

УДК (UDC) 625.089.23

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДОРОЖНЫХ МАШИН ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ И РАСЧЁТНЫМ ПУТЯМИ

ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF DETERMINING THE PERFORMANCE OF ROAD MACHINES BY EXPERIMENTAL AND DESIGN WAYS

Грушецкий С.М.
Grushetsky S.M.Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (Санкт-Петербург, Россия)
Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (Saint-Petersburg, Russian Federation)

Аннотация. Исследование производительности дорожных машин является актуальным научным исследованием. Это связано с тем, что производительность дорожных машин является критерием, который связывает объёмы выполняемые машинами работ и вопросы по их эксплуатации. Выполнение объёмов работ является одним из основных предназначений дорожных машин. Обеспечение работоспособного состояния дорожных машин не гарантирует выполнение необходимых объёмов работ. Для решения задачи выполнения необходимых объёмов работ в статье исследуется производительность дорожных машин. В статье рассматриваются вопросы, связанные с определением эксплуатационной производительности дорожных машин на основе двух подходов - экспериментального и расчетного. Целью представленных исследований является решение задачи определения эксплуатационной производительности дорожных машин и проведение качественной и количественной оценки двух разных подходов к решению указанной задачи.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожная машина, производительность, жизненный цикл, строительство, реконструкция, ремонт, содержание.

Дата принятия к публикации: 20.05.2021
Дата публикации: 25.06.2021

Сведения об авторе:

Грушецкий Станислав Михайлович – кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры «Наземные транспортно-технологические машины», Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, e-mail: grushetsky.stanislav@yandex.ru.

Abstract. The performance study of road machines was a relevant scientific study. This is due to the fact that the performance of road machines is a criterion that connects the volume of work performed by machines and the issues of their operation. The implementation of the volume of work is one of the main purposes of road vehicles. Ensuring the working condition of road vehicles does not guarantee the performance of the required amount of work. Ensuring the working condition of road vehicles does not guarantee the performance of the required amount of work. To solve the problem of performing the required amount of work, the article examines the performance of road cars. The article discusses issues related to the determination of the operational performance of road vehicles on the basis of two approaches - experimental and calculated. The aim of the presented studies is to solve the problem of determining the operational performance of road vehicles and to carry out a qualitative and quantitative assessment of two different approaches to solving this problem.

Keywords: highway, road machine, productivity, life cycle, construction, reconstruction, repair, maintenance.

Date of acceptance for publication: 20.05.2021
Date of publication: 25.06.2021

Author' information:

Stanislav M. Grushetsky - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Doctoral candidate of the Department "Land Transport and Technological Vehicles" at Saint-Petersburg State University Architecture and Civil Engineering, e-mail: grushetsky.stanislav@yandex.ru.

1. Введение

Исследование производительности дорожных машин является одной из приоритетных задач, связанных с их эксплуатацией. От производительности дорожных машин прямым образом зависит выполнение необ-

ходимых объёмов работ. Невыполнение необходимых объёмов работ приводит к невыполнению производственного плана. Как известно, существует несколько видов производительностей: проектно-конструкторская, техническая и эксплуатационная [1]. В данной статье рассматривается задача определе-

ния эксплуатационной производительности экспериментальным путем. На практике эксплуатационную производительность, как правило, определяют по известным расчётным зависимостям [2]. Это связано прежде всего с тем, что известно значительное число исследований, которые позволяют достаточно объективно определять производительность, в том числе, и эксплуатационную дорожных машин. Большой вклад в определение производительности дорожных машин внесли такие исследователи, как Е.С. Буряк, М.Г. Горяев, С.А. Евтюков, И.А. Засов, Г.А. Копылов, М.П. Куксов, С.В. Репин, М.Ю. Чалова, П.В. Шепелина, Ю.М. Яковлев и др. На практике, как правило, отсутствуют объективные данные по значениям плановой и фактической производительностям конкретных дорожных машин. Целью данной статьи является определение эксплуатационной производительности конкретных дорожных машин расчётным путём и сравнение полученных результатов с определёнными ранее фактическими значениями эксплуатационной производительности тех же дорожных машин [1]. Это необходимо для того, чтобы оценить эффективность и объективность полученных результатов путём сравнения с аналогичными результатами, полученными другим способом.

2. Постановка задачи

Обоснуем и проанализируем задачи, которые необходимо решить. Необходимо отметить, что исследование было выполнено применительно к дорожным машинам, рассмотренным ранее в [1].

1. Необходимо проанализировать работу выбранных дорожных машин на конкретных объектах для выбора правильного пути расчёта эксплуатационной производительности. Это связано с тем, что рассматриваемые дорожные машины могут быть как циклического, так и непрерывного принципа действия [2]. Проводимое исследование опирается на работе выбранных дорожных машин на конкретных дорожных объектах, что требует учёта конкретных обстоятельств, которые влияют на работу дорожных машин.

2. Обосновать известные расчётные зависимости эксплуатационной производительности, наилучшим образом отражающие работу выбранных дорожных машин [3]. Это связано с тем, что в известных работах [2] производительность машин для строительства, реконструкции, ремонта и содержания автомобильных дорог выражается, как правило, в объёмных эквивалентах - в $\text{м}^3/\text{ч}$. Для условий реального производства для некоторых дорожных машин важнее оценивать их производительность, приведённую к единице обрабатываемой площади, т.е. в $\text{м}^2/\text{ч}$. Поэтому возникает необходимость в коррекции отдельных зависимостей для её применения к конкретным условиям производства.

3. Определить по выбранным расчётным зависимостям среднюю часовую эксплуатационную производительность за одни сутки в течение одного года для выбранных дорожных машин в рассматриваемый период [1].

