

Научная статья
УДК 625.08

Оптимизация системы обеспечения работоспособности наземных транспортно-технологических машин с помощью передвижных мастерских

Ву Нгок Ан

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Россия
vungocan2101@gmail.com

Аннотация. В условиях повышения требований к минимизации затрат на поддержание работоспособности и потерь от простоев наземных транспортно-технологических машин передвижные мастерские играют важную роль. Однако во Вьетнаме передвижные мастерские в ремонтных предприятиях применяют очень редко. Следовательно разработка передвижной мастерской для диагностики, технического обслуживания и ремонта наземных транспортно-технологических машин и оптимизация количества ремонтных мастерских является во Вьетнаме актуальной задачей. В данной статье рассмотрен вопрос проектирования передвижных мастерских для обеспечения во Вьетнаме работоспособности наземных транспортно-технологических машин на основе модульного принципа. Представлена методика оптимизации количества передвижных мастерских и специализированных видов технологического оборудования методом математического моделирования, который более эффективен по сравнению с другими методами, так как позволяет учитывать сложности процесса организации ремонтных работ в полевых условиях. Критерием оптимизации количества передвижных мастерских и специализированных модулей является минимизация потерь от простоев наземных транспортно-технологических машин и передвижных мастерских. Приведен расчет оптимального количества ремонтных станций и специализированных модулей для обслуживания и ремонта двигателей и гидросистем для парка одноковшовых экскаваторов северного региона Вьетнама.

Ключевые слова: техническое обслуживание и ремонт, наземные транспортно-технологические машины, передвижные мастерские, математическое моделирование, оптимизация.

Для цитирования: Ву Нгок Ан. Оптимизация системы обеспечения работоспособности наземных транспортно-технологических машин с помощью передвижных мастерских // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2023. №2 (36).

Original article

Optimization of the system for ensuring operability of ground transport and technological machines using mobile workshops

Vu Ngoc An

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),
Moscow, Russia
vungocan2101@gmail.com

Abstract. Mobile workshops play an important role in the condition of increasing the requirements for minimizing the costs of maintaining operability and losses from downtime of ground transport and technological machines. However, in Vietnam, mobile workshops are used in repair enterprises very rarely. Therefore, the development of a mobile workshop for diagnostics, maintenance and repair of ground transport and technological machines optimization of the number of repair shops in Vietnam is an urgent task. This article discusses the issue of designing to ensure the operability of ground transport and technological machines in Vietnam based on the modular principle. The method of optimization of the number of mobile workshops and specialized types of technological equipment by mathematical modeling is presented. The method of mathematical modeling is more effective than other methods, which allows taking into account the complexity of the process of organizing repair work in the field. The criterion for optimizing the number of mobile workshops and specialized modules is to minimize losses from downtime of ground transport and technological machines and mobile workshops. The calculation of the optimal number of repair stations, the number of specialized modules for the maintenance and repair of engines and hydraulic systems was carried out for a fleet of single-bucket excavators in the northern region of Vietnam.

Keywords: maintenance and repair, ground transport and technological machines, mobile workshops, mathematical modeling, optimization.

For citation: Vu Ngoc An. Optimization of the system for ensuring operability of ground transport and technological machines using mobile workshops. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2023. №2 (36).

Введение

Развитие инфраструктуры во Вьетнаме требует повышения эффективности эксплуатации наземных транспортно-технологических машин (НТТМ). Изучение опыта развитых стран показало, что передвижные мастерские для выездной диагностики, ремонта и технического

обслуживания являются важным звеном в системе обеспечения работоспособности НТТМ [1, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, 7]. Однако во Вьетнаме передвижные мастерские используются очень редко, что приводит к повышению потерь от простоев машин, затратам на перевозку машин от места эксплуатации до стационарной базы и снижению надежности НТТМ. В данной работе рассматриваются результаты разработки передвижных мастерских и оптимизации их количества для обеспечения работоспособности НТТМ во Вьетнаме.

