

УДК (UDC) 625.089.23

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ  
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЕЙ ДОРОЖНЫХ МАШИН НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА  
ОБЪЁМОВ РАБОТDETERMINATION OF TECHNICAL AND OPERATING PERFORMANCE OF ROAD  
MACHINES BASED ON ANALYSIS OF THE SCOPE OF WORKГрушецкий С.М., Евтюков С.А., Репин С.В., Кузнецов А.А.  
Grushetsky S.M., Evtuykov S.A., Repin S.V., Kuznecov A.A.Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (Санкт-Петербург, Россия)  
Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (Saint-Petersburg, Russian Federation)

**Аннотация.** Производительность дорожных машин является критерием, который связывает все этапы жизненного цикла дороги и жизненного цикла дорожных машин. Для обеспечения жизненного цикла дорог и жизненного цикла дорожных машин необходимо выполнение, как минимум, трёх условий: выполнение в срок необходимых объёмов дорожных работ; обеспечение технического состояния дорожных машин на уровне, позволяющем выполнять технические задания; качество выполняемых объёмов работ должно соответствовать предъявляемым требованиям. Таким образом, одной из целей проводимой работы является исследование связи между объёмами выполняемых дорожными машинами работ при обеспечении жизненного цикла дорог и этапами жизненного цикла дорожных машин через их производительность. Целью данной статьи является показать, как определялись техническая, эксплуатационные плановая (необходимая) и фактическая производительности дорожных машин при работе на конкретных объектах при проведении эксперимента.

**Ключевые слова:** дорожная машина, жизненный цикл дороги, жизненный цикл дорожной машины, производительность.

**Дата принятия к публикации:** 24.02.2021  
**Дата публикации:** 25.03.2021

**Сведения об авторах:**

**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.

**Евтюков Сергей Аркадьевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Наземные транспортно-технологические машины», Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, e-mail: s.a.evt@mail.ru.

**Репин Сергей Васильевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Наземные транспортно-технологические машины», Санкт-

**Abstract.** Performance of road cars is criterion which connects all stages of life cycle of the road and life cycle of road cars. To ensure the life cycle of roads and the life cycle of road machines, at least three conditions must be fulfilled: the completion of the necessary volumes of pre-construction work on time; Maintenance of road machines at the level enabling them to perform technical tasks; The quality of the scope of work should meet the requirements. Thus, one of the objectives of the work carried out was to study the relationship between the volumes of work carried out by road machines while ensuring the life cycle of roads and the stages of the life cycle of road machines through their performance. The purpose of this article is to show how the technical, operational planned (necessary) and actual performance of road machines was determined when working at specific facilities during the experiment.

**Keywords:** road machine, road life cycle, road machine life cycle, productivity.

**Date of acceptance for publication:** 24.02.2021  
**Date of publication:** 25.03.2021

**Authors' information:**

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

**Sergey A. Evtuykov** - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Land Transport and Technological Vehicles" at Saint-Petersburg State University Architecture and Civil Engineering, e-mail: s.a.evt@mail.ru.

**Sergey V. Repin** - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Land Transport and Technological Vehicles" at Saint-Petersburg State Uni-

Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,  
*e-mail: repinserge@mail.ru.*

**Кузнецов Артем Александрович** – соискатель кафедры «Наземные транспортно-технологические машины», Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,  
*e-mail: eltechfifa@gmail.com.*

† university Architecture and Civil Engineering,  
† *e-mail: repinserge@mail.ru.*

† **Artem A. Kuznecov** – Applicant of the Department of "Land Transport and Technological Vehicles", at Saint-Petersburg State University Architecture and Civil Engineering, *e-mail: eltechfifa@gmail.com.*

## 1. Введение

При проектировании, производстве, эксплуатации дорожных машин рассматривают три основных вида производительностей машин: конструктивно-расчётную, техническую и эксплуатационную. В статье будут рассматриваться техническая и эксплуатационная производительности дорожных машин. Эксплуатационная производительность будет рассматриваться двух видов – это эксплуатационная плановая производительность и эксплуатационная фактическая производительность. Выбор видов производительности дорожных машин обусловлен прежде всего условиями проведения эксперимента.

Под технической производительностью следует понимать максимально возможную производительность конкретной дорожной машины с учётом её технических характеристик в конкретных условиях работы.

Под эксплуатационной плановой производительностью следует понимать необходимую производительность конкретной дорожной машины для выполнения требуемого объёма работ, к которой надо стремиться при работе дорожных машин.

Под эксплуатационной фактической производительностью следует понимать фактическую (реальную) производительность конкретной дорожной машины при выполнении требуемого объёма работ.

В эксперименте участвовали 78 дорожных машин для строительства, реконструкции, ремонта и содержания автомобильных дорог шести функциональных групп:

- машины для землеройных и земляных работ;
- грузоподъёмные машины;
- машины для работы с асфальтобетонными смесями – машины асфальтовой группы;
- машины для уплотнения грунта и укладки асфальта;

- коммунальные машины для содержания автомобильных дорог и машины для нанесения горизонтальной дорожной разметки (маркировочные машины).

Выбранные дорожные машины работали в четырёх регионах Российской Федерации: Нижегородской, Московской и Ленинградской областях, г. Санкт-Петербург.

Эксперимент осуществлялся в течение одного года с ноября 2019 г. до ноября 2020 г. Выбранные машины асфальтовой группы – дорожные фрезы (9 машин), автогудронаторы (9 машин), асфальтоукладчики (9 машин) и асфальтовые катки (6 машин) в период с 16 ноября 2019 г. до 16 апреля 2020 г. не работали в силу сезонных изменений. Машины для нанесения горизонтальной дорожной разметки (9 машин) по той же причине не работали с 01 ноября 2019 г. до 01 мая 2020 г. Остальные из общего числа дорожных машин работали в течение всего рассматриваемого периода, т.е. один год.

Для проведения эксперимента были заключены соглашения между Санкт-Петербургским государственным архитектурно-строительным университетом и тремя крупными дорожными организациями, расположенными и осуществляющими профессиональную деятельность на территории Российской Федерации в разных регионах: АО «СМУ-Дондорстрой», ФКУ «Центравтоммагистраль» и АО «ПО РосДорСтрой». Данные соглашения подразумевали двухсторонний обмен информацией, представляющей научный интерес в области эксплуатации дорожных машин.

В основу выбора дорожных машин для проведения исследования были положены следующие требования и принципы.

1. Все дорожные машины должны работать на дорогах федерального значения. Это требование продиктовано тем, что практически на всех машинах, занятых в производст-

венном процессе на дорогах федерального значения, устанавливается система мониторинга, которая позволяет отслеживать в разных режимах основные рабочие параметры машин. К основным рабочим параметрам дорожных машин относятся: локация, уровень топлива в баке, расход топлива и напряжение бортовой сети. Практически на всех исследуемых машинах устанавливается большое количество датчиков, которые позволяют контролировать параметры рабочих органов и двигателя. Практически на всех дорожных машинах, работающих на федеральных дорогах, применяются автоматические или полуавтоматические рабочие системы, гарантирующие качество выполняемых работ.