4. Проанализировать полученные расчётные значения средней часовой эксплуатационной производительности за одни сутки в рассматриваемый период для выбранных дорожных машин и сравнить их с полученными ранее в результате эксперимента аналогичными значениями средней часовой эксплуатационной фактической производительности.

5. Дать оценку эффективности каждого способа определения эксплуатационной производительности выбранных дорожных машин с помощью коэффициента сходимости [1].

3. Разработанные модели, методы

Анализ работы исследованных в [1] дорожных машин на конкретных объектах показал, что экскаваторы-погрузчики, экскаваторы бульдозеры, автогрейдеры, автокраны, автовышки работали по циклическому принципу действия. Остальные исследованные дорожные машины - дорожные фрезы, асфальтоукладчики, катки, коммунальные дорожные машины, маркировочные машины - работали по непрерывному принципу действия. Некоторые из перечисленных дорожных машин могут работать как по циклическому принципу действия, так и по непрерывному принципу действия. Например, автогрейдер -

машина, которая является многофункциональной и эффективной на всех этапах дорожного строительства. Если рассматривать работу автогрейдера на нулевых циклах, то он больше используется как бульдозер, т.е. как машина циклического принципа действия. Если рассматривать работу автогрейдера на других этапах, когда осуществляется профилирование основания или откосов дороги, то он больше работает как дорожная машина непрерывного действия. При этом возможны переходные режимы [3]. Практика показала, что независимо от того по какому принципу работает дорожная машина, её техническая производительность не может превышать значения, определённого для конкретных условий эксплуатации. Это объясняется техническими характеристиками конкретной дорожной машины, одинаковыми условиями работы (разрыхлением грунта и т.д.). Это означает, что при работе дорожной машины на разных объектах техническая производительность может отличаться [4]. При проведении эксперимента дорожные машины выбирались исходя из того, что они работали на одних объектах с максимальной загрузкой. Например, автогрейдер марки ДЗ-122, являющийся одним из наиболее распространённых автогрейдеров отечественного производства при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог, больше времени работал по циклическому принципу действия. Это объясняется быстрым образованием призмы волочения грунта максимального объёма впереди отвала машины [5]. Особый интерес представляла работа экскаваторов-погрузчиков второй размерной группы марки JCB 3СХ. Высокая маневренность, относительно небольшая масса, компактные габариты, хорошие геометрические параметры и универсальность рабочих органов обеспечивает высокую эффективность работы данных машин на объектах. Данные машины являются одними из самых востребованных на всех этапах строительства, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог. Наблюдение в течение года за работой трёх экскаваторов-погрузчиков данной марки трёх возрастных групп показали высокую эксплуатационную

производительность данных дорожных машин при их работе как в режиме погрузчика, так и в режиме экскаватора. При максимальной загрузке и квалифицированном управлении такие машины могут заменить в некоторых случаях бульдозер, автогрейдер или экскаватор средней размерной группы [6].

При проведении эксперимента внимание было обращено на сезонные изменения в работе дорожных машин. Эксперимент проводился в течение одного года - с ноября 2019 г. до ноября 2020 г. [1]. Было отмечено два периода, которые отличались по погодным условиям:

- зимний период с ноября 2019 г. до мая 2020 г.;

- летний период с мая 2020 г. до ноября 2020 г.

Работы на рассматриваемых дорожных объектах велись в течение всего рассматриваемого периода. Машины для землеройных и земляных работ (шесть экскаваторов-погрузчиков, три экскаватора, три бульдозера, три грейдера), грузоподъёмные машины (три автокрана и три автовышки), три грунтовых и шесть комбинированных катков, машины для содержания автомобильных дорог (девять коммунальных дорожных машин) работали на объектах в течение всего рассматриваемого периода. Машины асфальтовой группы (девять дорожных фрез, девять асфальтоукладчиков, девять автогудронаторов) в период с 16 ноября 2019 г. до 16 апреля 2020 г. не работали ввиду сезонных изменений. По той же причине выбранные маркировочные машины для нанесения дорожной разметки (девять машин) не работали в период с ноября 2019 г. до мая 2020 г. [1]. В зимний период эксплуатации выбранных дорожных машин осуществлялись работы по разработке, устройству и планированию оснований автомобильных дорог, а также монтажно-демонтажные работы по дорожному обустройству. В летний период эксплуатации выбранных дорожных машин, кроме указанных работ, велась работа машин асфальтовой группы и маркировочных машин.

Следует обратить внимание на использование единиц измерения производительности дорожных машин разных функциональ-

ных групп. Вследствие того, что работа дорожных машин рассматривается в плоскости производственной эксплуатации, можно встретить разные подходы к определению единиц измерения их производительности. Например, если рассматривать работу дорожных машин асфальтовой группы (дорожных фрез, асфальтоукладчиков, автогудронаторов), то в технической литературе можно найти информацию по их производительности, причем единицы измерения приводятся, как правило, в м³/ч. Такой общий подход обусловлен отсутствием привязки дорожной машины к конкретному дорожному объекту. Это не устраивает производителей и специалистов при планировании и при мониторинге работ дорожных машин на объектах. По их мнению, поскольку главным предназначением дорожной машины является выполнение поставленных объёмов, то учитывать надо не саму дорожную машину, а вид выполняемых работ по строительству, реконструкции, ремонту и содержанию автомобильных дорог. Каждая дорожная машина должна быть привязана к конкретному дорожному объекту, а не наоборот [7]. Для машин асфальтовой группы производительность выражается не в м³/ч, а в м²/ч, так как учёт и отчёт по проделанной работе ведётся исключительно исходя из площади дорожного полотна, а не из объёма укладываемого материала. Толщина срезаемого и укладываемого слоя асфальта задаётся перед выполнением работ и контролируется после выполнения работ. Необходимая толщина срезаемого и укладываемого слоя асфальта обеспечивается при работе дорожной машины специальной автоматизированной следящей системой. Такой системой были оборудованы все дорожные машины, участвующая в эксперименте.