Основная часть

В настоящее время для ремонта наземных транспортно-технологических машин (НТТМ) используются универсальные и специализированные передвижные мастерские (ПМ), выполненные на шасси грузовых автомобилей. Оснащение универсальных ПМ включает в себя в основном следующее: генератор, компрессор, верстак с тисками слесарными и выдвигными ящиками, ручную таль, токарный станок, сверлильный станок, точильно-шлифовальный станок, сварочное оборудование, оборудование для газовой резки, комплект слесарного инструмента, умывальник и др. [3, 9].

Развитие диагностических и смежных технологий позволяет разрабатывать специализированные виды передвижного оборудования для диагностики, ремонта и обслуживания строительной техники. Применение этих видов оборудования значительно сокращает трудоемкость диагностических работ по оценке состояния систем и выявлению неисправностей при ТО и ремонте, а также при выполнении работ по ТО и ремонту в полевых условиях. В отличие от оборудования, используемого в стационарных условиях предприятий, специализированные виды оборудования для передвижных станций не требуют работы с большой загрузкой в течение длительного времени. Основными критериями выбора

технологического оборудования передвижных станций являются: возможность использования в полевых условиях (например, высокие температура и влажность воздуха), высокая мобильность и малое потребление энергии.

Наиболее сложными системами НТТМ, требующими специального оборудования для диагностики, ТО и ремонта, являются гидросистема и двигатель. К популярным специализированным видам оборудования для ремонта гидросистем относятся: приборы для оценки герметичности, приборы для оценки давления в гидросистеме, приборы для оценки состояния фильтров, приборы для оценки состояния рабочей жидкости, гидротестер, установка для очистки масел, ёмкости для масла и т.д. Для ремонта двигателей необходимы приборы для проверки системы охлаждения, многоцелевой тахометр, приборы для проверки качества моторного масла, установка для очистки масел и т.д.

Большое количество видов специализированного оборудования не позволяет разместить всё в одной ПМ, что приводит к появлению ПМ, специализированных по видам работ, таких как ремонтные ПМ, ПМ для технического обслуживания или для диагностики. Недостатками специализированных ПМ являются большие капиталовложения в дополнительные автомобили, разница в интенсивности использования дорогостоящего специализированного оборудования и многообразие видов работ, приводящие к неэффективности эксплуатации или увеличению затрат из-за необходимости применения нескольких ПМ одновременно.

В этом случае свою эффективность доказал подход к проектированию передвижных мастерских для ТО и Р на основе модульного принципа [1, 2, 6]. Под модулем подразумевается специальный набор технологического оборудования, инструментов, приборов и технической документации, размещённых в контейнерах, предназначенных для выполнения

определенных видов работ или всей гаммы работ по обслуживанию определенной функциональной системы машины.

В общем случае ПМ, спроектированную на основе модульного принципа, можно представить в виде совокупности трех частей: базовый автомобиль, оборудованный кузовом-фургоном; технологическое оборудование, постоянно размещенное в кузове-фургоне; снимаемое технологическое оборудование, размещенное в блоках-контейнерах (модулях).

Пусть имеются различные комплекты оборудования K_1, K_2, \dots, K_r . Обозначим событие A – необходимость проведения воздействия для машины, например, внеплановый ремонт или ТО. Вероятность потребности комплекта оборудования K_r при появлении события A обозначается как $P(\bar{A}K_r)$.