2. Рассматриваемые дорожные машины должны работать в режиме одной, двух или трёх смен в течение суток. Дорожная машина в течение смены работает 8 ч. Возможны кратковременные остановки в работе дорожной машины на смену оператора. Исключением является возникновение отказов в работе дорожной машины или выполнение работ по её плановому техническому обслуживанию. Уменьшение потерь рабочего времени обеспечивается в основном вахтовым методом работы на объектах. Если оператор дорожной машины в течение смены отдыхает, то в это время его заменяет другой оператор.

3. Необходимо выбирать дорожные машины, которые участвуют в полном цикле работ по строительству, реконструкции, ремонту и содержанию автомобильных дорог. Независимо от того, на каком объекте работает дорожная машина, а именно, на строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог применяются дорожные машины всех шести вышеуказанных функциональных групп. Разница заключается только в объёмах выполняемых работ. Поэтому при проведении эксперимента дорожные машины выбирались по принципу максимальной или средней их загрузки, чтобы вероятность проявления всех качеств дорожных машин как положительных, так и отрицательных была высока.

4. Для объективности проведения исследований дорожных машин всех функцио-

нальных групп необходимо их разделить по возрастным группам. Целесообразно рассмотреть три возрастные группы:

- машины до пяти лет;
- машины от пяти до десяти лет;
- машины десяти лет и старше.

На объектах работ можно встретить дорожные машины всех трёх возрастных групп. Необходимо учитывать, что в современных условиях идёт тенденция на омоложение парка дорожных машин, но несмотря на это, в эксплуатации при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог находятся достаточно большое количество дорожных машин второй и третьей возрастных групп. Это объясняется тем, что под модернизацией парка дорожных машин подразумевается не только приобретение новых дорогостоящих дорожных машин, но и проведение мероприятий по поддержанию их технически исправного состояния [1, 2]. Кроме того, при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог требуется выполнение большого количества вспомогательных операций, для выполнения которых прекрасно подходят дорожные машины второй и третьей возрастных групп. Поэтому вопрос о целесообразности продолжения эксплуатации дорожной машины является и остаётся очень актуальной научной задачей [1, 2]. В связи с этим, в каждой функциональной группе при выборе машин было стремление найти машины одной марки в каждой возрастной группе.

В качестве примера в табл.1 приведены данные о 9 дорожных машинах из их общего количества. Эти дорожные машины принимали участие в эксперименте при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог и соответствуют всем четырём вышеуказанным принципам.

## 2. Постановка задачи

Для достижения вышеуказанных целей были поставлены и решены следующие задачи.

1. Необходимо установить для выбранных выше дорожных машин планируемые объёмы работ и время их работы при строительстве, реконструкции, ремонте и содержа-

Таблица 1  
Возрастные данные дорожных машин

Марка, возраст	до 5 лет	от 5 до 10 лет	10 лет и старше
Экскаватор-погрузчик JCB 3CX	+	+	+
Асфальтоукладчик Volvo ABG P6820C	+	+	+
Коммунальная машина КамАЗ 65115	+	+	+

нии автомобильных дорог на конкретных объектах посуточно в рассматриваемый период [3, 11].

2. Необходимо установить для выбранных выше дорожных машин факт выполнения объёмов работ и время их работы при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог на конкретных объектах посуточно в рассматриваемый период.

3. Необходимо обосновать и определить техническую производительность выбранных выше дорожных машин при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог [7, 8, 11].

4. Необходимо определить экспериментальным путём среднее значение часовой эксплуатационной плановой производительности за сутки в течение рассматриваемого периода для выбранных выше дорожных машин путём интегрирования плановых объёмов работ;

5. Необходимо определить экспериментальным путём среднее значение часовой эксплуатационной фактической производительности за сутки в течение рассматриваемого периода для выбранных дорожных машин путём интегрирования фактических объёмов работ.

6. Проанализировать и дать оценку полученным результатам [4].

### 3. Разработанные модели, методы

Исследование представляет собой сочетание логического анализа, инженерных расчётов и метода экспертных оценок получаемой информации [5, 7, 11].

Все выбранные для эксперимента дорожные машины работали в тяжёлых и средних

по нагрузке условиях на федеральных объектах строительства:

- автомобильная дорога М7 «Волга», работы по строительству, реконструкции, ремонту и содержанию автомобильных дорог в рамках государственных контрактов (№162, 484, 199, 269, 438 и др.);

- автомобильная дорога А-108 «Большое Московское кольцо», работы по ремонту (капитальному) и содержанию автомобильной дороги в рамках распоряжения Росавтодора № 1054-р от 20.06.2017 года (ПИР 2017-2019, ПИР 2015-2020, ПИР 2019-2020);

- автомобильная дорога А-118 «Кольцевая автомобильная дорога вокруг г. Санкт-Петербурга», работы по ремонту (местному и капитальному) и содержанию автомобильных дорог.

Определение планируемых объёмов работ осуществлялось расчётно-практическим способом. Были изучены первичные основополагающие документы по каждому из объектов:

- паспорта рассматриваемых объектов;
- государственные контракты с подрядными организациями;
- планы и карты местности;
- особенности регионов в том числе климатические;
- рабочие журналы и тетради мастеров, а также начальников дорожных участков;
- сменные рапорты ЭСМ-3, 7.

Были осуществлены поездки по объектам строительства, реконструкции, ремонту и содержанию автомобильных дорог в течение рассматриваемого периода. Таким образом, были получены значения планируемых объёмов работ и времени работы выбранных дорожных машин посуточно в течение одного года в рассматриваемый период. Значения планируемых объёмов работ, выбранных дорожных машин были сведены в специальные таблицы.

Для примера в табл. 2 показаны значения планируемых объёмов работ  $Q_{п}$  только девяти (табл.1) дорожных машин, а также часы их работы  $T_{п}$  посуточно в течение первых семи дней одного месяца работы. Для трёх экскаваторов-погрузчиков и трёх асфальтоукладчиков – за июль 2020 г. Для трёх ком-

мунальных машин для содержания автомобильных дорог – за февраль 2020 г. Выбор месяца работы дорожных машин обусловлен загрузкой выбранных машин в рассматриваемый период времени.

