создает ряд проблем и вызывает затруднения в оптимизации процессов эксплуатации. Без модели, учитывающей влияние видов эксплуатации, ограничиваются возможности оптимизации парка строительных машин, поскольку невозможно точно определить, какие виды работ оказывают наибольшее влияние на процесс производства и как их можно минимизировать или устранить. Это может приводить к нерациональному использованию ресурсов и увеличению затрат на эксплуатацию. Следовательно, разработка математической модели, учитывающей влияние видов эксплуатации на эффективность парка строительных машин, является крайне важной задачей для повышения эффективности и оптимизации процессов. Это позволит учитывать все факторы, влияющие на работоспособность парка, и принимать во внимание все возможные способы устранения видов, что приведет к повышению эффективности эксплуатации и снижению затрат.

Способы решения проблемы

В качестве метода решения данной проблемы была создана математическая модель сохранения эффективности строительных машин по данным эксплуатации. В рамках эксплуатации техники на строительном предприятии используются три вида систем: техническая СТЭ, производственная СПЭ и коммерческая СКЭ, каждая из которых выполняет определенный набор функций.

Одним из ключевых показателей эффективности использования машин является наработка за определенный период, которая уменьшается с течением времени согласно экспоненциальному закону.

Материалы и методы исследований

Время выполнения рабочих операций машинами на объекте (операционное время) также важный показатель. Эффективное использование строительной техники означает получение максимальных результатов от ее применения на строительных объектах и достижение высоких экономических показателей эксплуатирующей организации [1]. Данное утверждение подкреплено результатами исследований рынка строительной техники и ее потребительских характеристик, проведенных сотрудниками СПбГАСУ в период с 1993 по 2019 годы. Надежность и суммарные эксплуатационные расходы занимают первые два места среди шестнадцати рассмотренных показателей за последние 25 лет [1-3]. Была осуществлена разработка модели влияния служб предприятия СМ на операционное время работы ПСМ.

Основная часть

Исследование, которое рассматривает влияние различных видов эксплуатации ТТМ на их эффективность, работоспособность, производительность, надежность и другие показатели эксплуатации, может обеспечить улучшение эффективности и производительности парка строительной техники. Для определения эффективности использования машин, были рассмотрены такие показатели, как коэффициент использования работоспособного времени машины. Формирование $T_{ppэр}$ ФЦУВ осуществляется с участием всех видов эксплуатации (рис. 1, табл. 1).

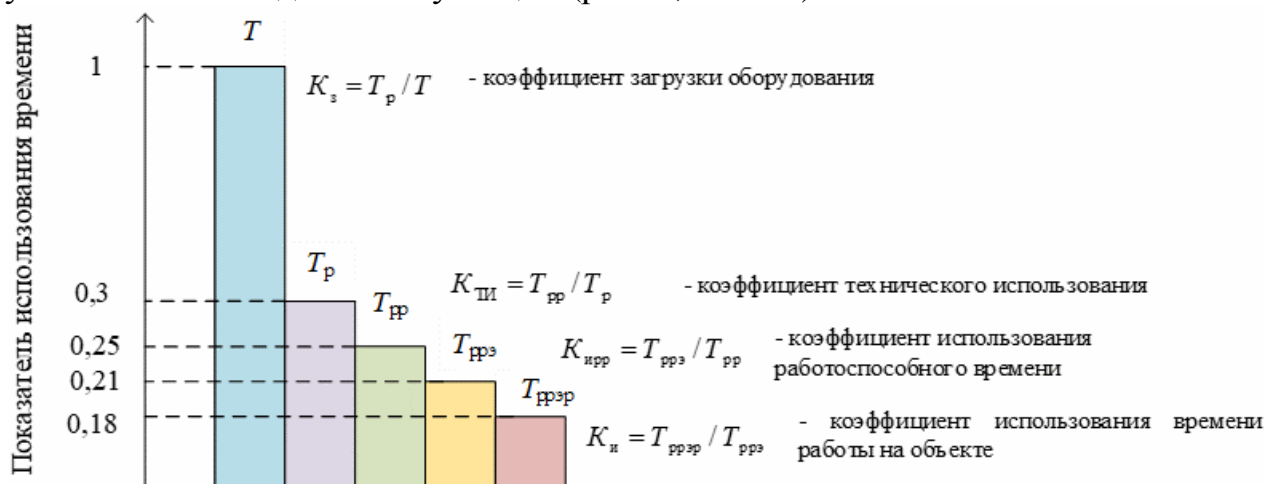


Рис. 1. Ступени наработки: $T_{ppэр}$ – время выполнения рабочих операций машиной на объекте (операционное время)