НТТМ представляется как система, состоящая из подсистем S_1, S_2, \dots, S_n . Событие \bar{S}_i заключается в отказе i -й подсистемы машины. В свою очередь, подсистема S_i состоит из элементов $b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{im_i}$. Пусть событие \bar{B}_{ij} заключается в том, что отказ подсистемы S_i произошёл из-за отказа элемента b_{ij} . Вероятность отказа подсистемы S_i рассчитывается по формуле:

$$P(\bar{S}_i) = \sum_{j=1}^{m_i} P(\bar{B}_{ij}), \quad (1)$$

по формуле полной вероятности:

$$P(\bar{A}) = \sum_{i=1}^n P(\bar{S}_i)P(\bar{A}/\bar{S}_i), \quad (2)$$

отсюда:

$$P(\bar{A}K_r) = \sum_{i=1}^n P(\bar{S}_iK_r)P(\bar{A}/\bar{S}_i), \quad (3)$$

где $P(\bar{A}/\bar{S}_i)$ – вероятность отказа машины из-за отказа подсистемы S_i ;

$P(\bar{S}_iK_r)$ – вероятность потребности комплекта оборудования K_r при отказе подсистемы S_i .

С другой стороны, подсистема S_i состоит из совокупности элементов, следовательно:

$$P(\bar{S}_i K_r) = \sum_{j=1}^{m_i} P(\bar{B}_{ij} K_r) P(\bar{B}_{ij}), \quad (4)$$

где $P(\bar{B}_{ij} K_r)$ – вероятность потребности комплекта K_r при отказе элемента b_{ij} .

По формулам (3) и (4) выполняется анализ применимости каждого наименования оборудования без группирования в комплекты, т.е. под K_r понимается конкретный вид оборудования. Затем проводится группировка в комплекты по условию вероятности применимости, большей 0,8. Если не требуется какой-либо из специализированных комплектов, то применяется универсальный комплект.

Основные этапы технологического проектирования передвижных мастерских на основе модульного принципа заключаются в следующем:

- сбор статистической информации о проведенных ТО и внеплановых ремонтах;
- анализ полученных данных с целью определения номенклатуры, использованного технологического оборудования;
- систематизация всего технологического оборудования по критериям интенсивности использования и вероятности появления необходимости в конкретном технологическом оборудовании;
- формирование набора технологического оборудования, постоянно размещенного в передвижных мастерских;
- формирование специализированных комплектов технологического оборудования (модулей – СМ).

Одной из основных задач является оптимизация количества ПМ и СМ для обеспечения работоспособности НТТМ в полевых условиях. Для оптимизации количества ПМ и СМ используются три основных метода:

детерминированный метод; метод, основанный на теории массового обслуживания и метод математического моделирования [4, 8, 10].

Детерминированный метод является наиболее простым, но не учитывает такие факторы, как расстояние от центра до строительной площадки, потери от простоя НТТМ из-за ожидания ПМ, потери от простоя ПМ из-за отсутствия заявок, стохастические характеристики потока заявок и процессов ТО и Р. Метод, основанный на теории массового обслуживания, позволяет преодолеть недостатки детерминированного метода. Однако потоки заявок представляют собой простейшие потоки, которые не позволяют анализировать поступление заявок по системам и агрегатам. В настоящее время наиболее полным методом, позволяющим устранить недостатки двух вышеперечисленных методов, является математическое моделирование [4, 6, 10]. В данной работе автором использован метод математического моделирования.

В качестве критерия оптимизации количества ПМ и СМ приняты потери от простоев НТТМ в ожидании передвижных мастерских, а также потери от простоев ПМ и СМ в ожидании заявок:

$$C_{\text{сум}} = \sum C_{\text{дм}} + \sum C_{\text{пм}} + \sum C_{\text{см}} \rightarrow \min, \quad (5)$$

где $C_{\text{дм}}$ – потери от простоев НТТМ в ожидании ПМ (для внеплановых ремонтов), руб.;

$C_{\text{пм}}$ – потери от простоев ПМ, руб.;

$C_{\text{см}}$ – потери от простоев СМ, руб.

Простой НТТМ в ожидании ПМ включает в себя время ожидания появления свободных ПМ ($t_{\text{ож}}$) и время перемещения ПМ от ЦОРДМ до пункта потребности ($t_{\text{пр}}$):

$$t_{\text{пр}} = \frac{L_{ij}}{v}, \quad (6)$$

где L_{ij} – среднее расстояние от i -го ЦОРДМ до j -го пункта потребности, км;

\bar{V} – средняя скорость перемещения ПМ, км/час.

