

Транспортные системы Transport systems

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 629.3
doi: 10.30987/2782-5957-2023-1-46-53

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА ТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

**Евгений Викторович Носов^{1✉}, Денис Евгеньевич Дьяков², Максим Сергеевич Глотов³,
Михаил Александрович Цыганов⁴**

^{1,2,3,4} Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Россия

¹ Nosovzhenya.80@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5738-4112>

² snooker646@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2029-9831>

³ glotov_m_c@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5795-3094>

⁴ snooker646@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6405-3724>

Аннотация

Цель исследования заключается в разработке математической методики обоснования целесообразности выполнения текущего ремонта автомобильной техники на транспортных предприятиях. Задача: устранение неисправностей на автомобильной технике в условиях транспортного предприятия на основе методики рационального планирования комплекса работ. Методы исследования: математическое моделирование сетевого планирования при исследовании операций. Новизна работы: исполь-

зование разработанной целевой функции при оценке объемов работ и их целесообразности на основании сетевого планирования ремонтных работ в условиях транспортных предприятий. Результаты исследования: построен граф выполнения работ с обоснованием трудозатрат, выполнены расчеты по стоимости, приняты решения по распределению ресурсов (трудовых, финансовых).

Ключевые слова: техника, ремонт, аппаратура, сетевое планирование.

Ссылка для цитирования:

Носов Е.В. Применение методики сетевого планирования для проведения текущего ремонта автомобильной техники на транспортных предприятиях / Е.В. Носов, Д.Е. Дьяков, М.С. Глотов, М.А. Цыганов // Транспортное машиностроение. – 2023. - № 01. – С. 46 – 53. doi: 10.30987/2782-5957-2023-1-46-53.

Original article
Open Access Article

APPLICATION OF NETWORK PLANNING METHOD FOR RUNNING REPAIR OF AUTOMOTIVE ENGINEERING AT TRANSPORT ENTERPRISES

**Evgeny Viktorovich Nosov^{1✉}, Denis Evgenievich Dyakov², Maxim Sergeevich Glotov³,
Mikhail Aleksandrovich Tsyganov⁴**

^{1,2,3,4} Military Training and Research Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin", Voronezh, Russia

¹ Nosovzhenya.80@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5738-4112>

² snooker646@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2029-9831>

³ glotov_m_c@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5795-3094>

⁴ snooker646@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6405-3724>

Abstract

The study objective is to develop a mathematic method to substantiate the feasibility of performing the running repair of automotive engineering at transport enterprises. The task is troubleshooting service of automotive engineering in the conditions of a transport enterprise based on the method of rational planning of work package. Research methods are mathematic modeling of network planning in the study of operations. The novelty of the work is the use of the developed

objective function for assessing the scope of work and its feasibility on the basis of network planning of repair work at transport enterprises. The results of the study: a graph of performing the work with the justification of labor costs is constructed, cost calculations are completed, decisions are made on the allocation of resources (labor, financial).

Keywords: engineering, repair, infrastructure, network planning.

Reference for citing:

Nosov EV, Dyakov DE, Glotov MS, Tsyganov MA. Application of networking planning method for running repair of automotive engineering at transport enterprises. *Transport Engineering*. 2023; 1:46-53. doi: 10.30987/2782-5957-2023-1-46-53.

Введение

Характерной особенностью выполнения ремонта автомобилей является то, что процесс состоит из составных элементов или звеньев, которые не только выполняются параллельно друг с другом, а ещё и находятся в прямой зависимости между собой. Так, при ремонте дизельного двигателя внутреннего сгорания необходимо

провести комплекс работ, включающий как общие мероприятия по снятию агрегата, разборке, мойке деталей, сборке в обратном порядке и установке на автомобиль, так и сложные по регулировке, дефектовке, металлообработке, подгонке и т.д.

Материалы, модели, эксперименты и методы

Планирование комплекса подобных работ должно осуществляться с учетом их характеристик: времени на выполнение всех работ (T_p) и его отдельных звеньев ($t_{p n}$); стоимости всего комплекса работ (C_p) и его отдельных звеньев ($c_{p n}$); сырьевых, энергетических и людских ресурсов.