Поскольку в эксперименте участвовало семьдесят восемь дорожных машин, то из-за ограничения объёма статьи невозможно представить все расчётные зависимости определения эксплуатационной производительности всех выбранных дорожных машин. Ниже показаны зависимости определения значений часовой эксплуатационной расчётной производительности за рассмат-

риваемый период только для девяти выбранных дорожных машин [1]. Указанные дорожные машины входят в общее число дорожных машин, участвующих в эксперименте, и соответствуют всем условиям эксперимента. Все девять выбранных машин являются одними из наиболее востребованных на всех этапах строительства, реконструкции, ремонта и содержания автомобильных дорог. В их число входят:

- три экскаватора-погрузчика марки JCB 3CX;
- три асфальтоукладчика марки Volvo ABG P6820C;
- три коммунальные дорожные машины для содержания автомобильных дорог на шасси автомобиля КамАЗ-65115.

Все указанные дорожные машины одной марки были трёх возрастных групп - до пяти лет, от пяти до десяти лет и от десяти лет и старше. С учётом вышеизложенных особенностей работы дорожных машин и поставленных выше задач для участвующих в эксперименте машин были использованы следующие зависимости, позволяющие определить значения часовой эксплуатационной расчётной производительности $\Pi_{\text{Эп}}$:

- экскаваторы-погрузчики, экскаваторы

$$\Pi_{\text{Эп}} = \frac{3600 \cdot q \cdot k_n \cdot k_c \cdot k_b}{T_{\text{ц}} \cdot k_p}, [M^3 / \text{ч}], \quad (1)$$

где q – вместимость ковша, м³; k_n – коэффициент наполнения ковша ($k_n = 0,8 \dots 1,2$); k_c – коэффициент совмещения операций ($k_c = 1,0 \dots 1,2$); k_b – коэффициент использования рабочего времени ($k_b = (0,75 \dots 0,80)$); k_p – коэффициент разрыхления материала ($k_p = (1,1 \dots 1,3)$); $T_{\text{ц}}$ – время цикла, с;

- грейдеры, бульдозеры

$$\Pi_{\text{Эп}} = \frac{3600 \cdot V_r \cdot k_{\text{II}} \cdot k_e}{T_{\text{ц}} \cdot k_p}, [M^3 / \text{ч}], \quad (2.1)$$

$$T_{\text{ц}} = \frac{l_p}{V_p} + \frac{l_{\text{II}}}{V_{\text{II}}} + \frac{l_0}{V_0} + t + t_{\text{II}} + t_0, \quad (2.2)$$

$$k_{\text{II}} = 1 - (0,003 \dots 0,006)l_{\text{II}}, \quad (2.3)$$

$$V_r = \frac{L \cdot H^2}{2} \cdot k_{\text{np}}, \quad (2.4)$$

где $V_{\text{Г}}$ – объём грунта перед отвалом в призмае волочения, перемещаемый грейдером,

бульдозером за один цикл, m^3 ; $k_{П}$ – коэффициент потери грунта, зависящий от расстояния перемещения, м; $k_{в}$ – коэффициент использования рабочего времени ($k_{в} = 0,85 \dots 0,90$); $l_p, l_{п}, l_o$ – длина пути резания, перемещения и обратного хода, м; $t, t_{п}, t_o$ – продолжительность одного поворота, переключения передач и опустошения отвала, с; $V_p, V_{п}, V_o$ – скорость движения при резании, перемещении и обратном ходе, м/с; L – длина отвала, м; H – высота отвала, м; $k_{пр}$ – коэффициент пропорциональности ($k_{пр} = 1,3 \dots 1,2$ для связных и $k_{пр} = 0,9 \dots 0,7$ для несвязных грунтов);

- автокраны/автовышки

$$\Pi_{Э_p} = Q \cdot m \cdot k_r \cdot k_{в}, [m / ч], \quad (3)$$

где Q – грузоподъемность, т; m – число циклов совершаемых за 1 ч; k_r – коэффициент использования по грузоподъемности; $k_{в}$ – коэффициент использования рабочего времени ($k_{в} = 0,75 \dots 0,85$);

- дорожные фрезы

$$\Pi_{Э_p} = 60 \cdot H_{ф} \cdot V_{ф} \cdot k_{в}, [M^2 / ч], \quad (4)$$

где $H_{ф}$ – машинальная ширина фрезерования, м; $V_{ф}$ – скорость фрезерования, м/мин; $k_{в}$ – коэффициент использования рабочего времени ($k_{в} = 0,75 \dots 0,85$);

- асфальтоукладчики

$$\Pi_{Э_p} = V_r \cdot b_{min} \cdot k_{зy} \cdot k_{сл} \cdot k_{в}, [M^2 / ч], \quad (5)$$

где V_r – рабочая скорость укладки смеси, м/ч; b_{min} – минимальная ширина полосы укладки; $k_{зy}$ – коэффициент запаса на уплотнение ($k_{зy} = 1,25$); $k_{сл}$ – коэффициент, учитывающий толщину укладки слоя ($k_{сл} = 0,7$); $k_{в}$ – коэффициент использования рабочего времени ($k_{в} = 0,75$);

- автогудронаторы

$$\Pi_{Э_p} = b_{ш} \cdot k_{в} \cdot V_{раб}, [M^2 / ч], \quad (6)$$

где $b_{ш}$ – рабочая ширина обрабатываемого участка, м; $V_{раб}$ – рабочая скорость движения, м/ч; $k_{в}$ – коэффициент использования рабочего времени ($k_{в} = 0,75 \dots 0,85$);