Далее была проведена работа по определению суточных фактических объёмов работ и времени работы выбранных дорожных машин за рассматриваемый период. Кроме изучения всех необходимых рабочих документов практически непрерывно вёлся анализ работы системы мониторинга дорожных машин, установленной на всех выбранных

дорожных машинах, что значительно упростило сбор объективной информации о работе дорожных машин на объектах. Были определены, как минимум: перемещения дорожных машин; удельный расход топлива; напряжение бортовой сети, выполнение рабочих операций с грузом и без; обработанные дорожные участки за смену, за сутки, за месяц и год [6]. В качестве примера на рис. 1 представлено рабочее окно системы мониторинга для коммунальной машины для содержания автомобильных дорог, участвующей в эксперименте.

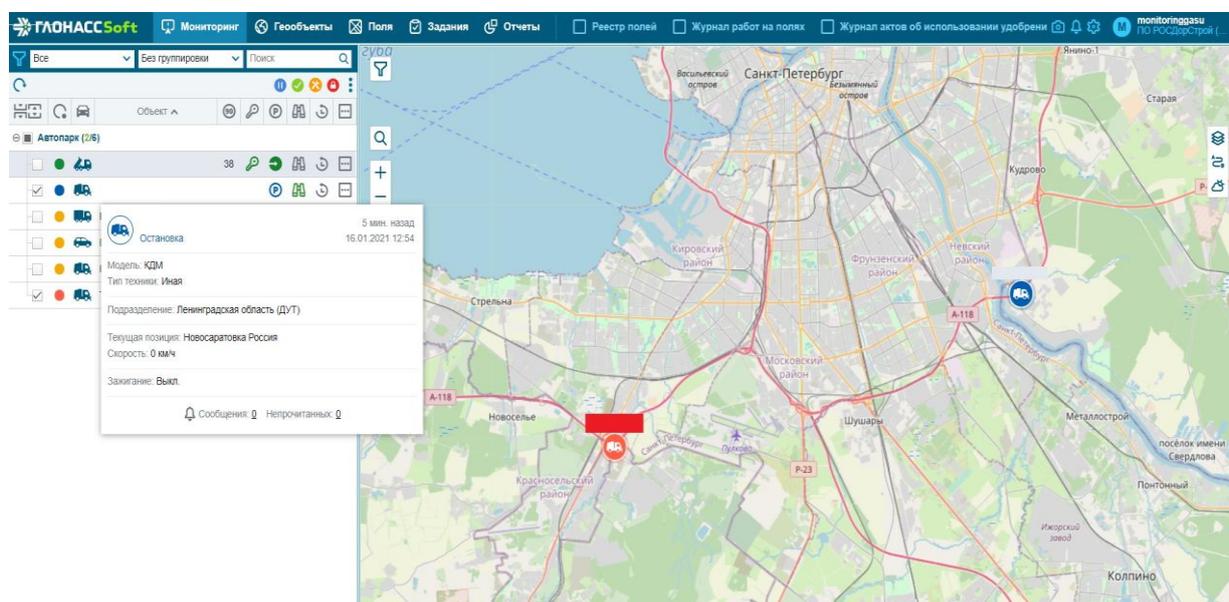


Рис.1. Рабочее окно системы мониторинга

Таблица 2

Значения суточных планируемых объёмов работ  $Q_{п}$  и времени работы  $T_{п}$  девяти дорожных машин, участвовавших в эксперименте в течение первых семи дней одного месяца работы

Машина	JCB 3CX			Volvo ABG P6820C			КамАЗ 65115			Число месяцев
	до 5 лет	5 – 10 лет	10 лет и старше	до 5 лет	5 – 10 лет	10 лет и старше	до 5 лет	5 – 10 лет	10 лет и старше	
$P_{т}$	23 м <sup>3</sup> /ч			250 м <sup>2</sup> /ч			90000 м <sup>2</sup> /ч			
$Q_{п}/ T_{п}$	224/16	231/16	66/8	1945/16	4923/24	421/8	1392/24	1038/16	646/16	1
$Q_{п}/ T_{п}$	192/16	140/8	75/8	733/8	1908/16	699/8	808/16	702/16	1187/16	2
$Q_{п}/ T_{п}$	231/16	441/24	282/16	2543/16	225/16	3854/24	368/8	1036/16	272/8	3
$Q_{п}/ T_{п}$	99/8	140/8	64/8	2989/16	1659/16	2331/16	2064/24	847/16	1247/16	4
$Q_{п}/ T_{п}$	440/24	194/16	160/16	4073/24	1299/8	3679/24	610/16	532/8	499/8	5
$Q_{п}/ T_{п}$	428/24	128/8	96/8	2576/16	1431/8	1635/16	1348/24	1561/24	1447/24	6
$Q_{п}/ T_{п}$	402/24	199/16	332/24	3533/24	3389/24	2556/16	1890/24	591/16	448/8	7

Таким образом, были получены значения фактических объёмов работ выбранных дорожных машин и время их работы посуточно в течение одного года в рассматриваемый период. Данные значения для 78 дорожных машин, участвовавших в эксперименте, были сведены в специальные таблицы по месяцам. Для примера в табл. 3 представлены значения суточных фактических объёмов работ  $Q_{\phi}$  и времени работы  $T_{\phi}$  дорожных машин, участвовавших в эксперименте в течение первых семи дней одного месяца работы.

Особое внимание необходимо обратить на процесс определения технической производительности выбранных дорожных машин.

Техническая производительность является характеристикой дорожных машин, необходимой для решения ряда практических задач [7, 9]. Одной из таких задач является выбор самой машины. Анализ технических характеристик рассматриваемых дорожных машин показал, что техническая производительность, указываемая заводом-изготовителем, имеет максимальное значение для условий далёких от реальности; либо не указывается при каких условиях определены данные значения или значения технической производительности вообще отсутствуют в нормативных и достоверных источниках.

Таблица 3

Значения суточных фактических объёмов работ  $Q_{\phi}$  и времени работы  $T_{\phi}$  девяти дорожных машин, участвовавших в эксперименте в течение первых семи дней одного месяца работы

Машина	JCB 3CX			Volvo ABG P6820C			КамАЗ 65115			Число месяца
	до 5 лет	5 – 10 лет	10 лет и старше	до 5 лет	5 – 10 лет	10 лет и старше	до 5 лет	5 – 10 лет	10 лет и старше	
$P_T$	23 м <sup>3</sup> /ч			250 м <sup>2</sup> /ч			90000 м <sup>2</sup> /ч			
$Q_{\phi}/T_{\phi}$	246/16	269/16	PEM	2262/16	5470/24	473/8	1547/24	1180/16	778/16	1
$Q_{\phi}/T_{\phi}$	228/16	143/8	88/8	894/8	2245/16	804/8	998/16	771/16	1413/16	2
$Q_{\phi}/T_{\phi}$	282/16	795/24	313/16	2677/16	2649/16	4534/24	490/8	1264/16	320/8	3
$Q_{\phi}/T_{\phi}$	121/8	159/8	61/8	3475/16	2272/16	2711/16	1985/24	1169/16	1401/16	4
$Q_{\phi}/T_{\phi}$	506/24	226/16	190/16	5359/24	1547/8	4181/24	803/16	657/8	587/8	5
$Q_{\phi}/T_{\phi}$	503/24	158/8	107/8	3346/16	1684/8	2044/16	1498/24	1858/24	1702/24	6
$Q_{\phi}/T_{\phi}$	496/24	191/16	382/24	4308/24	4184/24	3156/16	2032/24	777/16	503/8	7

Это объясняется рядом факторов. В различных условиях работы дорожной машины техническая производительность будет существенно различаться. Поэтому завод-изготовитель, как правило, в инструкциях по эксплуатации и других документах указывает геометрические размеры рабочих органов и рабочие скорости перемещения дорожной машины, что даёт возможность для конкретных условий эксплуатации дорожных машин определить её техническую производительность (максимальное значение) [3, 7, 8]. Именно таким образом были определены технические характеристики производительности всех 78 дорожных машин, участвовавших в эксперименте, в том числе и 9 указанных выше в табл. 1.

