УДК 629.1

© А. И. Беляев, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: aibelyaev@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-6-228-232

© A. I. Belyaev, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: aibelyaev@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА РАЙОНИРОВАНИЯ

OPTIMIZATION OF THE REPAIR OF MECHANICAL PARTS OF ROAD-BUILDING MACHINES USING THE ZONING METHOD

Технологические процессы восстановления дорожно-строительных машин, учитывающие технологическое обеспечение, экономико-организационные требования, планирование и контроль, требуют принимать решение не по одному, а сразу по нескольким показателям эффективности, иными словами, по видам технологии восстановления деталей. Произведен обзор проблем восстановления деталей дорожно-строительных машин и подход к решению многокритериальных задач, в основе которого лежит метод районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды.

Ключевые слова: метод районирования, дорожно-строительная машина, оптимизация, метод принятия решения, технология восстановления, эффективность управления.

Technological processes of road construction machines' repair, taking into account technological support, economic and organization requirements, planning and control, need to make a decision not on one, but on several performance indicators, namely, on the type of technology of repairing the machine parts. The article reviews the problems of restoring the parts of road-building machines and considers an approach to the solution of multi-criteria problems basing on the method of zoning according to the principle of observing the hierarchical relationship between the probabilities of possible conditions of the external environment.

Keywords: zoning method, road construction machine, optimization, decision-making method, repair technology, management efficiency.

Дорожно-строительные машины (ДСМ) в процессе эксплуатации испытывают специфические нагрузки на узлы и детали, что связано с условиями эксплуатации. Например, как показал опыт исследования ДСМ в северном исполнении, это не модернизированная или дооснащенная стандартная модель, а полностью самостоятельная машина, предназначенная именно для эксплуатации в холодных регионах. Конструкция машины должна выдерживать не только пониженные температуры за $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Эксплуатационный диапазон ДСМ велик, так как та же машина должна работать и при $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в условиях резко континентального климата). Конструкция машины, рабочие системы машин и ее агрегаты и детали должны выдерживать эти условия экс-

плуатации изначально или в результате модернизации¹.

Стоимость таких машин зачастую бывает достаточно велика. Парк ДСМ характеризуется низкой обновляемостью, что объясняется объективными причинами. Связано это в первую очередь с уменьшением финансово-экономических вложений, из-за чего снизилось количество и/или качество новых ДСМ. Это влечет за собой использование ДСМ, изношенных как физически, так и морально. Парк машин, механизмов и транспортных средств становится нерациональным по структуре, что дает низкую рента-

¹ Эксплуатация дорожно-строительной техники тяжелого класса в зимний период: рекомендации Komatsu. URL: <https://exkavator.ru/articles/user/~id=10976> (дата обращения: 24.10.2017).

бельность использования. Содержание, ремонт и эксплуатация ДСМ требуют от эксплуатирующих организаций увеличенных затрат. С увеличением срока эксплуатации производительность оборудования значительно снижается.

Сегодня организации, эксплуатирующие ДСМ, постоянно решают следующие задачи:

1) идти по пути создания собственной системы ремонта и обслуживания, следовательно, создавать собственные структуры, связанные с закупкой оборудования, инструмента, логистикой формирования складских запасов запчастей, решать кадровые задачи;

2) выходить на рынок ремонтных организаций с недостаточно качественным обслуживанием, без восстановления агрегатов и узлов и обеспечивая низкий ресурс ДСМ;

3) пользоваться услугами специализированных обслуживающих ДСМ организаций, имеющих собственные производственные базы, в том числе организующих поставки комплектующих.

Все подходы имеют основания для существования. При этом системы обслуживания ДСМ, их ремонта, восстановления как таковой нет. Есть подобные системы в организациях, имеющих централизованную структуру, как, например, «Газпром».

ДСМ имеют характерные неисправности, проанализировав которые, был сделан вывод, что главным образом выходят из строя двигатели, рабочие органы и узлы, контактирующие с рабочей средой, и приводы ходовых органов². Эти детали требуют восстановления. Экономически целесообразно использовать детали, отработавшие свой ресурс, что имеет значение для экономики в целом. Анализируя реальное положение дел в российском машиностроении, приходим к выводу, что потребность в запчастях парка ДСМ может быть удовлетворена повторным использованием изношенных и восстановленных деталей [1].

