

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 629.1

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

© А. В. Терентьев, канд. техн. наук, доцент
(Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет)
E-mail: terentich1@rambler.ru

© А. Е. Пушкарёв, д-р техн. наук, профессор

© И. И. Воронцов, д-р техн. наук, профессор
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: pushkarev-agn@mail.ru, vorontsov.52@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-5-146-150

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

© А. V. Terentiev, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Moscow Automobile and Road Construction
State Technical University)
E-mail: terentich1@rambler.ru

© А. E. Pushkarev, Dr. Sci. Tech., Professor

© I. I. Vorontsov, Dr. Sci. Tech., Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: pushkarev-agn@mail.ru, vorontsov.52@mail.ru

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН МОДЕЛИРОВАНИЕМ В МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ПОСТАНОВКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВАЖНОСТИ

RESTORATION OF DETAILS OF ROAD-BUILDING MACHINES BY MODELING IN MULTI-CRITERIA PROBLEM SETTING WITH APPLICATION OF COEFFICIENTS OF RELATIVE IMPORTANCE

Рассмотрен обзор подходов для определения метода и технологии восстановления деталей дорожно-строительных машин. Проведен анализ различных решений выбора метода восстановления деталей на этапе формирования общей структуры технологического процесса. Для решения этой задачи выведены коэффициенты относительной важности. Данное решение позволяет достигать максимальной эффективности в построении технологического процесса восстановления деталей дорожно-строительных машин по ряду обоснованных критериев при интегрировании метода районирования по принципу соблюдения соотношения вероятностей возможных состояний среды исследования в решение задачи динамического программирования. Определяется оптимальная траектория перехода детали из исходного в необходимое с точки зрения качества.

Ключевые слова: дорожно-строительная машина, восстановление детали, критерий, многокритериальный метод, коэффициент относительной важности.

The paper discusses a number of approaches for determining the method and technology of restoration of road-building machine parts. The authors present the results of analysis of various solutions regarding the selection of the method of machine parts restoration at the stage of formation of the technological process general structure. In order to solve this problem, the coefficients of relative importance are derived. Such technique allows achieving maximum efficiency in formation of the technological process of road-building machine parts' restoration, taking into consideration a number of reasonable criteria by integration of the zoning method according to the principle of compliance with the ratio of probabilities of possible states of the research environment in the solution of the dynamic programming problem. The optimal trajectory of the part transition from the initial position to the required one from the point of quality is determined.

Keywords: road construction machine, part restoration, criterion, multi-criteria method, coefficient of relative importance.

Восстановление деталей дорожно-строительных машин (ДСМ) является актуальной и экономически выгодной технологией, при кото-

рой восстанавливаются основные и дорогостоящие детали, причем их качество должно быть не хуже исходного. Возможности предприятий,

занимающихся восстановлением, разнообразны как по составу оборудования, так и по качеству восстановления. В виде общей цели восстановления деталей ДСМ обычно выделяют невысокую себестоимость при очевидном качестве восстановления. Такая постановка цели приводит к снижению качества восстановления.

Вопросами теоретического обоснования определения способа восстановления деталей ДСМ занимались такие ученые, как В. А. Шадричев, В. В. Ефремов, В. И. Казарцев, Е. Л. Воловик и др.

Например, авторы [1] предложили основные подходы к выбору технологического процесса восстановления детали, суть которых заключается в том, что по-разному определяются и оцениваются процессы восстановления, принимая во внимание технику, технологию и экономику. В основе первого варианта лежит сравнение технологий, основанное исключительно на расчетах себестоимости восстановления деталей. Второй вариант заключается в сравнении расчетов соотношений технологических затрат на восстановление и получаемого ресурса восстановленной детали, за базовый вариант берется совершенно новая деталь. Третий вариант основан на применении обобщенного показателя, который зависит от применимости, долговечности и технико-экономического критерия. Можно заметить, что в большинстве исследований [2–7], посвященных выбору оптимального технологического процесса восстановления деталей ДСМ, для оценки использовали экономические либо технико-экономические критерии.