Например, для экскаваторов-погрузчиков марки JCB 3CX расчёт технической производительности выполнялся следующим образом. Они имеют следующие технические характеристики: глубина копания 5460 мм; масса 8445 кг; объём фронтального ковша на

конкретных машинах 1 м<sup>3</sup>; объём ковша экскаватора на конкретных машинах 0,4 м<sup>3</sup>; мощность двигателя 68,6 кВт. После длительного наблюдения за работой данной марки машин в течение нескольких месяцев было установлено, что при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог данные дорожные машины в равной степени имеют загрузку как работая в режиме бульдозера-погрузчика, так и в режиме экскаватора. Работая, в основном, с такими материалами как песок, щебень и т.д., минимальное время цикла в режиме бульдозера-погрузчика с максимально заполненным ковшом (с горкой) не превышает 2,6 мин.; в режиме экскаватора не превышает 1,0...1,1 мин. Максимальное число циклов, которое может совершить данная машина с полностью заполненным ковшом погрузчика или экскаватора в конкретных условиях для режима бульдозера составляет 23 цикла/ч, для режима экскаватора - 55...60 циклов/ч.

Под циклом понимается процесс полной загрузки ковша, подъём, поворот, опускание, рабочие передвижения машины и выгрузка ковша [9]. Таким образом, техническая производительность в рассматриваемых условиях экскаваторов-погрузчиков марки JCB 3СХ составляет 23 м<sup>3</sup>/ч.

После проведения подготовительных работ по проведению эксперимента были определены посуточно средние значения эксплуатационной плановой и фактической часовой производительностей путём интегрирования суточных значений планируемых и фактических объёмов работ по времени следующим образом:

$$P_{\text{ЭП}_j} = \int_i^{i_n} \frac{Q_{\text{П}_j} dt_i}{T_{\text{П}_j}}; \quad (1)$$

$$P_{\text{ЭФ}_j} = \int_i^{i_n} \frac{Q_{\text{Ф}_j} dt_i}{T_{\text{Ф}_j}} \quad (2)$$

где  $P_{\text{ЭП}_j}$ ,  $P_{\text{ЭФ}_j}$  – средние значения часовой эксплуатационной, соответственно, плановой и фактической производительностей для каждой  $j$ -ой выбранной дорожной машины за одни сутки её работы в рассматриваемый период времени по месяцам;  $i-i_n$  – дни месяцев в течение рассматриваемого периода времени;  $Q_{\text{П}_j}$ ,  $Q_{\text{Ф}_j}$  – суточные значения, соответственно, плановых и фактических объёмов

работ каждой  $j$ -ой выбранной дорожной машины в рассматриваемой период времени по месяцам;  $T_{\text{П}_j}$ ,  $T_{\text{Ф}_j}$  – время работы каждой  $j$ -ой выбранной дорожной машины в течение суток, соответственно, плановые и фактические значения.

В результате интегрирования суточных значений плановых и фактических объёмов работ по времени были получены и сведены в таблицы средние значения часовой эксплуатационной, соответственно, плановой и фактической производительностей для каждой выбранной дорожной машины за одни сутки её работы в рассматриваемой период времени, т.е. в течение одного года по месяцам. Каждый месяц при этом рассматривался отдельно.

В качестве примера в табл. 4 полученные значения показаны для 9 выбранных дорожных машин (табл.1) за первые 7 дней их работы в начале месяца.

Были построены графические и математические зависимости изменения средних значений часовой эксплуатационной плановой и фактической производительностей рассматриваемых дорожных машин по дням в рассматриваемый период. Каждый месяц рассматривался отдельно. На рис. 2 - 4 показаны графические зависимости для 9 выбранных дорожных машин.

Таблица 4

Средние суточные значения часовой эксплуатационной, соответственно, плановой и фактической производительностей для девяти выбранных дорожных машин за семь дней их работы в начале месяца

Число месяца	Июль 2020 года											
	Экскаваторы-погрузчики JCB 3СХ											
	до 5 лет				от 5 до 10 лет				10 лет и старше			
	$P_{\text{ЭП}}$ , м <sup>3</sup> /ч	$P_{\text{ЭФ}}$ , м <sup>3</sup> /ч	$K_{\text{ТИ}}$	$K_{\text{ТГ}}$	$P_{\text{ЭП}}$ , м <sup>3</sup> /ч	$P_{\text{ЭФ}}$ , м <sup>3</sup> /ч	$K_{\text{ТИ}}$	$K_{\text{ТГ}}$	$P_{\text{ЭП}}$ , м <sup>3</sup> /ч	$P_{\text{ЭФ}}$ , м <sup>3</sup> /ч	$K_{\text{ТИ}}$	$K_{\text{ТГ}}$
1	14,0	15,4	1,10	0,65	14,5	16,8	1,16	0,72	8,3	ремонт		
2	12,0	14,3	1,19	0,61	17,5	17,9	1,02	0,76	9,4	11,0	1,18	0,47
3	14,5	17,6	1,22	0,75	18,4	20,6	1,12	0,88	17,6	19,6	1,11	0,83
4	12,4	15,1	1,22	0,64	17,5	19,9	1,14	0,85	8,0	7,6	0,95	0,32
5	18,3	21,1	1,15	0,90	12,1	14,1	1,16	0,60	10,0	11,9	1,19	0,51
6	17,8	21,0	1,18	0,89	16,0	19,8	1,23	0,84	12,0	13,4	1,11	0,57
7	16,7	20,7	1,23	0,88	12,4	11,9	0,96	0,51	13,8	15,9	1,15	0,68