- дорожные катки (комбинированные, грунтовые)

$$\Pi_{Э_p} = \frac{L \cdot (B - A) \cdot k_{в}}{\left(\frac{L}{V} + t\right) \cdot n}, [M^2 / ч], \quad (7)$$

где L – длина захвата, м; B – ширина вальца, м; A – величина перекрытия слоев ($A = 0,2$

м); $k_{в}$ – коэффициент использования рабочего времени ($k_{в} = 0,8$); V – скорость движения катка, м/ч; t – время маневрирования ($t = 0,02$ с); n – число проходов катка по одному следу, необходимое для уплотнения;

- коммунальные дорожные машины для содержания автомобильных дорог

$$\Pi_{Э_p} = 3600 \cdot b_{ш} \cdot V_{раб} \cdot k_{в}, [M^2 / ч], \quad (8)$$

где $b_{ш}$ – ширина полосы дороги, обрабатываемой за один проход, м; $k_{в}$ – коэффициент использования рабочего времени ($k_{в} = 0,75 \dots 0,85$);

- машины для нанесения горизонтальной дорожной разметки

$$\Pi_{Э_p} = 1000 \cdot V_{раб} \cdot k_{в} \cdot k_{мz}, [M / ч], \quad (9)$$

где $k_{в}$ – коэффициент использования рабочего времени ($k_{в} = 0,75$); $k_{мz}$ – коэффициент технической готовности ($k_{мz} = 0,75$).

Анализируя представленные зависимости видно, что эксплуатационная расчётная производительность для экскаваторов-погрузчиков марки JCB 3 CX определяется как для машин циклического действия, для асфальтоукладчиков марки Volvo ABG P682OC и коммунальных дорожных машин для содержания автомобильных дорог на шасси автомобиля КамАЗ-65115 - как для машин непрерывного действия. В каждой из трёх зависимостей имеются параметры, которые могут значительно меняться в процессе работы дорожных машин и влиять на конечный результат расчёта. Данное обстоятельство следует учитывать отдельно для каждого функционального типа рассматриваемых дорожных машин [8].

Для экскаваторов-погрузчиков марки JCB 3CX такими параметрами являются вместимость ковша q и время цикла $T_{ц}$. Другие параметры в расчётной зависимости в течение длительного периода времени меняются редко. Как правило, перед расчётом из технических характеристик машины выбирают вместимость ковша и данное значение используют в расчёте. Время цикла обычно определяется опытным путём, проведя несколько замеров и выбрав среднее значение. В нормативных источниках значения такого параметра как время цикла для конкретной дорожной машины отсутствуют. В реальной

ситуации при работе экскаваторов-погрузчиков как наполнение ковшей, так и время каждого цикла может меняться значительно, так как зависит от множества случайных факторов [6]. При проведении эксперимента было принято нормативное значение вместимости ковшей для экскаваторов-погрузчиков марки JCB 3СХ: для фронтального ковша $q_{\text{ф}} = 1 \text{ м}^3$, для ковша экскаватора $q_{\text{э}} = 0,4 \text{ м}^3$. Данный выбор можно обосновать тем, что в условиях эксперимента было трудно объективно измерить объём грунта, обрабатываемого дорожной машиной за один цикл. Кроме того, все машины, включая экскаваторы-погрузчики работали в режиме максимальной загрузки. Грунты и строительные материалы, такие как щебень и песок, имели достаточное разрыхление и подвижность для того, чтобы была возможность заполнять ковши максимально при работе машины. Поэтому если рассматривать работу конкретных экскаваторов-погрузчиков нормативные значения вместимости ковшей могут быть в данном случае приняты для расчёта эксплуатационной производительности [9]. По определению времени цикла для выбранных экскаваторов-погрузчиков марки JCB 3СХ были проведены от пяти до восьми замеров в течение одной смены в рассматриваемый период и за сутки определялось среднее значение, которое и использовалось в расчётной зависимости.

Для асфальтоукладчиков марки Volvo АВG Р682 ОС и коммунальных машин для содержания дорог марки КамАЗ-65115 параметрами, которые могут значительно меняться в процессе работы дорожных машин, являются: для асфальтоукладчиков – рабочая скорость укладки смеси ($V_{\text{р}} = 100 \text{ м/ч}$), для коммунальных машин для содержания дорог – рабочая скорость движения машины (35...40 км/ч). Данные параметры определялись опытным путём, исходя из работы дорожной машины на конкретных объектах. Количественные значения параметров соответствуют нормативным документам: отраслевым дорожным методикам (ОДМ), ГОСТ и др.

4. Результаты и их анализ

Для исследуемых дорожных машин был выполнен расчёт средних значений часовой эксплуатационной производительности за одни сутки в течение рассматриваемого периода. В табл. 1 приведены полученные значения средней часовой фактической Пэф и расчётной Пэр эксплуатационной производительностей за сутки в течение одного месяца (июль 2020 г.), техническая Пт и плановая эксплуатационная Пэп производительности. Выбор месяца был связан с загрузкой выбранных дорожных машин на конкретных объектах в рассматриваемый период.

По полученным экспериментальным значениям были построены графические зависимости (рис. 1 – 3). На них показаны изменения средних значений часовой эксплуатационной расчётной производительности за сутки в течение одного месяца. Сплошными линиями изображено изменение средних значений часовой эксплуатационной фактической производительности, полученных ранее при проведении эксперимента [1] для машин трёх возрастных групп. Техническая производительность выбранных машин обозначена на графиках сплошной линией коричневого цвета.