Были проведены исследования по разработке теоретической модели, позволяющей производить выбор технологии восстановления детали ДСМ с абсолютно разнообразным содержанием как операций, так и последовательности с оптимизированным выбором технологии с целью наилучшего качества восстановления. Наилучшие варианты принимались с учетом показателей эффективности.

В прикладных технических задачах зачастую необходимо выбирать более эффективный процесс, оценивая по большому количеству значений эффективности. Именно эти задачи, в которых необходимо оптимизировать решение по нескольким показателям, получили в области

исследований под общим наименованием «исследование операций» название многокритериальных. Как правило, нахождение численных значений в задачах, отнесенных к многокритериальным, имеет трудности, объясняемые объективным характером математических вычислений. В частности, существует определенный предел, который невозможно переступить без уточнения состояния среды, в условиях которой приходится принимать решение. Тем не менее необходимо решать задачу в условиях многокритериальности. Как правило, решение искусственно сводят к однокритериальным ситуациям из многокритериальных условий. Это означает, что в значительном количестве самих методов решения многокритериальных задач уже есть принципиальный вариант превращения этих задач в однокритериальные. Технически это осуществляется разными способами.

Первый способ (наиболее простой) заключается в выборе из всех критериев главного критерия эффективности. Дальнейший расчет проводится именно по главному критерию эффективности, но остальные критерии эффективности также используются в расчете, но только как ограничители, верхний и нижний. В виде примера рассмотрим максимизацию m критериев:

$$k_j \rightarrow \max, i = \overline{1, m}. \quad (1)$$

Рассмотрев все критерии m , решаем, какой из них главный (например, k_i), при этом оставшиеся ограничиваем снизу величинами $k_{0i}, i = \overline{1, m}, i \neq 1$. В этом случае решение принимает вид:

$$k_j \rightarrow \max; k_j \geq k_{0i}, i = \overline{1, m}, i \neq j. \quad (2)$$

Это способ имеет свои особенности. В частности, возникает понятие неопределенности, которое проявляется в двух видах:

1) неопределенность и невозможность выделения главного критерия из всего множества критериев;

2) неопределенность принципа ограничения оставшихся критериев величинами k_{0i} .

Другой широко распространенный способ сведения многокритериальных задач к однокритериальным называется «методом последовательных уступок». Суть метода состоит в следующем. Критерии располагаются в порядке убывающей важности. Принимается первый в этом ряду критерий k_1 (он — главный «важный»)

и ищется решение, обращающее данный критерий в максимум.

В данном методе существуют те же сложности, что и в предыдущем:

1) не всегда удается расположить критерии в приоритетный ряд по степени важности (это еще сложнее, чем выбрать среди них самый главный);

2) не всегда ясно, из каких соображений назначать «уступки» критериям.

Еще одним из самых распространенных методов сведения многокритериальных задач к однокритериальным является использование составных критериев. Здесь наблюдаются разные подходы.

1. Максимизируют сумму критериев, т. е.

$$\sum_{i=1}^m k_i \rightarrow \max. \quad (3)$$

2. Максимизируют их произведение, т. е.

$$\prod_{k=1}^m k_i \rightarrow \max. \quad (4)$$

3. При необходимости максимизировать некоторые критерии, например первые критерии (q), но минимизировать остальные ($m - q$) решение выражается дробью, т. е.

$$\left(\frac{\prod_{i=1}^q k_i}{\prod_{i=q+1}^m k_i} \rightarrow \max \right). \quad (5)$$

Составной критерий образуется разными способами, при этом недостатком всех способов является возможность компенсирования дефектов одного критерия за счет другого.

Таким образом, практически всем методам решения многокритериальных задач путем сведения их к однокритериальным присущи те или иные недостатки. В отдельных случаях эти методы могут быть использованы для практических целей, однако в большинстве ситуаций применение их может привести к выработке неверных рекомендаций [8–14].