Окончание табл. 4

Число месяца	Июль 2020 года											
	Асфальтоукладчики Volvo ABG P6820C											
	до 5 лет				от 5 до 10 лет				10 лет и старше			
	П <sub>эп</sub> , М <sup>3</sup> /ч	П <sub>эф</sub> , М <sup>3</sup> /ч	К <sub>ти</sub>	К <sub>тг</sub>	П <sub>эп</sub> , М <sup>3</sup> /ч	П <sub>эф</sub> , М <sup>3</sup> /ч	К <sub>ти</sub>	К <sub>тг</sub>	П <sub>эп</sub> , М <sup>3</sup> /ч	П <sub>эф</sub> , М <sup>3</sup> /ч	К <sub>ти</sub>	К <sub>тг</sub>
1	121,6	141,4	1,16	0,57	205,1	227,9	1,11	0,91	52,6	59,1	1,12	0,24
2	91,6	111,8	1,22	0,45	119,3	140,3	1,18	0,56	87,4	100,5	1,15	0,40
3	159,0	148,6	0,93	0,59	139,1	165,6	1,19	0,66	160,6	188,9	1,18	0,76
Число месяца	Июль 2020 года											
	Асфальтоукладчики Volvo ABG P6820C											
	до 5 лет				до 5 лет				до 5 лет			
	П <sub>эп</sub> , М <sup>3</sup> /ч	П <sub>эф</sub> , М <sup>3</sup> /ч	К <sub>ти</sub>	К <sub>тг</sub>	П <sub>эп</sub> , М <sup>3</sup> /ч	П <sub>эф</sub> , М <sup>3</sup> /ч	К <sub>ти</sub>	К <sub>тг</sub>	П <sub>эп</sub> , М <sup>3</sup> /ч	П <sub>эф</sub> , М <sup>3</sup> /ч	К <sub>ти</sub>	К <sub>тг</sub>
4	186,8	217,2	1,16	0,87	103,7	142,0	1,37	0,57	145,7	169,4	1,16	0,68
5	169,7	223,3	1,32	0,89	162,4	193,4	1,19	0,77	153,3	174,2	1,14	0,70
6	161,0	209,1	1,30	0,84	178,9	210,5	1,18	0,84	102,2	127,8	1,25	0,51
7	147,2	179,5	1,22	0,72	141,2	174,3	1,23	0,70	159,8	197,3	1,23	0,79
Число месяца	Февраль 2020 года											
	Коммунальные дорожные машины (КДМ) КамАЗ 65115											
	до 5 лет				от 5 до 10 лет				10 лет и старше			
	П <sub>эп</sub> , М <sup>3</sup> /ч	П <sub>эф</sub> , М <sup>3</sup> /ч	К <sub>ти</sub>	К <sub>тг</sub>	П <sub>эп</sub> , М <sup>3</sup> /ч	П <sub>эф</sub> , М <sup>3</sup> /ч	К <sub>ти</sub>	К <sub>тг</sub>	П <sub>эп</sub> , М <sup>3</sup> /ч	П <sub>эф</sub> , М <sup>3</sup> /ч	К <sub>ти</sub>	К <sub>тг</sub>
1	58,0	64,5	1,11	0,72	64,9	73,8	1,14	0,82	40,4	48,6	1,20	0,54
2	50,5	62,4	1,23	0,69	43,9	48,2	1,10	0,54	74,2	88,3	1,19	0,98
3	45,9	61,3	1,33	0,68	64,8	79,0	1,22	0,88	34,0	40,0	1,18	0,44
4	86,0	82,7	0,96	0,92	59,2	73,1	1,23	0,81	77,9	87,6	1,12	0,97
5	38,1	50,2	1,32	0,56	66,5	82,1	1,23	0,91	62,4	73,4	1,18	0,82
6	56,2	62,4	1,11	0,69	65,0	77,4	1,19	0,86	60,3	70,9	1,18	0,79
7	78,7	84,7	1,08	0,94	36,9	48,6	1,32	0,54	56,0	62,9	1,12	0,70

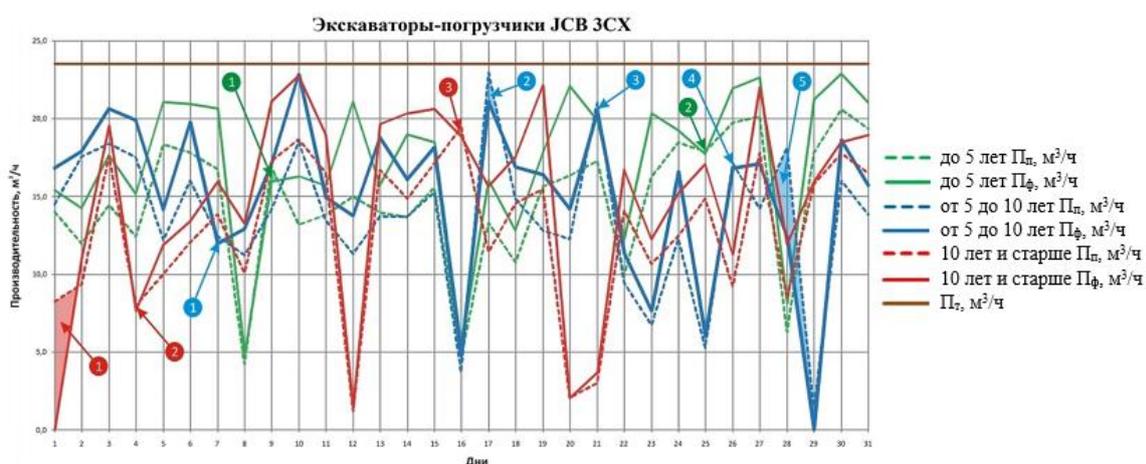


Рис. 2. График изменения средних значений часовой эксплуатационной плановой и фактической производительностей трёх экскаваторов-погрузчиков марки JCB 3CX по дням в течение июля 2020 г.

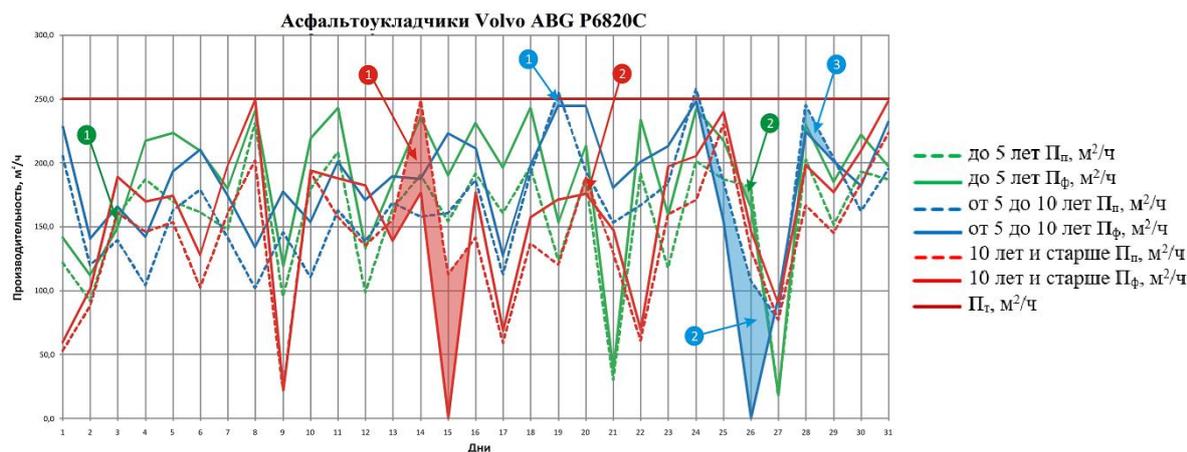


Рис. 3. График изменения средних значений часовой эксплуатационной плановой и фактической производительностей трёх асфальтоукладчиков марки Volvo ABG P 682 0C по дням в течение июля 2020 г.