Определение эксплуатационной производительности дорожных машин по известным расчётным зависимостям является достаточно распространённым решением данного вопроса из-за простого способа применения, не требующего больших временных затрат и высокой квалификации исполнителя. Недостатком данного решения является высокая вероятность расхождения полученных расчётных значений и фактических значений эксплуатационной производительности [11].

Анализ плановых и фактических объёмов работ позволяет непосредственно оценить плановые и фактические значения эксплуатационной производительности в течение разных периодов времени, что значительно повышает точность определяемых значений. Точность обеспечивается тем, что производительность определяется путём интегрирования плановых и фактических объёмов работ [12]. Это позволяет решить пять последовательных задач, рассмотренных в [1]. В их число входят следующие задачи:

Таблица 1

Средние значения часовой эксплуатационной расчётной производительности выбранных девяти дорожных машин за первые семь дней июля 2020 г.

Число месяца	П _Т	П _{ЭП} до 5 лет	П _{ЭФ} до 5 лет	П _{ЭР} до 5 лет	П _{ЭП} от 5 до 10 лет	П _{ЭФ} от 5 до 10 лет	П _{ЭР} от 5 до 10 лет	П _{ЭП} 10 лет и старше	П _{ЭФ} 10 лет и старше	П _{ЭР} 10 лет и старше
JCB 3CX, м ³ /ч										
1	23,5	13,99	15,38	14,80	14,46	16,81	15,84	8,25	0,00	14,36
2	23,5	11,97	14,25	14,80	17,52	17,88	15,84	9,35	11,00	14,36
3	23,5	14,45	17,63	14,80	18,36	20,63	15,84	17,61	19,56	14,36
4	23,5	12,40	15,13	15,54	17,49	19,88	13,47	8,01	7,63	14,65
5	23,5	18,34	21,08	15,54	12,15	14,13	13,47	9,98	11,88	14,65
6	23,5	17,81	20,96	15,54	16,00	19,75	13,47	12,04	13,38	14,65
7	23,5	16,74	20,67	13,32	12,42	11,94	13,62	13,85	15,92	16,28
Volvo ABG P682OC, м ² /ч										
1	250	121,58	141,38	148,50	205,13	227,92	178,20	52,62	59,13	165,00
2	250	91,64	111,75	148,50	119,27	140,31	178,20	87,44	100,50	176,55
3	250	158,96	148,56	148,50	139,07	165,56	178,20	160,58	188,92	176,55
4	250	186,78	217,19	153,45	103,66	142,00	169,95	145,72	169,44	176,55
5	250	169,70	223,29	153,45	162,44	193,38	169,95	153,30	174,21	173,25
6	250	161,03	209,13	153,45	178,93	210,50	169,95	102,20	127,75	173,25
7	250	147,19	179,50	181,50	141,21	174,33	173,25	159,77	197,25	173,25
КаМАЗ-65115, м ² /ч										
1	90	41,89	59,00	64,54	58,89	66,17	74,58	42,82	50,38	76,01
2	90	74,28	81,63	64,54	31,32	43,50	72,43	41,19	49,63	76,01
3	90	65,85	81,29	64,54	39,06	36,50	72,43	47,72	56,81	69,56
4	90	38,64	46,00	64,54	57,59	65,44	72,43	50,47	60,08	69,56
5	90	51,01	57,31	64,54	52,05	70,33	73,15	37,67	53,06	69,56
6	90	56,85	73,83	64,54	18,05	21,75	73,15	60,40	77,44	74,58
7	90	53,42	52,38	73,86	73,56	89,71	73,15	58,81	58,81	74,58

Июль 2020, группа 1

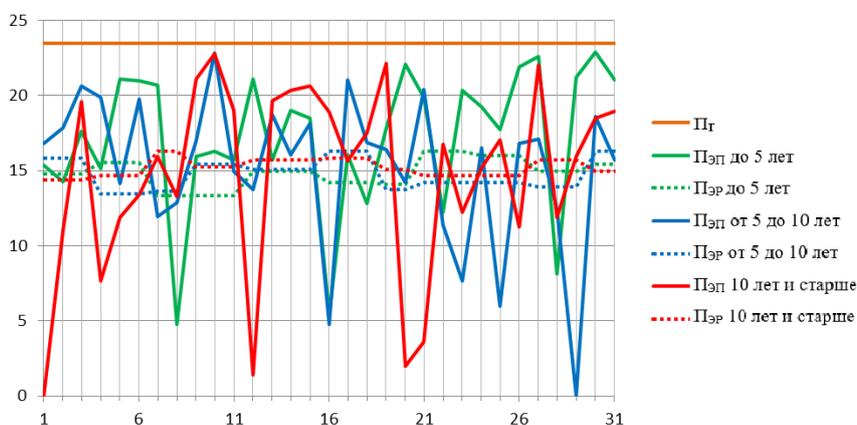


Рис.1. График изменения средних значений часовой эксплуатационной расчётной и фактической производительностей трёх экскаваторов-погрузчиков марки JCB 3CX по дням в течение июля 2020 г.