Правильное распределение всего объема работ позволяет получить ответы на следующие вопросы:

1. Как следует распределять между звеньями существующие ресурсы?

2. С какого момента необходимо приступить к новому звену?

3. Какие трудности могут возникнуть к моменту завершения какого-то этапа (звена), и какие меры следует принять для их устранения?

Наиболее распространенным решением подобных задач является метод сетевого планирования, обеспечивающий организацию выполнения работ с учетом их взаимной обусловленности. Список этих взаимосвязанных работ (или перечень мероприятий) называется структурной таблицей комплекса работ [1, 2].

Результаты

Часть ремонтных работ выполняется на специализированных предприятиях. Примером этому является ремонт топливной аппаратуры автомобильного базового шасси (АБШ) который проводят на специализированных автомобильных ремонтных заводах. В этом случае применяется поточный метод крупносерийного производства. Эта технология предполагает высокое оснащение ремонтного процесса современными техническими средствами.

Ремонт сложных узлов и изделий, например, топливной аппаратуры, целесообразен в том случае, если затраты восстановления её работоспособности (C_p) не превышают цены нового агрегата (C_n) [3, 4]. Тогда функция ограничения будет иметь вид

$$C_n - C_p \geq 0. \quad (1)$$

Следует учитывать, что проведение ремонта некоторых систем и узлов нецелесообразно и не предусмотрено технической

документацией даже на специализированных заводах. Возможность и целесообразность ремонта на этих заводах определяется конкретным сочетанием технологических возможностей данного предприятия и экономических факторов. Этот вопрос выходит за рамки данной статьи.

В условиях транспортного предприятия ремонт АБШ, в том числе топливной аппаратуры, выполняется в виде текущего ремонта, что включает такие основные этапы как: снятие неисправных приборов и

деталей автомобиля, проверку, восстановление работоспособности на ремонтных участках и последующую обратную установку на автомобиль.

В качестве примера рассмотрим систему текущего ремонта двигателя внутреннего сгорания (рис. 1), которая представляет собой комплекс взаимосвязанных элементов, обуславливающих направления выполняемых работ с целью восстановления технических характеристик.



Рис. 1. Система текущего ремонта двигателя внутреннего сгорания
 Fig. 1. Internal combustion engine maintenance system

В соответствии с нормами времени на выполнение демонтно-монтажных работ при ремонте автомобилей КАМАЗ и технологическими картами на выполнение ремонта агрегатов составлена структурная таблица. В ней для каждого элемента предусматриваются работы (a_i) с их наименованием, каждая из которых должна опираться уже на выполненные работы (т.е. выполнение определенного вида работ требует проведения предварительных операций).

В качестве примера рассмотрим процесс ремонта системы питания, неисправное состояние которой требует ремонта двигателя внутреннего сгорания при падении его мощности (таблица) [5, 6].

В таблице представлен типовой вариант восстановления работоспособности с учетом возникновения дополнительных неисправностей и необходимости ремонта дополнительных систем и механизмов. Задача по оценке точного времени, трудоёмкости

работ и целесообразности ремонта становится значительно сложнее.

После составления структурной таблицы необходимо упорядочить проводимые работы. При выполнении упорядочения работам присваивается новая, более удобная нумерация (последовательность), где каждая следующая строго опирается на работы с меньшими порядковыми номерами. Для этого проводится ранжирование, по произвольной нумерации внутри каждого ранга. Связи, возникающие между работами, задают графически в виде сетевого графика или графа (рис. 2).

При формировании графа начальный вектор всего комплекса выполняемых работ обозначим A_0 . Стрелки a_i иллюстрируют сопутствующие работы, которые идут в узлы A_n . Пунктирные линии обозначают временную паузу наступления события. Временная пауза – это понятие, необходимое для отображения взаимосвязи между производственными процессами, при от-

сутствии промежуточных связей. Она требует затрат времени, но не требует затрат ресурсов. Так как сетевой график представляет собой логическую структуру, то учи-

тывая время выполнения работ и выделяя наиболее важные узлы на одном графике, можно изобразить структурно-временной сетевой график (рис. 3).