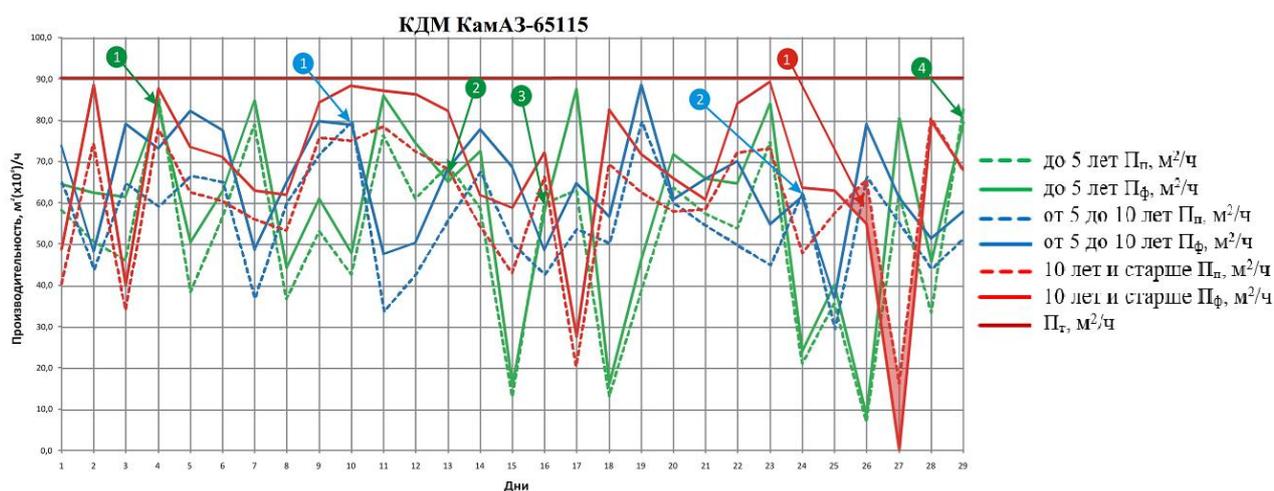


Рис. 4. График изменения средних значений часовой эксплуатационной плановой и фактической производительностей трёх коммунальных машин для содержания автомобильных дорог марки КамАЗ-65115 по дням в течение февраля 2020 г.

#### 4. Результаты и их анализ

После того, как в результате интегрирования значений плановых и фактических объёмов работ по времени были получены средние часовые значения эксплуатационной плановой и фактической производительностей рассматриваемых дорожных машин по дням в течение рассматриваемого периода по месяцам, был осуществлён анализ полученных результатов. Полученные зависимости являются графическими и математическими моделями работы выбранных дорожных машин на конкретных объектах с учётом всех этапов их жизненного цикла [4, 10]. Полученные модели позволяют исследовать связь

между объёмами работ и этапами жизненного цикла дорожных машин через производительность.

Исследование полученных зависимостей позволяет решить следующие основные задачи.

1. Произвести оценку дорожной машины на всех этапах её жизненного цикла. Это осуществляется сравнительным анализом определённых расчётным и экспериментальным путями технической, эксплуатационных плановой и фактической производительностей. На рис. 2 - 4 техническая производительность дорожной машины показана сплошной линией коричневого цвета. Именно данная линия характеризует этап проек-

тирования и производства дорожной машины. Далее на каждом из рисунков пунктирными линиями показаны эксплуатационная плановая производительность, соответственно, зелёного цвета – машины до пяти лет; синего цвета – от пяти до десяти лет и красного цвета машины – от десяти лет и старше. Аналогично сплошными линиями показаны эксплуатационные фактические производительности дорожных машин трёх возрастных групп. Этап утилизации на данных зависимостях может рассматриваться последними значениями сплошных линий красного цвета. Речь идёт об оценке работоспособности конкретных дорожных машин, возраст которых составляет десять лет и старше, что позволяет принять объективное решение о целесообразности их дальнейшего применения. Утилизация в данном случае является следствием принятого решения, когда продолжение эксплуатации конкретной дорожной машины нецелесообразно. Дорожные машины третьей возрастной группы ближе всех находятся к этапу утилизации. Поэтому потенциально решение об утилизации дорожной машины может быть принято в любой момент времени при работе дорожной машины третьей возрастной группы. Таким образом, на каждой из полученных зависимостей можно увидеть все этапы жизненного цикла дорожной машины одной марки трёх возрастных групп в течение рассматриваемого периода.

2. Установить места и участки выполнения или не выполнения производственного плана каждой исследуемой дорожной машины посуточно в рассматриваемый период. Нормальной работой дорожной машины является ситуация, когда среднее значение часовой эксплуатационной фактической производительности за сутки выше или равно аналогичному значению эксплуатационной плановой производительности [11]. Под местом невыполнения производственного плана в данном случае понимается конкретно день и время суток, когда произошло критическое падение эксплуатационной фактической производительности дорожной машины ниже планового значения. Такие места определяются на графиках (рис. 2 - 4) пересечением сплошных и пунктирных линий графика

ков одного цвета, когда динамика сплошной линии направлена вниз, а динамика пунктирной линии направлена вверх. Площадь зоны, образуемой их пересечением, есть не выполненная фактическая производительность дорожной машины. На рис. 2 - 4 можно увидеть нормальную (штатную) работу дорожной машины, т.е. выполнение производственного плана работ. Также можно увидеть места и участки, когда эксплуатационная фактическая производительность дорожной машины имеет значение ниже значения эксплуатационной плановой производительности. Такие места на графиках (рис. 2 - 4) показаны условными обозначениями в виде кружков со стрелками соответствующего цвета для машин одной марки разных возрастных групп. Цифрами в кружках обозначается последовательность событий по факту критического снижения эксплуатационной фактической производительности по отношению к эксплуатационной плановой производительности рассматриваемых дорожных машин в течение рассматриваемого месяца. На графиках зоны, образуемые пересечением сплошных и пунктирных линий одного цвета, если в начале таких зон динамика сплошной линии направлена вниз, а динамика пунктирной линии направлена вверх, наполнены заливкой соответствующего цвета (рис. 2 - 4).