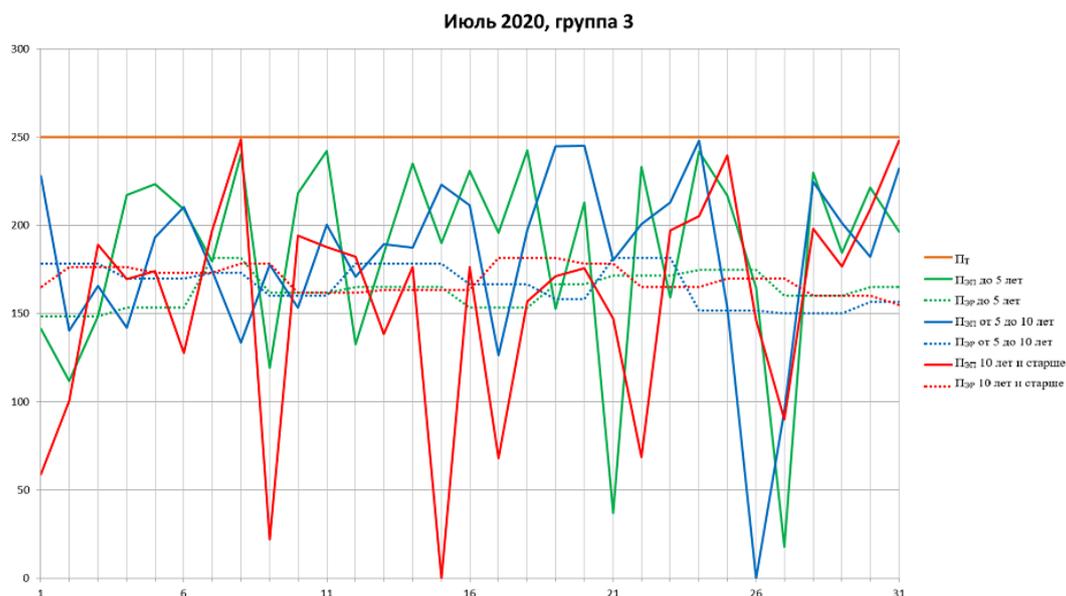


Рис.2. График изменения средних значений часовой эксплуатационной расчётной и фактической производительностей трёх асфальтоукладчиков Volvo ABG P682 OC по дням в течение июля 2020 г.

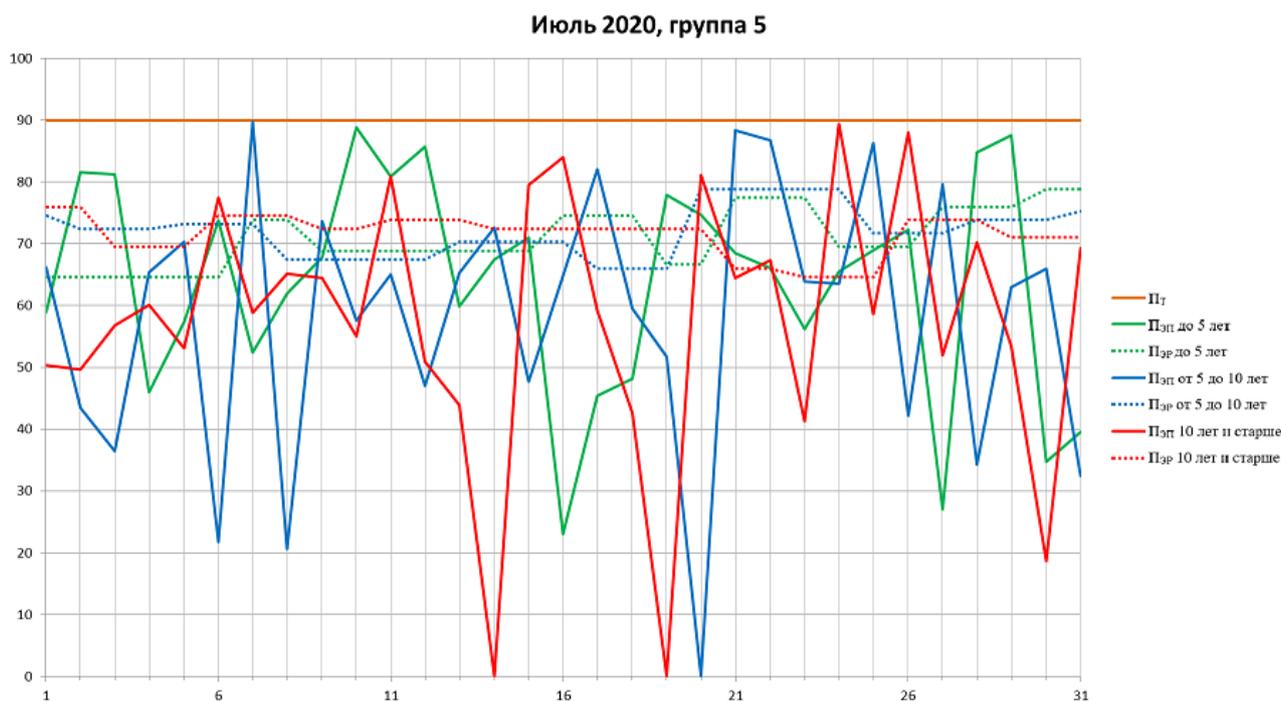


Рис.3. График изменения средних значений часовой эксплуатационной расчётной и фактической производительностей трёх коммунальных машин марки КамАЗ-65115 для содержания дорог по дням в течение июля 2020 г.

1. Оценка дорожной машины на всех этапах её жизненного цикла.
2. Определение места и участков выполнения или невыполнения производственного плана каждой исследуемой дорожной машины посуточно в рассматриваемый период.
3. Выявление причин снижения эксплуа-

ционной фактической производительности в конкретных местах.

4. Выявление и не допущение снижения эксплуатационной фактической производительности ниже планового значения.

5. Определение фактических коэффициентов технического использования $K_{т.и.}$ и

технической готовности $K_{т.г.}$ выбранных дорожных машин [13].

Основными недостатками данного подхода является необходимость больших временных затрат и информационных ресурсов, необходимость высокого уровня технической готовности персонала (исполнителей).

Для количественной оценки двух разных подходов к определению эксплуатационной производительностей производительности j -ой дорожной машины (расчетной $П_{эп_j}$ и фактической $П_{эф_j}$) за одни сутки её работы в рассматриваемый период времени удобно использовать коэффициент сходимости [14]. Он может быть определен по следующей зависимости

$$k_{cx_j} = П_{эп_j} / П_{эф_j}. \quad (10)$$

Полученные значения k_{cx_j} для девяти выбранных дорожных машин были сведены в табл. 2. Анализ полученных значений коэффициента сходимости k_{cx_j} выбранных машин за один месяц их работы позволил сделать следующие выводы.