Таблица
Структурная таблица выполнения ремонта топливной системы
Table

Structural table of fuel system repair

№ п/п	Работа a_i	Наименование работы	На какие работы опирается	Время t , чел. час.
1	a_1	Первичная диагностика двигателя	—	0,05
2	a_2	Проверка подачи топлива	a_1	0,05
3	a_3	Прокачка системы питания	a_2	0,05
4	a_4	Регулировка ТНВД	a_1, a_2, a_3	0,3
5	a_5	Проверка фильтра тонкой очистки	a_2	0,2
6	a_6	Промывка фильтра тонкой очистки	a_2, a_5	0,4
7	a_7	Проверка фильтра грубой очистки	a_2	0,4
8	a_8	Промывка фильтра грубой очистки	a_2, a_7	0,2
9	a_9	Замена фильтра тонкой (грубой) очистки	$a_2, a_5 (a_2, a_7)$	0,05
10	a_{10}	Снятие топливной форсунки	a_1, a_2, a_3	0,3
11	a_{11}	Промывка форсунки	a_{10}	0,05
12	a_{12}	Дефектовка деталей форсунки	a_{10}, a_{11}	0,1
13	a_{13}	Замена вышедших деталей форсунки	a_{10}, a_{11}, a_{12}	0,05
14	a_{14}	Проверка регулировка форсунки	a_{12}, a_{13}	0,18
15	a_{15}	Обратная установка форсунки	a_{12-14}	0,3
16	a_{16}	Проверка работы двигателя	a_{1-15}	0,05

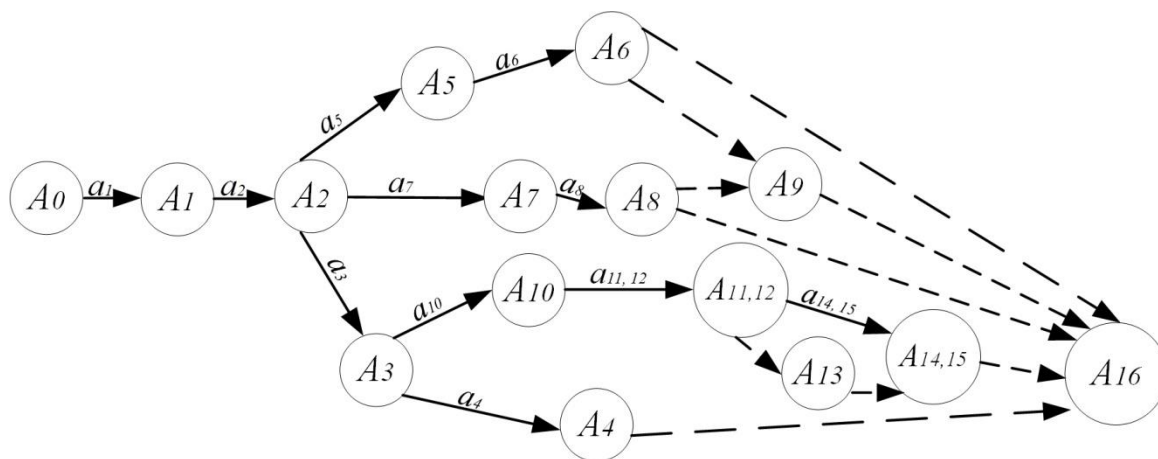


Рис. 2. Сетевой график выполнения ремонтных работ топливной системы
Fig. 2. Network schedule of fuel system repair work

В случае наличия уязвимых мест плана, которые должны четко укладываться во временные рамки, на сетевом графике выделяют критический путь, который имеет наибольшую продолжительность из всех полных путей. На критическом пути время, отведенное на каждую работу, должно выдерживаться с наибольшей точ-

ностью, так как это определяет своевременное выполнение комплекса мероприятий в целом. Каждая работа должна начинаться в тот момент, когда завершена последняя из работ. Ее продолжают выполнять не более того времени, которое отведено по плану. Малейшее опоздание в выполнении каждой критической работы

(привязанной к временным нормативам) приводит к задержке выполнения плана ремонта в целом [7]. Так как на рис. 3 представлены варианты развития событий,

зависящие от выявленной неисправности в точках A_4 , A_9 и A_{15} , где время выполнения всех работ в этих точках является ожидаемым – $t_{ож1}$, $t_{ож2}$, $t_{ож3}$.