Потери от простоев НТТМ в ожидании ПМ:

$$C_{\text{дм}} = \left(t_{\text{ож}} + \frac{L_{ij}}{\bar{V}} \right) C_{\text{у.дм}}, \quad (7)$$

где $C_{\text{у.дм}}$ – удельные потери от простоя одной НТТМ, руб./ед. час.

Потери от простоев одной ПМ рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{пм}} = \left(t_{\text{от}} + 2 \frac{L_{ij}}{\bar{V}} \right) C_{\text{у.пм}}, \quad (8)$$

где $C_{\text{у.пм}}$ – удельные потери от простоя одной ПМ, руб./час.;

$t_{\text{от}}$ – простой ПМ в ожидании заявок, час.

Потери от простоев одного СМ рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{см}} = \left[t_{\text{от}} + 2 \frac{L_{ij}}{\bar{V}} + (1 - P(\bar{A}K_r)) t_p \right] C_{\text{у.см}}, \quad (9)$$

где $C_{\text{у.см}}$ – удельные потери от простоя одного СМ, руб./час.;

$t_{\text{от}}$ – простой СМ в ожидании заявок, час.;

t_p – продолжительность ремонта, час.

Входные параметры для моделирования:

- интенсивность заявок на ГО-2 и внеплановые ремонты в i -м пункте эксплуатации;
- поток заявок на ремонт элементов двигателей;
- поток заявок на ремонт элементов гидросистемы;
- трудоемкости выполнения операций по ГО-2 и ремонтам (по видам работ и по системам);
- удельные потери от простоя НТТМ, руб./час.;
- удельные потери от простоя ПМ, руб./час.;
- удельные потери от простоя СМ, руб./час.;

- удельные затраты на перемещение ПМ, руб./км;
- число смен работы НТТМ в день, смен;
- число смен работы ПМ в день, смен;
- продолжительность смены, час.;
- средний годовой режим работы НТТМ, дней;
- средний годовой режим работы ПМ, дней.

В результате моделирования можно получить следующие выходные параметры:

- суммарные потери от простоев НТТМ, руб.;
- суммарные потери от простоев ПМ, руб.;
- суммарные потери от простоев СМ, руб.

Программное обеспечение представлено в среде matlab (рис. 2). При запуске процесса моделирования включается счетчик, и на основании введенных параметров ЭВМ будет моделировать режим работы системы обеспечения работоспособности НТТМ с помощью ПМ по следующей схеме:



Рис. 1. Блок-схема имитационной модели организации работы системы ПМ

Блок обработки заявок должен осуществить следующие операции, связанные с состоянием объекта:

- зафиксировать момент появления заявки на ремонт, место нахождения; вид отказа по системе и агрегатам;
- оценить время передвижения и время выполнения операций по ремонту;
- отсортировать заявки по установленному правилу.

Блок определения состояния ПМ и СМ:

- определить состояние каждой ПМ и СМ;
- определить количество дежурных ПМ и СМ и оставшееся до конца работы время.

Блок распределения работ:

- определить время, оставшееся до конца смены;
- назначить свободные ПМ и СМ для выполнения заявки по правилу, установленному выше, и, соответственно, требуемые специализированные средства, если общее время от начала движения до прибытия ПМ на место работы НГТМ не превышает оставшееся время смены. Если нет, ремонт будет выполняться в следующую смену.

Блок проверки состояния системы:

- обновление параметров простоя, времени в пути и выполнения работ ПМ и СМ;
- обновление статуса заявок, времени ожидания до начала проведения ремонтных работ по заявкам.

Программа моделирования основана на следующих предположениях: заявки на ремонт не появляются одновременно; заявки, которые появляются первыми, будут выполняться первыми; СМ будут назначены в соответствии с видом отказа системы (агрегата), устранение которого требуется.