1. Если значение коэффициента сходимости $k_{cx_j} < 1$, то значение $П_{эп}$ меньше, чем значение $П_{эф}$. Это означает, что в конкретный день работы с высокой степенью вероятности будет невыполнение плана работ конкретной дорожной машиной и перерасход топливо-эксплуатационных и строительных материалов.

2. Если значение коэффициента сходимости $k_{cx_j} > 1$, то значение $П_{эп}$ больше, чем значение $П_{эф}$. Это означает, что в конкретный день работы с высокой степенью вероятности будет перевыполнение плана работ конкретной дорожной машиной и недоиспользование строительных и топливо-эксплуатационных материалов.

3. Если значение коэффициента сходимости $k_{cx_j} = 1$, то реализуется идеальная ситуация сходимости, когда значения $П_{эп}$ и $П_{эф}$ равны. Это означает, что с высокой степенью вероятности будет иметь место выполнение плана работ, при этом перерасход или недоиспользование имеющихся производственных ресурсов будут отсутствовать или будут

незначительными [14, 15].

4. Сходимость эксплуатационных производительностей, полученных расчётным и экспериментальным путями, будет выше тогда, когда значения коэффициента сходимости k_{cx_j} будут ближе к единице. Значение k_{cx_j} может быть как больше, так и меньше 1. Однако в любом случае минимизируется разница между двумя подходами при решении одной задачи. Чем выше сходимость, тем эффективность способа определения эксплуатационной производительности расчётным путём выше и, соответственно, наоборот, чем ниже сходимость, тем эффективность способа определения эксплуатационной производительности экспериментальным путём выше [16].

5. Заключение

Проведённое исследование показало, что на практике более эффективно работает способ определения эксплуатационной производительности экспериментальным путём, т.е. определение эксплуатационной фактической производительности дорожных машин путём интегрирования объёмов плановых и фактических работ. Это позволяет более точно отражать работу дорожных машин на объектах. Определение эксплуатационной производительности по известным расчётным зависимостям, несмотря на свои недостатки, является способом, широко применяемым при планировании работ. Поэтому целесообразно способ определения эксплуатационной расчётной производительности применять при предварительных оценках объёмов работ, при выборе дорожных машин при формировании парка. При обеспечении рабочего процесса дорожных машин на конкретных объектах целесообразно применять способ определения эксплуатационной фактической производительности путём интегрирования плановых и фактических объёмов работ, так как он более точно отражает сам рабочий процесс. Современные условия позволяют осуществлять процесс мониторинга в режиме реального времени. Поэтому при грамотной организации рабочего процесса проводимые в обязательном порядке мероприятия

могут явиться необходимым и достаточным условием при выборе метода (способа) расчёта эксплуатационной производительности дорожных машин.

Таблица 2
 Значения коэффициента сходимости девяти выбранных дорожных машин за первые семь дней июля 2020 г.

Число месяца	k_{cx_j} до 5 лет	k_{cx_j} от 5 до 10 лет	k_{cx_j} 10 лет и старше
JCB 3CX			
1	0,96	0,94	0,00
2	1,04	0,89	1,31
3	0,84	0,77	0,73
4	1,03	0,68	1,92
5	0,74	0,95	1,23
6	0,74	0,68	1,10
7	0,64	1,14	1,02
Volvo ABG P682OC			
1	1,05	0,78	2,79
2	1,33	1,27	1,76
3	1,00	1,08	0,93
4	0,71	1,20	1,04
5	0,69	0,88	0,99
6	0,73	0,81	1,36
7	1,01	0,99	0,88
КамАЗ-65115			
1	1,09	1,13	1,51
2	0,79	1,67	1,53
3	0,79	1,98	1,22
4	1,40	1,11	1,16
5	1,13	1,04	1,31
6	0,87	3,36	0,96
7	1,41	0,82	1,27

Список литературы

1. Грушецкий С.М., Евтюков С.А., Репин С.В., 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.

2. Грушецкий С.М., Евтюков С.А., Репин С.В., Соболев А.А. Особенности постановки научных задач при исследовании систем мониторинга дорожных машин в современных условиях // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. 2020.

References

1. Grushetsky S.M., Evtyukov S.A., Repin S.V., Kuznecov A.A. Determination of technical and operating performance of road machines based on analysis of the scope of work. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, No.1, pp. 38-52. (In Russian)

2. Grushetsky S.M., Evtyukov S.A., Repin S.V., Sobolev A.A. Features of setting scientific tasks in the study of monitoring systems for road machines in modern conditions. *Bulletin of the Moscow Automobile and Road State Technical University*, 2020, No. 4 (63), pp. 36-42. (In Russian)

№ 4 (63). С. 36-42.

3. Мерданов Ш.М., Закирзаков Г.Г., Конеv В.В., Половников Е.В., Красиков А.А. Определение показателей эксплуатационных свойств современных строительно-дорожных машин // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 12-2. С. 312-317.

4. Грушецкий С.М., Евтюков С.А., Репин С.В., Карро Г.А. Производительность как качественный критерий оценки эффективности всех этапов системы жизненного цикла дорожных машин // *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета*. 2020. № 4 (63). С. 36-42.

5. Чооду О.А. Развитие систем планово-предупредительного ремонта горных и транспортно-технологических машин // *Вестник Тувинского государственного университета. Технические и физико-математические науки*. 2019. № 3 (42). С. 37-49.