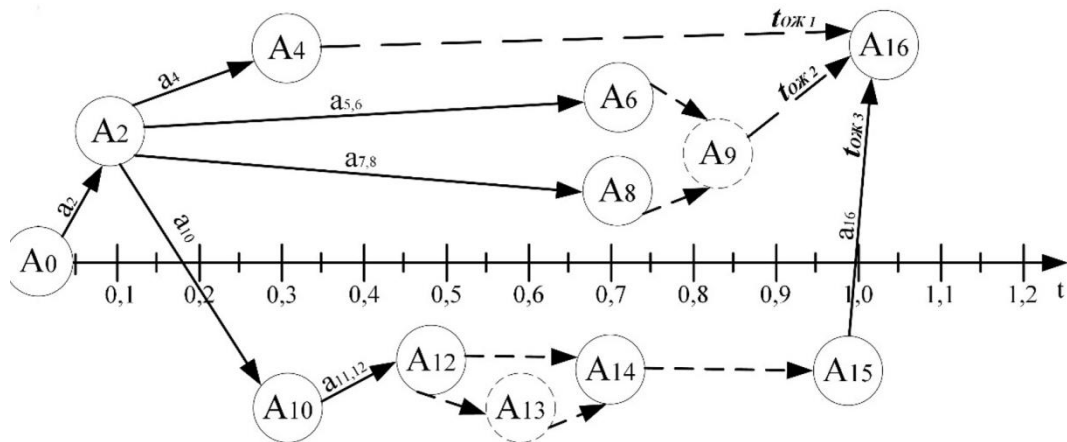


Рис. 3. Структурно-временной сетевой график выполнения ремонтных работ
Fig. 3. Structural and time network schedule of repair work

Из графика, представленного на рис. 3 следует, что в зависимости от трудоемкости выполнения ремонта время на выполнение отдельных работ (в точках A_4 , A_9 и A_{15}) будет составлять: 0,35, 0,85 и 1 человеко-часа для показателей $t_{ож1}$, $t_{ож2}$, $t_{ож3}$ соответственно, откуда общее время на выполнение всех операций составит $T_p = 2,2$ человеко-часа.

Информация о критических областях сетевого графика позволяет выявить неблагоприятные звенья, которые следует проконтролировать и обеспечить их выполнение [8].

Кроме этого, создается возможность задействовать высвободившиеся ресурсы в не критических работах, что позволяет перегруппировать силы и средства на более важные критические работы без ущерба для выполнения общего комплекса мероприятий [9].

Стоимость ремонта двигателя внутреннего сгорания ($C_{pДВ}$) в зависимости от трудоемкости выполненных работ ($T_{pДВ}$), будет иметь вид

$$T_{pДВ} = t_{pA} + t_{pB} + t_{pC} + t_{pD} + t_{pE} + t_{pF}, \quad (2)$$

где t_{pA} , t_{pB} , t_{pC} , t_{pD} , t_{pE} и t_{pF} – время, необходимое на выполнение ремонта отдельных элементов двигателя (рис. 1) откуда,

$$C_{pДВ} = c_{pA} + c_{pB} + c_{pC} + c_{pD} + c_{pE} + c_{pF}, \quad (3)$$

где c_{pA} , c_{pB} , c_{pC} , c_{pD} , c_{pE} и c_{pF} – стоимость выполнения ремонтных работ отдельных элементов двигателя (рис. 1).

Тогда общая стоимость ремонта двигателя будет равна:

$$C_{pДВ\text{общ}} = C_{pДВ} + C_{Зч} + C_{Аморт} + C_{доп.}, \quad (4)$$

где $C_{Зч}$ – стоимость запасных частей, $C_{Аморт.}$ – стоимость амортизации двигателя по его эксплуатационному ресурсу, т.е. сколько двигатель потерял в стоимости в процессе эксплуатации. Например, если двигатель выработал 2/3 ресурса, то сумма

амортизации составит примерно столько же от цены нового двигателя. При необходимости замены половины деталей (или механизмов и систем целиком) на новые ремонт становится нецелесообразным.