Заявки на техническое обслуживание планируются заранее, поэтому они будут назначаться с начала смены. Определенное количество ПМ назначается для выполнения ГО-2, если станции, завершающие работы до конца смены, могут при необходимости выполнять также заявки на ремонт.

Техническое обслуживание ТО-2, назначенное на смену, будет завершено в течение смены.

Рассматриваем парк экскаваторов ЭО-4121Б северного региона Вьетнама. Расчет проводится для оптимизации общего количества ПМ, количества ПМ для ТО-2, количества СМ для ремонта и ТО гидросистемы и двигателей.

Число отказов	Число ТО-2	Время простоя ДСМ	Потери от простоя ДСМ
36000	42000	4.6620e+04	2.5641e+04

Время простоя ПМ	Время простоя СМ_Г	Время простоя СМ_Д	Потери от простоя ПМ	Потери от простоя СМ_Г
5.1667e+05	6.0617e+05	6.0666e+05	1.8342e+05	

Рис. 2. Графический интерфейс программы для имитации системы обеспечения работоспособности НТТМ с помощью передвижных мастерских

Процесс оптимизации будет выполняться в такой последовательности:

- оптимизация количества ПМ, выделенных для ТО-2 (включая специализированные модули);
- оптимизация общего количества ПМ;
- оптимизация количества СМ для гидросистем и двигателей.

Первоначально устанавливается большое количество ПМ и СМ всех типов, затем происходит постепенное сокращение количества ПМ и СМ, используемых для проведения ТО-2, пока индикатор программы не станет красным (т. е. условие выполнения требуемого количества обслуживаний не будет выполнено). Минимальное количество ПМ и СМ является в данном

случае оптимальным количеством ПМ и СМ для проведения ТО-2. В результате оптимизации оптимальное количество ПМ, используемых для проведения ТО-2, равно 23 единицам.

В процессе оптимизации общего количества ПМ количество ПМ для ТО-2 принимается постоянным, равным 23 единицам, а количество СМ каждого типа равно количеству ПМ. В результате оптимальное общее количество ПМ равно 38 единицам (рис. 3).

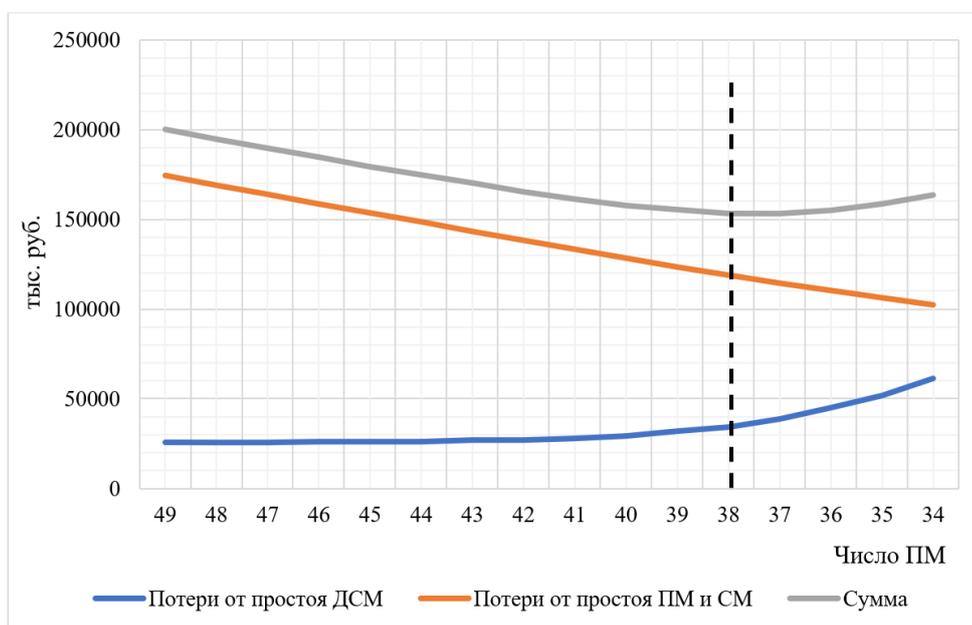


Рис. 3. Результат оптимизации общего количества ПМ

В процессе оптимизации общего количества СМ количество ПМ для ТО-2 принимается постоянным, равным 23 единицам, а общее количество ПМ также принимается постоянным, равным 38 единицам. В результате оптимальное количество СМ (каждого типа) равно 32 единицам (рис. 4).