Коэффициент загрузки оборудования по времени, показывает какая часть календарного времени T является рабочим временем T и характеризует режим работы предприятия:

$$K_s = \frac{T_p}{T}. \tag{1}$$

Табл. 1. Составляющие эксплуатации машин и их показатели

Вид эксплуатации	Показатель	Формула
Техническая	Коэффициент технического использования	$K_{mi}(t) = \frac{T_{pp}(t)}{T_p(t)}$
Коммерческая	Коэффициент использования работоспособных машин	$K_{upp}(t) = \frac{T_{ppэ}(t)}{T_{pp}(t)}$
Производственная	Коэффициент использования времени работы на объекте	$K_u(t) = \frac{T_{ppэp}(t)}{T_{ppэ}(t)}$

Коэффициент технического использования уменьшает время T_p на величину продолжительности простоя в плановых T_{pnn} и неплановых T_{pnn} мероприятиях ТОиР ($T_{pp} = T_p - T_{pnn} - T_{pnn}$), характеризует работу службы технической эксплуатации и служит для расчета времени пребывания машины в работоспособном состоянии T_{pp} :

$$K_{mi} = \frac{T_{pp}}{T_p}. \quad (2)$$

Коэффициент использования работоспособного времени машины характеризует работу службы коммерческой эксплуатации и служит для расчета времени работы машины на объекте $T_{ppэ}$ (индекс «э» означает – эксплуатируется):

$$K_{upp} = \frac{T_{ppэ}}{T_{pp}}. \quad (3)$$

Коэффициент использования времени работы на объекте характеризует уровень работы службы производственной эксплуатации и служит для расчета времени $T_{ppэp}$ выполнения рабочих операций машиной на объекте (операционное время):

$$K_u = \frac{T_{ppэp}}{T_{ppэ}}. \quad (4)$$

В общем случае K_u может рассматриваться как коэффициент использования потенциала машины (рабочего времени, мощности, грузоподъемности и т.п.):

$$K_u = K_{ув} \cdot K_{уз} \cdot K_{uN}. \quad (5)$$

Тогда формула для расчета выручки для случая сдачи машин в аренду по цене машино-часа $\Pi_{мч}$, примет вид:

$$B(t) = \sum B_i(t) = \sum T_{ppэi}(t) \cdot \Pi_{мчi}, \quad (6)$$

где $\sum T_{ppэi}(t) = \sum T \cdot K_{zi} \cdot K_{mi_i}(t) \cdot K_{upp_i}$ – коммерческая эксплуатация;

$\sum T_{ppi}(t) = \sum T \cdot K_{zi} \cdot K_{mi_i}(t)$ – техническая эксплуатация;

$\sum T_{pi}(t) = \sum T \cdot K_{zi}$ – режим работы предприятия.

Если предприятие само подряжается на производство строительных работ, его выручка будет связана с производительностью машины $Q_i(t)$, ценой единицы продукции c_i и наработкой $T_{ppэ_i}(t)$:

$$B(t) = \sum Q_i(t) \cdot c_i \cdot \sum T(t) \cdot K_{з_i} \cdot K_{му_i}(t) \cdot K_{upp_i} \cdot K_{u_i}, \quad (7)$$

где $\sum T_{ppэ_i}(t) = \sum T \cdot K_{з_i} \cdot K_{му_i}(t) \cdot K_{upp_i} \cdot K_{u_i}$ – производственная эксплуатация;
 $\sum T_{pp_i}(t) = \sum T \cdot K_{з_i} \cdot K_{му_i}(t) \cdot K_{upp_i}$ – коммерческая эксплуатация;
 $\sum T_{pp_i}(t) = \sum T \cdot K_{з_i} \cdot K_{му_i}(t)$ – техническая эксплуатация;
 $\sum T_{p_i}(t) = \sum T \cdot K_{з_i}$ – режим работы предприятия.

Разработка математической модели сохранения эффективности строительных машин по данным эксплуатации

Известно использование коэффициента готовности $K_2(t)$ для описания динамики эффективности машин в зависимости от срока службы t [1]. Однако $K_2(t)$ показывает лишь снижение наработки машин по времени, не отражая изменения затрат на эксплуатацию и производительности. В работе Тайсаева К.К. [4] обоснована целесообразность использования коэффициента сохранения эффективности K_9 как комплексного показателя изменения технико-экономических характеристик машин. Однако предложенный им метод расчета K_9 , предусматривающий многокритериальную оценку всех процессов эксплуатации техники, является слишком сложным и требующим проведения длительных исследований. В предлагаемой Методике расчет K_9 выполняется более простым и наглядным способом.

Согласно ГОСТ 27.002-2015 коэффициент сохранения эффективности K_9 представляет собой «отношение значения показателя эффективности использования объекта за определенную продолжительность эксплуатации к номинальному значению этого показателя, вычисленному при условии, что отказы объекта в течение того же периода не возникают» [5].