В нашем случае, когда необходимо исследовать процесс с некоторым количеством операций, выстроенным в виде технологии, процесс управления ими может быть представлен в виде многоуровневой иерархической системы. При этом каждый уровень иерархии включает в себе

решения задач по собственным критериям. Решение, или процесс, полученный на k -м уровне, используется на $(k + 1)$ -м уровне, где применяется для решения других задач по другим критериям. Сам по себе переход от уровня к уровню уменьшает количество решений, но при этом существенно увеличивается их значимость и сложность. Именно в такой последовательности формируется иерархическая система управления. Основой этой иерархии служит самая обычная задача оперативного управления. Важно отметить, что критерии задач k -го уровня согласовываются в обязательном порядке с интересами $(k + 1)$ -го уровня управления. При решении задач в условиях многокритериальности необходимо вырабатывать рекомендации. Именно это согласование помогает при выработке решений. Главное в решении нашей задачи выбора наилучшего варианта технологии восстановления детали дорожно-строительной машины — определение критерия, которому следует отдать предпочтение.

Предложенный метод решения многокритериальных задач путем перехода на более высокий уровень управления является, по нашему мнению, наиболее предпочтительным решением проблемы многокритериальности. Следует заметить, что практическая реализация этого решения может быть связана со значительными трудностями, и не всегда, поднявшись на более высокий уровень, удастся сформулировать и решить соответствующую однокритериальную оптимизационную задачу. В такой ситуации необходимо поставить в соответствие каждому варианту решения свой **коэффициент относительной важности** (КОВ) $c_j, j = \overline{1, n}$.

Данная задача сводится к определению численных значений КОВ. Для ее решения можно применять методы линейного программирования, позволяющие получить множество эффективных планов (множество Парето), определив условие задачи следующим образом:

$$k_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \rightarrow \text{opt}, i = \overline{1, m}; \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n b_{ij} x_j \leq c_i, i = \overline{1, m}, x_j = 1, n. \quad (7)$$

Приведенный теоретический эксперимент показал, что при расчетах возникают трудно-

сти вычислительного характера, и существенное число гиперповерхностей, описывающих множество Парето, делают необходимым процесс оптимизации процедуры вычислений.

Библиографический список

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

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

3. Terentiev A. V., Menukhova T. A. Economics and society in the era of technological changes and globalization the methodology of the operating cost accounting in identifying mileage of efficient motor vehicle operation // International Journal of Economics and Financial Issues. 2015. Vol. 5(3S). Pp. 183–186.

4. Кудряшов Е. А., Смирнов И. М. К выбору рационального способа восстановления работоспособности изношенных поверхностей деталей // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер. «Техника и технологии». 2014. № 1. С. 8–15.

5. Иванов В. П. Выбор способа восстановления деталей // Наука и техника. 2016. Т. 15, № 1. С. 9–17.

6. Бондарева Г. И. Системный анализ объектов, функций и ресурсов в процессах восстановления деталей машин // Вестник Московского гос. агроинженерного ун-та. 2010. № 2. С. 119–124.

7. Лузан С. А. Критерий выбора способа восстановления деталей машин и определение рационального маршрута технологии // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. 2017. Вып. 183. С. 45–56.

8. Терентьев А. В. Развитие метода районирования // Материалы 4-й междунар. науч.-практ. конф. «Инновации на транспорте и в машиностроении». СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2016. С. 127–130.

9. Беляев А. И., Терентьев А. В., Пушкарев А. Е. Оценка методов восстановления деталей дорожно-строительных машин в многокритериальной постановке // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 1 (66). С. 123–127.

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., Ефименко Д. Б., Карелина М. Ю. Методы районирования как методы оптимизации автотранспортных процессов // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 6 (65). С. 291–294.