$C_{\text{доп}}$ – составляющее значение стоимости неочевидных затрат на электроэнергию, отопление, масла, смазки, промывки, спец-одежду, транспортные расходы и др. [10].

Как показывает практика, если общая стоимость ремонта (4) составляет сумму близкую к стоимости нового агрегата, то производить его ремонт нецелесообразно. В данном случае, основываясь на опыте ремонтных предприятий, критерием эффективности пригодности ремонта будет показатель его стоимости в отношении с новым, где значения составят $c_{pn} \geq 25\%$

Заключение

Таким образом, использование сетевого планирования ремонта автомобильной техники является эффективным средством для решения задач своевременного восстановления машин с должным качеством. Предложенная методика с использованием аппарата сетевого планирования позволяет более полно и точно решать ряд важных

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Вентцель Е. С. Исследование операций. М.: «Советское радио», 1972. 552 с.
2. Легкова Т. А. Анализ применения метода сетевых графиков к производственному планированию технического обслуживания воздушных судов. *Решетневские чтения*. 2018. Т. 1. С. 406-408. ISBN 1990-7702.
3. Ломовских А.Е., Новичихин В.В., Носов Е.В., Дьяков Д.Е. Способы и устройства повышения энергетической эффективности силовых установок средств аэродромно-технического обеспечения боевых действий авиационных группировок. *Воздушно-космические силы. Теория и практика*. 2021;20:149–159. DOI: 10.24412/2500-4352-2021-20-149-159.
4. Пурусов Ю.М., Леонтьев К.Н., Дьяков Д.Е. Влияние износа подвижных деталей кривошипно-шатунного механизма на степень сжатия дизельной энергетической установки. *Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты*: сб. мат-лов Междунар. конф., 16 мая 2022 г. Кемерово: ЗапСибНЦ. 2022. С. 98-101. ISBN 978-5-6044186-4-2.
5. Нормы времени на выполнение демонтажно-монтажных работ при текущем ремонте модернизированных автомобилей Камаз с колесной формулой 6х6 43114-3902902 НВ. Набережные Челны: ОАО «КАМАЗ» НТЦ, 2008. – 67 с.

и $C_{p \text{ ДВ общ}} \geq 15\%$ относительно цены нового агрегата [11].

С учетом этих рекомендаций целевая функция планирования и проведения ремонта, учитывая сетевой график его выполнения, будет иметь вид:

$$C_{\text{н ДВ}} / C_{\text{р ДВ общ}} \geq 1,15, \quad (5)$$

при

$$C_{\text{н}} / c_{\text{pn}} \geq 1,25. \quad (6)$$

задач. Она дает возможность оценить объем и состав работ, необходимое материальное обеспечение их выполнения, рассчитать критерии целесообразности выполнения ремонтных работ автомобильной техники в целом, а также отдельных его составных частей. Это приведет к снижению сроков ремонта, уменьшению простоев, материальных и трудовых затрат.

6. Захаров Ю.А., Кульков Е.А. Технологический процесс проверки топливных форсунок дизелей автомобилей «КамАЗ» модернизированным устройством для диагностики и испытания форсунок дизелей : *Современные научные исследования и инновации*. 2015. № 3, Ч. 2. <https://web.snauka.ru/issues/2015/03/49912>.
7. Плескунов М.А. Задачи сетевого планирования. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 92 с.
8. Аленичева Е.В. Метод сетевого планирования в строительстве / Е.В. Аленичева, И.В. Гиясова, О.Н. Кожухина. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 24 с.
9. Золотухин С.И., Дьяков Д.Е., Зибров Р.С., Котляров П.С. Точность расчетов при применении способа выбора рационального решения. *Современные наукоемкие технологии*. 2019;10(2):252-256. ISSN 1812–7320.
10. Юркова Т. И., Юрков С. В. Экономика предприятия. Красноярск: Краснояр. гос. акад. цв. металлов и золота. Гос. акад. цв. металлов и золота, 2001. 111 с.
11. Дунаев А.В. Разработка методов контроля и управления техническим состоянием самоходных машин в агропромышленном комплексе: спец. 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. Автореф. дисс. на соискание ученой степени док-ра тех. наук / Дунаев Анатолий Васильевич; Рос. гос. аграр. ун-т. Москва, 2017. – 397 с.