В экономическом плане в качестве показателя эффективности машины со сроком службы t может быть принят уровень рентабельности $R(t)$, а отказы учитываются комплексным показателем надежности – коэффициентом готовности $K_2(t)$. Тогда K_9 представляет собой отношение $R(t)$ с текущим сроком службы к уровню рентабельности при отсутствии отказов, характерным для новой машины $R(0)$, прошедшей приработку:

$$K_9(t) = \frac{R(t)}{R(0)}. \quad (8)$$

Задача сводится к определению уровня рентабельности в функции срока службы.

Анализ динамики технического состояния строительных машин по времени использования показывает изменение следующих показателей [1]:

1) снижение годовой наработки $T_{p.p}(t)$ машин вследствие простоев в неплановых ремонтах на величину от 1,1 до 4,2%;

2) падение часовой производительности $Q(t)$ в пределах 1...3% в год;

3) увеличение эксплуатационных затрат на 1...3,4% в год, в результате себестоимость машино-часа $C_{мч}$ возрастает на 3...7% в год.

Описанные изменения достаточно хорошо описываются экспоненциальной зависимостью с показателями старения машин по наработке β_t , производительности β_Q и по затратам β_z :

$$\begin{aligned} T_{pp}(t) &= T_{pp}(1) \cdot \exp(-\beta_t \cdot t); \\ C_{мч}(t) &= C_{мч}(1) \cdot \exp(-\beta_z \cdot t); \\ Q(t) &= Q(1) \cdot \exp(-\beta_Q \cdot t). \end{aligned} \quad (9)$$

Выражение представляет собой изменение коэффициента готовности, рассчитываемого также в функции простоев в неплановых ремонтах $T_{рнн}(t)$, возникающих вследствие внезапных отказов [1]:

$$K_r(t) = \frac{T_{pp}(t)}{T_{pp}(t) + T_{рнн}(t)} = \exp(-\beta_t \cdot t). \quad (10)$$

В случае отсутствия неплановых ремонтов при $T_{рнн}(t) = 0$ значение коэффициента готовности равно 1.

Уровень рентабельности равен отношению прибыли $\Pi(t)$ от эксплуатации машины к затратам $Z(t)$:

$$R(t) = \frac{\Pi(t)}{Z(t)}. \quad (11)$$

Прибыль от эксплуатации техники в виде функции времени определяется выражением

$$\Pi(t) = B(t) - Z(t), \quad (12)$$

где $B(t)$, $Z(t)$ – соответственно накопленные выручка и расходы от производственной деятельности за расчетный период; t – возраст эксплуатируемого оборудования.

Величина выручки рассчитывается по формулам (6) и (7).

Затраты на технику определяются суммой произведения оплачиваемой наработки $T_{ppэ_i}(t)$ каждой машины за расчетный период на себестоимость машино-часа $C_{мч_i}$,

$$Z(t) = \sum Z_i(t) = \sum T_{ppэ_i}(t) \cdot C_{мч_i} \quad (13)$$

Таким образом, формулы (6)-(13) представляют собой математическую модель вычисления $K_9(t)$.

В расчете выручки по формуле (7) фигурируют значения производительности машины $Q_i(t)$ в функции срока службы и коэффициента использования потенциала машины K_{u_i} . Использование $Q_i(t)$ дополняет $K_9(t)$ учетом влияния срока службы машин на выработку продукции, а K_{u_i} показывает уровень организации производственной эксплуатации машин на объектах.

В работе [1] анализ технико-экономических характеристик построен на использовании $K_2(t)$, поэтому в формулах (1)-(13) по методике [1] применялся бы показатель времени $T_{pp}(t)$, характеризующий время пребывания машины в работоспособном состоянии. Однако это не совсем правильно, т.к. при расчете выручки и затрат должно использоваться фактически отработанное на объекте время s , которое оплачивает заказчик техники.

За обеспечение $T_{pp}(t)$, отвечает служба технической эксплуатации предприятия, а за востребованность машин на объектах – время $T_{ppэ}(t)$ – служба коммерческой эксплуатации. Причем время $T_{ppэ}(t)$ меньше, чем время $T_{pp}(t)$, примерно на 20% (при загрузке работоспособной техники на 80%, что является весьма высоким показателем).

Таким образом, $K_3(t)$ более точно отражает степень использования машин, а также работу служб эксплуатационного предприятия.