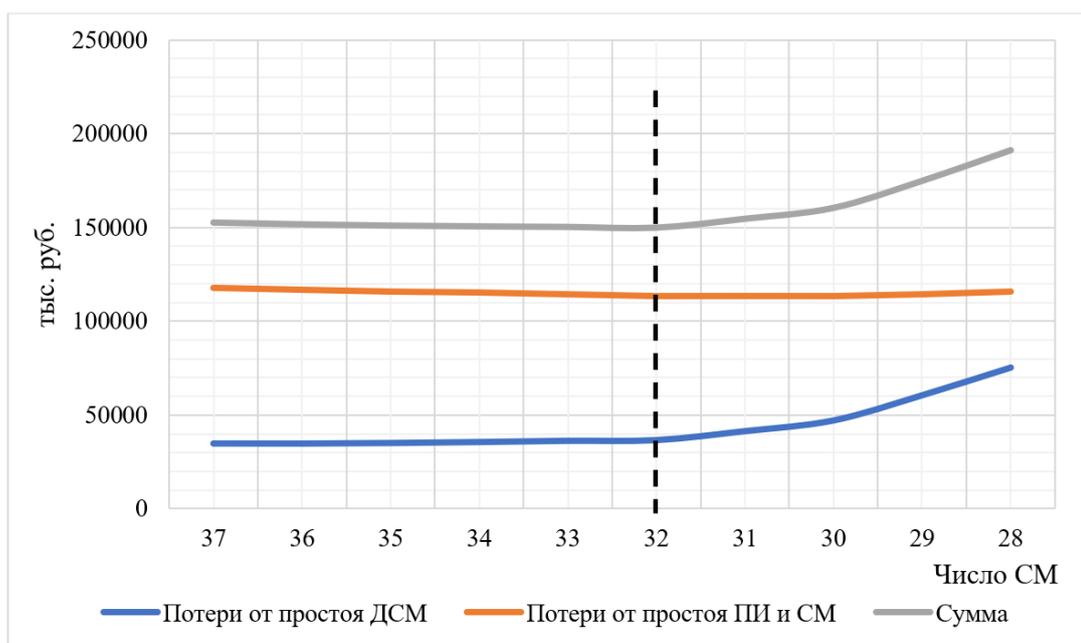


Рис. 4. Результат оптимизации количества СМ

Вывод

Методика проектирования ПМ на основе модульного принципа позволяет сократить расходы на приобретение специализированных видов технологического оборудования, улучшить организацию труда при обеспечении работоспособности НТТМ. Разработанная имитационная программа способствует оптимизации количества передвижных мастерских с учетом множества факторов, характеризующих процессы организации технического обслуживания и ремонта НТТМ в полевых условиях.

Список источников

1. Алферов, А. К. Обеспечение работоспособности строительных машин / А. К. Алферов, И. В. Петров – М.: Стройиздат, 1980. – 136 с.
2. Аналитическое обоснование параметров и результаты испытаний навесного агрегата для технического обслуживания машин / С. Л. Никитченко, С. В. Смыков, А. П. Бобряшов, В. А. Гаврилов // Технический сервис машин. – 2018. – Т. 133. – С. 82-91.
3. Апатенко, А. С. Обоснование выбора передвижных ремонтных мастерских при устранении отказов машин на мелиоративных работах / А.С. Апатенко, М. И. Голубев // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 3. – С. 27-31.