Восстановление деталей — по сути техпроцесс возвращения им материала или доведения их до нормативных значений размеров или эксплуатационных свойств. К параметрам детали относятся следующие: взаимное расположение

поверхностей, их форма, геометрические размеры и микрогеометрия поверхностей, а к основным эксплуатационным свойствам — износостойкость трущихся поверхностей, усталостная прочность и другие известные параметры.

Восстановление деталей позволяет использовать все их исходные свойства (материал, форму, остаточную долговечность). Это сокращает потребление запасных частей и других важных факторов производства, а также способствует сохранению окружающей среды (масса отходов при восстановлении деталей в 20 раз меньше, чем при их изготовлении). Восстановление деталей — основа ремонта машин.

Известны три основных метода выбора процесса восстановления детали, отличающиеся техническими и экономическими критериями. Первый основан на расчете стоимости восстановления детали и сопоставлении ее с ценой новой детали. Второй метод позволяет сравнить между собой комплексные величины. Он дает зависимость как отношение стоимости и цены деталей к ресурсу — как новой, так и восстановленной детали. Третий метод учитывает стоимость и долговечность новой и восстановленной детали.

Предлагается новый подход к постановке задачи выбора восстановления детали: из возможных типов и видов технологических операций, собственно создающих технологический процесс, найти именно такую последовательность, которая обеспечивает установленные ограничения с наименьшим расходом производственных ресурсов [2].

Задача выбора способа восстановления детали, в том числе для ДСМ, решалась многими исследователями, в частности В. А. Шадричевым, В. В. Ефремовым, В. И. Карцевым, Е. Л. Володиным, М. А. Масиным и многими др. В СПбГАСУ давно ведутся исследования по отдельным вопросам этой проблемы научными школами под руководством С. А. Евтюкова, С. А. Волкова, С. В. Репина, В. Е. Гордиенко [3–5].

Аналитический подход к способам и формам технологического обеспечения, экономическо-организационного управления, контроля процессов восстановления ДСМ нередко диктует необходимость принимать решение не по одному, а сразу по нескольким показателям эффек-

² Анализ состояния рынка и технического сервиса импортной техники в дорожно-строительной отрасли. URL: <https://exkavator.ru/articles/user/~id=1478> (дата обращения: 24.10.2017).

тивности. Многие авторы решали эти вопросы путем применения теории графов [6, 7].

Анализируя методы районирования, можно убедиться в том, что область всех возможных решений (при $n = 3$) по каждому варианту решения является плоскостью, а пересечение плоскостей эффективности по каждому решению проецируется в линии разграничения областей доминирования решений на поле распределений коэффициентов относительной важности (рисунок). Особенностью применения метода районирования по принципу сохранения заданного иерархического соотношения возможных состояний внешней среды (задача линейного программирования решается на максимум) является получение решения при максимальном доминировании критерия, установленного приоритетным (область 2 на рисунке).

Для рассматриваемого примера матрица коэффициентов относительной важности принимает вид

$$A_{ij} = \begin{pmatrix} 0,5 & 0,5 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0,5 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Отметим, что в практике разработки технологии восстановления деталей ДСМ в зависимости от характера производимых работ, вида требований к поверхности детали и т. д., как правило, существует не только обязательный приоритет нескольких критериев, но и необходимость получать дифференцируемые значения коэффициентов относительной важности по заданному уровню эффективности. Например, когда необходимо реализовать ряд операций технологии восстановления одновременно,

Графическое решение примера: $d_{(4)\max} = 0,84$ и $d_{(2)\max} = 0,49$ — максимально возможные решения по четвертому и второму варианту действий соответственно; 0,42, 0,44 и 0,46 — частные случаи эффективности решений