В диссертации построена математическая модель $K_3(t)$, учитывающая важнейшие характеристики эксплуатации ПСМ, причем в функции срока службы t :

- время выполнения операций на объектах каждой машиной $T_{ppэp_i}(t)$ (операционное время);
- производительность машин $Q_i(t)$;
- стоимость единицы продукции c_i ;
- показатель использования потенциала машины (рабочего времени, мощности, грузоподъемности и т.п.) K_i ;
- себестоимость машино-часа $C_{мч_i}(t)$.

$$K_3(t) = f \left\{ \sum_{i=1}^{N_p} T_{ppэp_i}(t) \left[Q_i(t) \cdot c_i \cdot k_i - C(t)_{iмч} \right] \right\} \quad (14)$$

где N_p – количество работавших машин в парке за рассматриваемый период времени.

На рисунках 2, 3 представлены результаты численного расчета коэффициентов готовности и сохранения эффективности на примере экскаватора ЕК-270. На графиках представлены также формулы линий тренда с показателем достоверности $R2$. При значении $R2$ более 0,8 уровень корреляции линий тренда с фактическими данными считается высоким. Диаграмма на рисунке 3 снабжена линией $K_{2\min}$, показывающей значение коэффициента готовности при минимально допустимом уровне рентабельности машины для предприятия по эксплуатации СМ, принятом равным 0,3. Точка пересечения линий $K_{2\min}$ и $K_2(t)$ показывает срок службы объекта, рассчитанный при $R = 0,3$ и соответствующие им значения $K_2(t)$ и $K_3(t)$.

Рисунок 4 показывает, что коэффициенты готовности и сохранения эффективности хорошо коррелируют между собой. Поэтому для приближенной $K_3(t)$ оценки можно использовать $K_2(t)$, т.к. его расчет значительно менее трудоемок.

в функции срока службы машины пересекается с горизонтальной линией $R_{\min} = 0,3$ в точке, соответствующей примерно семи годам. Семилетней машине соответствует значение $K_y(7) = 0,4$ (рис. 4).

Данные для расчета коэффициентов готовности и сохранения эффективности по формулам (1)-(13) могут быть получены из следующих источников:

$T_{pp_i}(t)$, $T_{ppэ_i}(t)$, c_i , K_{u_i} – из отчетных документов эксплуатационного предприятия;

$C_{мч_i}$ – также из отчетных документов эксплуатационного предприятия или рассчитывается по МДС 81-3.99 (9) для первого года эксплуатации с последующим средним возрастанием на 4% в год;

$Ц_{мч}$ – выбирается по средним ценам аренды техники;

$Q(t)$ – может быть определена экспериментально путем непосредственного замера производительности на объекте (что весьма затруднительно с точки зрения воспроизводимости одинаковых условий работы при замерах) или рассчитана с приемлемой для научных расчетов точностью по среднему снижению производительности на 2% в год

Цель статьи

Цель данной статьи заключается в том, чтобы проанализировать влияние различных видов эксплуатации на эффективность и надежность парка строительных машин. Таким образом, цель статьи состоит в том, чтобы предоставить читателям полезную информацию о влиянии различных видов эксплуатации на эффективность и надежность парка строительных машин, а также рекомендации по выбору оптимального вида эксплуатации и методы повышения эффективности и надежности парка строительных машин. Как было показано выше, для оценки минимальных значений коэффициентов готовности и сохранения эффективности, можно использовать уровень рентабельности R_{\min} , который принят на эксплуатационном предприятии. График уровня рентабельности в зависимости от срока службы машины пересекается с горизонтальной линией $R_{\min} = 0,3$ в точке, соответствующей примерно семи годам. Для машины, которая находится в эксплуатации семь лет, значение коэффициента сохранения эффективности $K_y(7)$ составляет 0,4.

Заключение и выводы

В статье разработаны математические модели, позволяющие дающие возможность читателям получить более глубокое понимание влияния видов эксплуатации на парк строительных машин, а также принимать обоснованные решения при выборе видов эксплуатации своего парка машин и выполнять расчётные операции, основанные на данной модели.

Список литературы

1. Репин С.В., Евтюков С.А., Зызыкин А.В., Рулис К.В. Надежность и эффективность эксплуатации транспортно-технологических машин. – СПб.: Изд. дом «Петрополис», 2017. – 404 с.

2. 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.
3. Чечуев В.Е., Репин С.В. Современное состояние парка машин в строительных организациях России – «Актуальные проблемы современного строительства // Материалы 71-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – СПб.: СПбГАСУ, 2018. – С. 111-116.
4. Тайсаев К.К. Методика оценки коэффициента эффективности автобусов: Дисс. ... канд. техн. наук. – СПб.: СПбГАСУ, 2021. – 149 с.
5. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения.

Сведения об авторах:

Куляшов Илья Дмитриевич – студент;

Чечуев Василий Евгеньевич – к.т.н., ассистент;

Кравец Кирил Олегович – ассистент.