REFERENCES

1. Ventsel ES. Operations research. Moscow: Sovetskoe Radio; 1972.
2. Legkova TA. Analysis of applying the method of project networks to the production planning of aircraft maintenance. Reshetnev Readings. 2018;1:406-408.
3. Lomovskikh AE, Novichikhin VV, Nosov EV, Dyakov DE. Methods and devices for increasing the aviation groups combat operations airfield technical support power plants energy efficiency. *Vozdushno-kosmicheskie Sily. Teoriya i Praktika*. 2021;20:149–159. DOI: 10.24412/2500-4352-2021-20-149-159.
4. Purusov YuM, Leontiev KN, Dyakov DE. Wear effect of moving parts of the crank mechanism on the compression ratio of a diesel power plant. *Fundamental Scientific Research: Theoretical and Practical Aspects: Proceedings of the International Conference; 2022 May 16; Kemerovo: ZapSibNTs; 2022. p. 98-101.*
5. Norms of time for performing dismantling and installation works during the current repair of upgraded Kamaz vehicles with 6x6 wheel formula 43114-3902902 НВ. Naberezhnye Chelny: KAMAZ STC; 2008.
6. Zakharov YuA, Kulkov EA. Technological process of checking diesel fuel injectors of KAMAZ vehicles with an upgraded device for diagnostics and testing of diesel injectors: Modern scientific research and innovations. 2015. No. 3, Part 2. <https://web.snauka.ru/issues/2015/03/49912>.
7. Pleskunov MA. Project network tasks. Yekaterinburg: Publishing House of Ural University; 2014.
8. Alenicheva EV, Giyasova IV, Kozhukhina ON. Method of project networking in construction. Tambov: Publishing house of TSTU; 2010.
9. Zolotukhin SI, Dyakov DE, Zibrov RS, Kotlyarov PS. Accuracy of calculations when applying the method of choosing a rational solution. *Modern High Technologies*. 2019;10(2):252-256.
10. Yurkova T I, Yurkov SV. Enterprise Economics. Krasnoyarsk: State Academy of Non-ferrous Metals and Gold; 2001.
11. Dunaev AV. Development of methods for monitoring and controlling the technical condition of self-propelled machines in the agro-industrial complex [abstract of dissertation]. [Moscow (RF)]; Russian State Agrarian University; 2017.

Информация об авторах:

Носов Евгений Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильной подготовки Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», почтовый адрес: г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а, 394000, тел. автора: 89191818082.

Дьяков Денис Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильной подготовки Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», почтовый адрес: г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а, 394000, тел. автора: 89507749588, Author-

Nosov Evgeny Viktorovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Vehicle Training at the Military Training and Research Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin", 54a, Starikh Bolshevikov Street, Voronezh, 394000; phone: 89191818082.

Dyakov Denis Evgenievich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Vehicle Training at the Military Training and Research Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin", 54a, Starikh Bolshevikov Street, Voronezh, 394000; phone: 89507749588, Author-ID-675884

ID-675884

Глов Максим Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильной подготовки Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», почтовый адрес: г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а, 394000, тел. автора: 8909215088.

Цыганов Михаил Александрович – начальник курса Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», почтовый адрес: г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а, 394000, тел. автора: 89009453106.

Glotov Maxim Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Vehicle Training at the Military Training and Research Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin", 54a, Starikh Bolshevikov Street, Voronezh, 394000; phone: 8909215088.

Tsyganov Mikhail Aleksandrovich – Head of the course at the Military Training and Research Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin", 54a, Starikh Bolshevikov Street, Voronezh, 394000; phone: 89009453106.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.

Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 15.09.2022; одобрена после рецензирования 11.11.2022; принята к публикации 26.12.2022. Рецензент – Рассоха В.И., доктор технических наук, доцент Оренбургского государственного университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 15.09.2022; approved after review on 11.11.2022; accepted for publication on 26.12.2022. The reviewer is Rossokha V.I., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Transport Department at Orenburg State University, member of the Editorial Board of the journal *Transport Engineering*.