каждая из которых определяется комплексом собственных показателей и при этом требуется оптимальное распределение ресурсов на их реализацию. В этом случае требуется получить более сбалансированные значения коэффициентов относительной важности в соответствии с целями общей стратегии исследуемой системы. Тогда доминирующее решение (область 3 на рисунке) трансформируется введением значения степени доминирования критериев — λ :

$$A_j = \begin{cases} \frac{1}{k}, & \text{если } j = k; \\ \frac{\lambda}{k}, & \text{если } j < k; \\ \frac{1-\lambda}{n-k}, & \text{если } j > k, \end{cases} \quad \text{где } \lambda = \frac{n-1}{n}.$$

Данная модернизация метода районирования по принципу сохранения заданного иерархического соотношения возможных состояний природы позволит определять значения коэффициентов относительной важности решений в многокритериальных задачах в соответствии с реальными условиями функционирования исследуемой системы [8–13].

Автор выражает признательность кандидату технических наук А. В. Терентьеву за помощь в данных исследованиях.

Библиографический список

1. Кудряшов Е. А., Смирнов И. М. К выбору рационального способа восстановления работоспособности изношенных поверхностей деталей // Изв. Юго-Западного государственного ун-та. Сер.: «Техника и технологии». 2014. № 1. С. 8–15.
2. Иванов В. П. Выбор способа восстановления деталей // Белорусский национальный технический ун-т. Сер.: «Наука и техника». 2016. Т. 15. № 1. С. 9–17.
3. Евтюков С. А. Совершенствование конструкций строительных машин: отчет / № ГР80007140. Л.: ЛИСИ, 1980. 120 с.
4. Репин С. В., Зазыкин А. В., Кротова Н. Н., Савельев А. В. Метод планирования ремонта транспортно-технологических машин // Строительные дорожные машины. 2017. № 3. С. 53–57.
5. Репин С. В., Зазыкин А. В., Рулис К. В., Ховалыг Н.-Д. К. Методика обновления регионального парка транспортно-технологических машин на основе экономических критериев // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 3 (56). С. 209–217.

6. Лузан С. А. Критерий выбора способа восстановления деталей машин // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. 2017. Вип. 183. С. 45–56.

7. Филатов М. И., Славненко В. П. Теоретическое обоснование метода восстановления деталей автомобиля на основе информационно-энергетической оценки // Вестник ОГУ. 2011. № 10 (129)/октябрь. С. 151–155.

8. Терентьев А. В. Развитие метода районирования // Материалы 4-й междунар. науч.-практ. конф. «Инновации на транспорте и в машиностроении». СПб.: Нац. минерально-сырьевой ун-т «Горный», 2016. С. 127–130. 3.2. Методы определения весовых коэффициентов. URL: <http://gigabaza.ru/doc/31750.html>

9. Prudovskiy B. D., Terentiev A. V. Investigation methods for «current repairs labour-intensiveness» factor for a vehicle // Life Science Journal. 2014. Vol. 11(10s). Pp. 307–310.

10. Терентьев А. В., Прудовский Б. Д. Методы определения множества Парето в некоторых задачах линейного программирования. // Записки Горного института. 2015. Т. 211. С. 89–90.

11. Терентьев А. В. Многокритериальный показатель качества автомобиля // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 1 (48). С. 201–204.

12. Терентьев А. В. Методы решения автотранспортных задач // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. URL: <http://www.science-education.ru/125-19863>

13. Терентьев А. В., Прудовский Б. Д. Методы принятия решений в условиях неопределенного состояния «внешней среды» // Транспортное планирование и моделирование: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. (26–27 мая 2016), СПбГАСУ. СПб., 2016. С. 145–149.

References

1. Kudryashov E. A., Smirnov I. M. K vyboru ratsional'nogo sposoba vosstanovleniya rabotosposobnosti iznoshennykh poverkhnostey detaley [To selecting of a rational way of repairing the worn-out surfaces of mechanical parts]. Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo un-ta. Seriya Tekhnika i tekhnologii – Bulletin of the Southwest State University. Equipment and Technologies, 2014, no. 1, pp. 8–15.
2. Ivanov V. P. Vybora sposoba vosstanovleniya detaley [Choosing the way of repairing of mechanical parts]. Belorusskiy natsional'nyy tekhnicheskii un-t. Nauka i tekhnika – Belarusian national technical university. Science and technology, 2016, vol. 15, no. 1, pp. 9–17.
3. Evtyukov S. A. Sovershenstvovanie konstruktsiy

stroitel'nykh mashin. Otchet no. GR80007140 [Improvement of building machines' constructions. Report no. GR80007140]. Leningrad, LISI Publ., 1980, 120 p.