4. Базанов, А. В. Определение потребности в мобильных средствах для обеспечения работоспособности автотракторной техники при ремонте магистральных нефтепроводов / А. В. Базанов, В. И. Бауэр, Е. С. Козин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 3. – С. 50-53.
5. Ву Нгок, А. Формирование системы центров обеспечения работоспособности дорожно-строительных машин / А. Ву Нгок, В. А. Зорин // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2022. – № 3. – С. 42-44.
6. Зорин, В.А. Повышение долговечности дорожно-строительных машин путем совершенствования системы технического обслуживания и ремонта: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.05.04 / Владимир Александрович Зорин. – М., 1998. – 411 с.
7. Маслеников, О. А. Методика комплектования передвижной ремонтной мастерской на основании ABC, XYZ-анализа / О. А. Маслеников, В.В. Конев // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2020. – № 4(63). – С. 13-20.
8. Ретивин, А. Г. Расчет числа мобильных звеньев гарантийного обслуживания техники / А. Г. Ретивин, К. А. Павлычев, А. И. Пестряков // Вестник НГИЭИ. – 2013. – № 8(27). – С. 69-77.
9. Тимофеев, В. Д. Применение передвижной авторемонтной мастерской в отдаленных районах Омской области / В. Д. Тимофеев, А. В. Скрипка, И. В. Старков // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). – 2022. – № 1(41). – С. 63-69.
10. A simulation-based decision support system for industrial field service network planning / Hertz P, Cavalieri S, Finke GR, Duchi A, Schönsleben P. // SIMULATION. – 2014 – Vol. 90, iss. 1, pp. 69-84.

References

1. Alferov A.K., Petrov I.V. *Obespechenie rabotosposobnosti stroitel'nyh mashin* (Ensuring the operability of construction machines), Moscow, Strojizdat, 1980, 136 p.
2. Nikitchenko S. L., Smykov S. V., Bobrjashov A. P., Gavrilov V. A. *Tehnicheskij servis mashin*, 2018, no. 133, pp. 82-91.
3. Apatenko A.S., Golubev M.I. *Tehnika i oborudovanie dlja sela*, 2019, no. 3, pp. 27-31.
4. Bazanov A. V., Baujer V. I., Kozin E. S. *Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja*, 2012, no. 3, pp. 50-53.
5. Vu Ngoc An, Zorin V. A. Moscow, *Nauka i tehnika v dorozhnoj otrasli*, 2022. no. 3, pp. 42-44.
6. Zorin V.A. *Povyshenie dolgovechnosti dorozhno-stroitel'nyh mashin putem sovershenstvovanija sistemy tehničeskogo obsluzhivanija i remonta* (Improving the durability of

road construction machines by improving the maintenance and repair system), Doctor's thesis, Moscow, 1998, 411 p.

7. Maslenikov, O.A., Konev V.V. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta (MADI)*, 2020, no. 4(63), pp. 13-20.

8. Retivin A. G., Pavlychev K. A., Pestrjakov A. I. *Vestnik NGIJeI*, 2013, no. 8 (27), pp. 69-77.

9. Timofeev V. D., Skripka A. V., Starkov I. V. *Prirodnye i tehnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty)*, 2022, no. 1(41), pp. 63-69.

10. Hertz P, Cavalieri S, Finke GR, Duchi A, Schönsleben P. A simulation-based decision support system for industrial field service network planning, *SIMULATION*, 2014, Vol. 90, iss. 1, pp. 69-84.

Рецензент: В.В. Сильянов, д-р техн. наук, проф., МАДИ

Информация об авторе

Бу Нгок Ан, аспирант, МАДИ.

Information about the authors

Vu Ngoc An, postgraduate, MADI.

Статья поступила в редакцию 19.06.2023; одобрена после рецензирования 20.06.2023; принята к публикации 21.06.2023.

The article was submitted 19.06.2023; approved after reviewing 20.06.2023; accepted for publication 21.06.2023.