3. Выявить причины снижения эксплуатационной фактической производительности в конкретных местах. Это осуществляется в основном с помощью системы мониторинга дорожных машин. Анализируется работа дорожных машин в течение суток за интересующий период. В частности, проверяются: расход топлива текущий и удельный; уровень топлива с момента заправки; моменты заправки топливом; возможные сливы топлива; все перемещения дорожных машин с учётом навигационных выбросов; напряжения в бортовой сети; положения рабочих органов; температуру эксплуатационных жидкостей и т.д. В результате возможно максимально объективно восстановить картину рабочего дня каждой дорожной машины в конкретное время. Дополнительно возможно изучение рабочих документов. Анализа системы мониторинга достаточно для выясне-

ния объективных причин снижения эксплуатационной фактической производительности [6, 8, 12]. Например, на рис. 5 - 8 (копии окон системы мониторинга дорожных машин) можно увидеть: нормальную плановую (рис.

5) работу дорожной машины, навигационные выбросы системы мониторинга дорожной машины (рис. 6), слив топлива дорожной машины (рис. 7), трудный запуск двигателя (рис. 8).

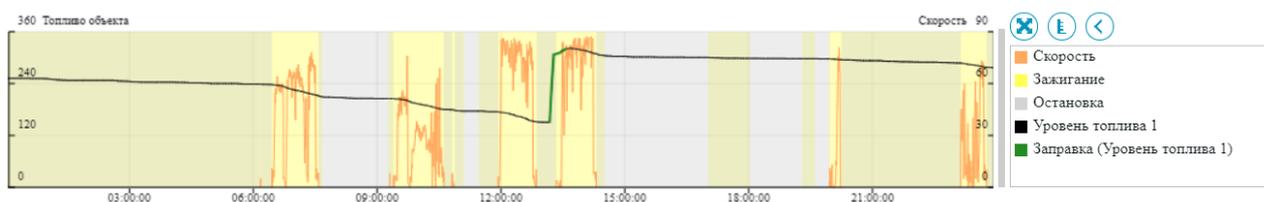


Рис. 5. Копия окна системы мониторинга дорожной машины при нормальной плановой работе дорожной машины

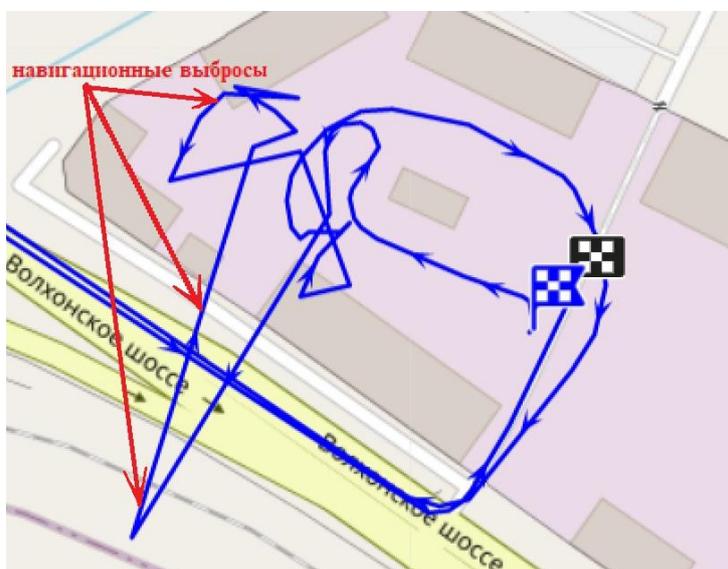


Рис. 6. Копия окна системы мониторинга дорожной машины при навигационных выбросах работы системы мониторинга дорожной машины



Рис. 7. Копия окна системы мониторинга дорожной машины при сливе топлива во время работы дорожной машины



Рис. 8. Копия окна системы мониторинга дорожной машины при трудном запуске двигателя во время работы дорожной машины

4. Выявить и не допустить снижение эксплуатационной фактической производительности ниже планового значения. Система мониторинга дорожной машины позволяет решить поставленную задачу с целью предупреждения и недопущения причин снижения эксплуатационной фактической производительности ниже планового значения [7, 8, 13]. Исключением в этой ситуации может быть возникновение отказа (отказов) в работе дорожной машины. Система мониторинга дорожной машины может в большинстве случаев эффективно способствовать предупреждению возникновению отказа (отказов) в работе дорожной машины [13, 14]. Например, в результате мониторинга дорожной машины и построения линии эксплуатационной фактической производительности режиме «онлайн» нетрудно спрогнозировать высокую вероятность пересечения пунктирной и сплошной линии одного цвета ещё до наступления данного события. Это является сигналом и серьёзным поводом усиления мониторинга конкретной дорожной машины для изменения динамики эксплуатационной фактической производительности дорожной машины. Возможно, в такой ситуации необходима замена конкретной дорожной машины другой дорожной машиной или принятие других оперативных решений. Необходимое и достаточное условие выполнения плановых объёмов работ конкретной дорожной

машины может быть выражено следующим соотношением

$$P_{\Phi_j} \geq P_{\Phi_j} . \quad (3)$$

5. Определить фактические коэффициенты технического использования  $K_{т.и.}$  и технической готовности  $K_{т.г.}$  выбранных дорожных машин следующим образом:

$$K_{т.и.j} = P_{\Phi_j} / P_{\Phi_j} ; \quad (4)$$

$$K_{т.г.j} = P_{\Phi_j} / P_{T_j} , \quad (5)$$

где  $K_{т.и.j}$  и  $K_{т.г.j}$  – фактические коэффициенты технического использования и технической готовности выбранных  $j$ -х дорожных машин;  $P_{T_j}$  – техническая производительность  $j$ -ой выбранной дорожной машины в течение рассматриваемого периода времени (табл. 2, 3).

Значения фактических коэффициентов технического использования и коэффициент технической готовности 9 выбранных дорожных машин (табл.1) представлены в табл. 4. Если значение фактического коэффициента технического использования больше единицы, то это свидетельствует о факте выполнения плана конкретной дорожной машиной за определённый день работы. Для примера на рис. 9 показаны значения  $K_{т.и.}$  и  $K_{т.г.}$  для экскаватора-погрузчика марки JCB 3СХ третьей возрастной группы за июль 2020 г.