4. Repin S. V., Zazykin A. V., Krotova N. N., Savelev A. V. *Metod planirovaniya remonta transportno-tekhnologicheskikh mashin* [The method of planning of repair of transport technological machines]. *Stroitel'nye dorozhnye mashiny – Road construction machines*, 2017, no. 3, pp. 53–57.

5. Repin S. V., Zazykin A. V., Rulis K. V., Khovaly N.-D. K. *Metodika obnovleniya regional'nogo parka transportno-tekhnologicheskikh mashin na osnove ekonomicheskikh kriteriev* [Technique of updating of the regional park of transport technological machines on the basis of economic criteria]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2016, No. 3 (56), pp. 209–217.

6. Luzan S. A. *Kriteriy vybora sposoba vosstanovleniya detaley mashin* [Criterion of choosing the way of repairing mechanical parts of machines]. *Vestnik of KhNTUSG named after P. Vasilenko. Resursoberegayushchiye tekhnologii, materialy i oborudovaniye v remontnom proizvodstve – Bulletin of Kharkov Scientific Technical University named after P. Vasilenko. Resource-saving technologies, materials and the equipment in repair production*, 2017, no. 183, pp. 45–56.

7. Filatov M. I., Slavnenko V. P. *Teoreticheskoe obosnovanie metoda vosstanovleniya detaley avtomobilya na osnove informatsionno-energeticheskoy otsenki* [Theoretical substantiation of the method of machine parts repair on the basis of information - power assessment]. *Vestnik OGU – Bulletin of OSU*, 2011, no. 10 (129), pp. 151–155.

8. Terent'ev A. V. *Razvitie metoda rayonirovaniya* [Development of the zoning method]. *Trudy 4-y*

mezhdunar. nauch.-prakt.konf. «Innovatsii na transporte i v mashinostroenii» [Proc. of the 4-th Int. sci.-pract. conf. «Innovations at transport and in mechanical engineering»]. St. Petersburg, St. Petersburg Mining University Publ., 2016, pp. 127–130. Available at: <http://gigabaza.ru/doc/31750.html>

9. Prudovskiy B. D., Terentiev A. V. Investigation methods for «current repairs labour-intensiveness» factor for a vehicle. *Life Science Journal*, 2014, vol. 11(10s), pp. 307–310.

10. Terent'ev A. V., Prudovskiy B. D. *Metody opredeleniya mnozhestva Pareto v nekotorykh zadachakh lineynogo programmirovaniya* [Methods of determining the Pareto set in some problems of linear programming]. *Zapiski Gornogo instituta – Scientific Bulletin of National Mining University*, 2015, no. 211, pp. 89–90.

11. Terent'ev A. V. *Mnogokriterial'nyy pokazatel' kachestva avtomobilya* [Multicriteria index of a vehicle's quality]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2015, no. 1 (48), pp. 201–204.

12. Terent'ev A. V. *Metody resheniya avtotransportnykh zadach* [Methods of solving the motor transportation tasks]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education*, 2015, no. 1. Available at: <http://www.science-education.ru/125-19863>

13. Terent'ev A. V., Prudovskiy B. D. *Metody prinyatiya resheniy v usloviyakh neopredelyonnogo sostoyaniya «vneshney sredy»* [Decision-making methods in conditions of fuzzy state of “external environment”]. *Trudy Mezhdunar. nauch.-prakt.konf. “Transportnoe planirovanie i modelirovanie” (26–27 maya 2016)* [Proc. of the Int. sci.-pract. conf. “Transport planning and modeling” (May 26–27, 2016)]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2016, pp. 145–149.