13. Kapustin A., Terentiev A. Rational lifetime of a vehicle in terms of ensuring security of its design // Paper presented at the Transportation Research Procedia. 2017. Vol. 20. Pp. 254–260.

14. Sivaraman S., Trivedi M. M. (2013). Looking at vehicles on the road: A survey of vision-based vehicle detection, tracking, and behavior analysis // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2013. Vol. 14 (4). Pp. 1773–1795.

References

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

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

3. Terentiev A. V., Menukhova T. A. Economics and society in the era of technological changes and globalization the methodology of the operating cost accounting in identifying mileage of efficient motor vehicle operation. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 2015, vol. 5(3S), pp. 183–186.

4. Kudryashov E. A., Smirnov I. M. *K vyboru ratsional'nogo sposoba vosstanovleniya rabotosposobnosti iznoshennykh poverkhnostey detaley* [To the selection of a rational method of restoring the working capacity of worn-out parts' surfaces]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. «Tekhnika i tekhnologii» – Bulletin of the Southwest State University, ser. Engineering and Technology*, 2014, no. 1, pp. 8–15.

5. Ivanov V. P. *Vybor sposoba vosstanovleniya detaley* [Selecting the method of parts' restoration]. *Nauka i tekhnika – Science and technology*, 2016, vol. 15, no. 1, pp. 9–17.

6. Bondareva G. I. *Sistemnyy analiz ob'ektov, funktsiy i resursov v protsessakh vosstanovleniya detaley mashin* [System analysis of objects, functions and resources in the process of restoration of machine parts]. *Vestnik Moskovskogo gos. agroinzhenernogo un-ta – Bulletin of the Moscow State Agro-engineering University*, 2010, no. 2, pp. 119–124.

7. Luzan S. A. *Kriteriy vybora sposoba vosstanovleniya detaley mashin i opredelenie ratsional'nogo marshruta*

tekhnologii [Selection criterion of the restoration way of machinery parts and determination of technology rational route]. *Visnik KhNTUSG im. P. Vasilenka – Bulletin of Vasilenok Kharkov National Technical University*, 2017, no. 183, pp. 45–56.

8. Terentiev 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 IV Int. sci.-pract. conf. “Innovations in transport and mechanical engineering”]. St. Petersburg, Natsional’nyy mineral’no-syr’evoy universitet «Gornyy» Publ., 2016, pp. 127–130.

9. Belyaev A. I., Terentiev A. V., Pushkarev A. E. *Otsenka metodov vosstanovleniya detaley dorozhno-stroitel’nykh mashin v mnogokriterial’noy postanovke* [Evaluation of the methods for restoring the components of road building machines in a multi-criteria setting]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2018, no. 1 (66), pp. 123–127.

10. Terentiev A. V., Prudovskiy B. D. *Metody opredeleniya mnozhestva Pareto v nekotorykh zadachakh lineynogo programmirovaniya* [Methods for determining

the Pareto set in some linear programming problems]. *Zapiski Gornogo institute – Journal of Mining Institute*, 2015, vol. 211, pp. 89–90.

11. Terentiev A. V. *Mnogokriterial’nyy pokazatel’ kachestva avtomobilya* [Multi-criteria index of a vehicle’s quality]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2015, no. 1 (48), pp. 201–204.

12. Terentiev A. V., Efimenko D. B., Karelina M. Yu. *Metody rayonirovaniya kak metody optimizatsii avtotransportnykh protsessov* [Methods of zoning as methods of motor transport processes’ optimization]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2017, no. 6 (65), pp. 291–294.

13. Kapustin A., Terentiev A. *Rational lifetime of a vehicle in terms of ensuring security of its design*. Paper presented at the Transportation Research Procedia. 2017, vol. 20, pp. 254–260.

14. Sivaraman S., Trivedi M. M. Looking at vehicles on the road: A survey of vision-based vehicle detection, tracking, and behavior analysis. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2013, vol. 14 (4), pp. 1773–1795.