## Экскаватор-погрузчик JCB 3СХ более 10 лет

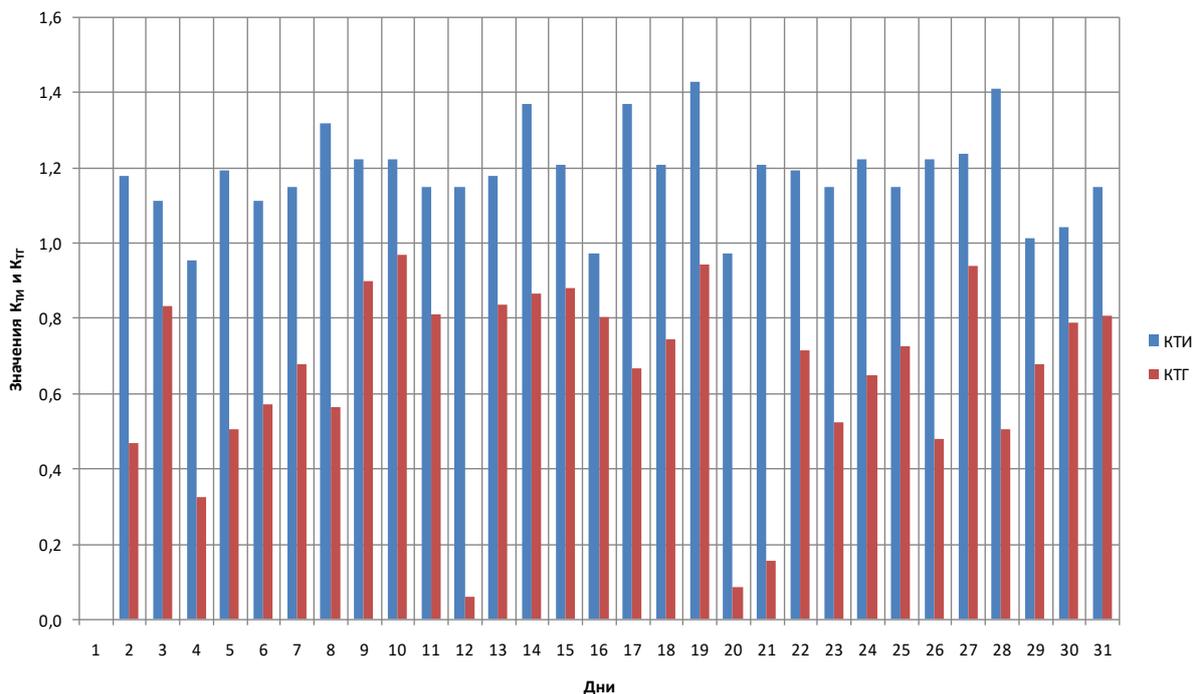


Рис. 9. Гистограммы значений  $K_{T.I,j}$  и  $K_{T.G,j}$  для экскаватора-погрузчика марки JCB 3СХ третьей возрастной группы за июль 2020 .

## 5. Заключение

Анализируя изложенный материал можно сделать вывод, что исследование связи между объёмами работ и этапами жизненного цикла дорожных машин на основе оценки производительности является перспективным, так как позволяет продолжить дальнейшую работу над вопросами обеспечения жизненного цикла дорожных машин, в том

числе, над вопросами прогнозирования производительности дорожных машин и определения состояния систем обеспечения жизненного цикла дорожных машин с точки зрения связей между этапами жизненного цикла. Решение поставленных перспективных задач позволит вывести вопросы эффективной эксплуатации дорожных машин на новый уровень [8, 15].

### Список литературы

1. 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.

2. 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-

### References

1. Grushetsky S.M., Yevtyukov 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, pp. 36-42. (In Russian)

2. Yevtyukov 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*

дорожного государственного технического университета. 2020. № 3 (62). С. 62-68.

3. Доценко А.И. Комплексный мониторинг параметров дорожных машин и асфальтобетонной смеси - основа повышения качества покрытий автомобильных дорог // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. 2018. № 2 (53). С. 89-93.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. Тагиева Н.К. Методика определения эксплуатационной производительности комбинированных дорожных машин // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. 2013. № 3 (34). С. 33-37.

8. Озорнин С.П., Бердников И.Е. Совершенствование организации мониторинга изменений технического состояния машин в эксплуатации // Вестник Забайкальского государственного университета. 2014. № 8. С. 64-69.

9. 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.

10. Чооду О.А. Развитие систем планово-предупредительного ремонта горных и транспортно-технологических машин //

gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2020, No.3, pp. 62-68. (In Russian)

3. Docenko A.I. Comprehensive monitoring of parameters of road machines and asphalt concrete mixture - the basis for improving the quality of road pavements. *Vestnik Moskovskogo avtomobilno-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2018, No.2, pp. 89-93. (In Russian)

4. Yevtyukov 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, pp. 442-451. (In Russian)

5. 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)

6. 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, pp. 26-33. (In Russian)

7. Tagieva N.K. Method of determination of performance of combined road machines. *Vestnik Moskovskogo avtomobilno-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, No.3, pp. 33-37. (In Russian)

8. Ozornin S.P., Berdnikov I.E. Improving the organization of monitoring of changes in the technical condition of machines in operation. *Vestnik Zabajkalskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014, No.8, pp. 64-69. (In Russian)

9. 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)

10. Choodu O.A. Development of systems of planned preventive repair of mining and transport and technological machines. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskii i phisico-matematicheskii nauki*, 2019, No.3, pp. 37-49. (In Russian)

Вестник Тувинского государственного университета. Технические и физико-математические науки. 2019. № 3 (42). С. 37-49.

11. Кутузов В.В. Эффективность эксплуатации строительных и дорожных машин с учетом изменения их технического состояния // Технология колесных и гусеничных машин. 2015. № 3 (19). С. 57-64.

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

13. Манакон А.Л., Игумнов А.А., Коларж С.А. Создание системы мониторинга технического состояния транспортных и технологических машин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2013. № 4. С. 125-132.

14. Конев В.В., Созонов С.В., Половников Е.В., Леочко А.Н. Анализ датчиков для исследования теплового состояния машин // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы международной научно-технической конференции. 2015. С. 159-164.

15. Мандровский К.П. Возможные перспективы развития систем мониторинга дорожных машин при управлении эффективностью и техническом аудите // Механизация строительства. 2016. Т. 77. № 10. С. 47-55.

11. Kutuzov V.V. Efficiency of operation of construction and road machines taking into account changes in their technical condition. *Tekhnologiya kolesnyh i gusenichnyh mashin*, 2015, No.3, pp. 57-64. (In Russian)

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

13. Manakov A.L., Igumnov A.A., Kolarge S.A. Creation of a system for monitoring the technical condition of transport and technological machines. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 2013, No.4, pp. 125-132. (In Russian)

14. Konev V.V., Sozonov S.V., Polovnikov E.V., Leochko A.N. Analysis of sensors for the study of the thermal state of machines. *Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*, 2015, pp. 159-164. (In Russian)

15. Mandrovsky K.P. Possible prospects for the development of monitoring systems for road machines with efficiency management and technical audit. *Mekhanizatsiya stroitelstva*, 2016, Vol. 77, No.10, pp. 47-55. (In Russian)