6. Евтюков С.А., Репин С.В., Грушецкий С.М., Карро 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*. 2020. № 3 (62). С. 62-68.

7. Мандровский К.П. Анализ систем мониторинга дорожно-строительных машин и концепция системы управления эффективностью // *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета*. 2016. № 1 (44). С. 26-33.

8. Мандровский К.П. Обобщённые характеристики надёжности в системе мониторинга эффективности дорожных машин. // *Вестник Тихоокеанского государственного университета*. 2016. № 3 (42). С. 63-72.

9. Золин Р.Н., Заббаров А.Ш. Эффективное использование дорожной техники // *Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник*. 2018. № 11. С. 69-70.

10. Доценко А.И. Комплексный мониторинг параметров дорожных машин и асфальтобетонной смеси - основа повышения

3. Merdanov Sh.M., Zakirzakov G.G., Konev V.V., Polovnikov E.V., Krasikov A.A. Determination of performance indicators of modern road construction machines. *Fundamentalnye issledovaniya*, 2016, No.12-2, pp. 312-317. (In Russian)

4. Evtyukov S.A., Repin S.V., Grushetsky S.M., Carro G.A. Formation of a park of machines for the construction, reconstruction, repair and maintenance of automobile horns taking into account the stages of their life cycle. *Vestnik Moskovskogo avtomobilno-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2020, No. 3 (62), pp. 62-68. (In Russian)

5. Choodu O.A. Development of systems of planned preventive repair of mining and transport and technological machines. *Vestnik Tuvinского gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie i phisico-mathematische nauki*, 2019, No. 3 (42), pp. 37-49. (In Russian)

6. Grushetsky S.M., Evtyukov S.A., Repin S.V., Carro G.A. Performance as a qualitative criterion for assessing the effectiveness of all stages of the life cycle system of road machines. *Vestnik Moskovskogo avtomobilno-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2020, No. 4 (63), pp. 36-42. (In Russian)

7. Mandrovsky K.P. Analysis of monitoring systems of road construction machines and concept of efficiency management system. *Vestnik Moskovskogo avtomobilno-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2016, No. 1 (44), pp. 26-33. (In Russian)

8. Mandrovsky K.P. Generalized reliability characteristics in the system for monitoring the performance of road vehicles. *Vestnik Tihookeanskogo gosudartvennogo universiteta*, 2016, No. 3 (42), pp. 63-72. (In Russian)

9. Zolin R.N., Zabbarov A.Sh. Effective use of road technology. *Transport: science, technology, management. Scientific information collection*. 2018. № 11. pp. 69-70. (In Russian)

10. Docenko A.I. Comprehensive monitoring of parameters of road machines and asphalt concrete mixture - the basis for improving the quality of road pavements. *Vestnik*

качества покрытий автомобильных дорог // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. 2018. № 2 (53). С. 89-93.

11. Гаффарова С. Р. Современные системы мониторинга и контроля технического обслуживания подъемно-транспортных и строительно-дорожных машин. // Совершенствование автотранспортных систем и сервисных технологий: сб. научн. тр. по материалам XIV междунар. научно-техн. конф., посвящ. 95-летию д.т.н., проф., засл. деятеля науки и техники РФ Авдоськина Ф.Н. (1923-1996). 2018. С. 107-115.

12. Конеv В.В., Созонов С.В., Половников Е.В., Леочко А.Н. Анализ датчиков для исследования теплового состояния машин // Транспортные и транспортно-технологические системы: Мат. междунар. научно-техн. конф. 2015. С. 159-164.

13. Евтюков С.А., Репин С.В., Грушецкий С.М., Карро Г.А. Научные задачи исследования жизненного цикла дорожных машин в современных условиях // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2020. № 4 (74). С. 442-451.

14. Федоров С.А. Определение технической производительности и коэффициента использования машины по времени // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения. 2018. С. 101-103.

15. Кудяев А.Н., Косенко А.А., Бобров Д.В., Бобров В.Н. Исследование функционирования аппаратных средств мониторинга транспортных средств специального назначения // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 4-2. С. 255-259.

16. Мандровский К.П. Возможные перспективы развития систем мониторинга дорожных машин при управлении эффективностью и техническом аудите // Механизация строительства. 2016. № 10. С. 47-55.

Moskovskogo avtomobilno-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2018, No. 2 (53), pp. 89-93. (In Russian)

11. Gaffarova S.R.. The modern systems of monitoring and control of technical service hoisting-and-transport and systems - telno-road cars. In: *Proceeing of XIV the Int. Conf. "Improvement of motor transportation systems and service technologies"*. 2018, pp. 107-115. (In Russian)

12. Konev V.V., Sozonov S.V., Polovnikov E.V., Leochko A.N. Analysis of sensors for the study of the thermal state of machines. In: *Proceeing of Int. Conf. "Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy"*. 2015, pp. 159-164. (In Russian)

13. Evtyukov S.A., Repin S.V., Grushetsky S.M., Carro G.A. Scientific tasks of the study of the life cycle of road machines in modern conditions. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta*, 2020, No.4 (74), pp. 442-451. (In Russian)

14. Fedorov S.A. Determination of technical productivity and time utilization of the machine. *Dalniy Vostok. Avtomobilnye dorogi i bezopastnost dvizheniya*, 2018, pp. 101-103. (In Russian)

15. Kudaev A.N., Kosenko A.A., Bobrov D.V., Bobrov V.N. Study of the functioning of hardware for monitoring special-purpose vehicles. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2016, No. 4-2, pp. 255-259. (In Russian)

16. Mandrovsky K.P. Possible prospects for the development of monitoring systems for road machines with efficiency management and technical audit. *Mekhanizatsiya stroitelstva*, 2016, No. 10, pp. 47-55. (In Russian)