

Применение метода «дерево решений» в диагностике неисправности двигателя внутреннего сгорания автомобиля

О. В. Кузьмин✉, В. А. Голиков

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ quzminov@mail.ru

Резюме

При современном уровне развития автотранспортного парка на первое место выходят вопросы обеспечения безотказности, надежности и экологичности автомобиля, которые призваны обеспечивать безопасность его эксплуатации. Основным агрегатом автомобиля, на долю которого приходится наибольшее число отказов, является двигатель внутреннего сгорания. Надежность работы двигателей зависит не только от их конструкции, технологии изготовления, условий эксплуатации автомобилей, но в большой степени от организации и качества их обслуживания. Для повышения качества эксплуатационных характеристик двигателя внутреннего сгорания важную роль играет своевременная и достоверная диагностика его технического состояния с своевременной организацией регламентных мероприятий, которые определяются по результатам диагностирования. Можно утверждать, что своевременная диагностика неисправностей двигателя и поддержание его эксплуатационных характеристик на качественно высоком уровне, является важнейшим условием бесперебойной работы автотранспортных средств. В ходе эксплуатации автомобильного транспорта часто возникают различные отклонения в работе двигателя внутреннего сгорания как в процессе движения, так и при работе на холостом ходу. Количество таких отклонений вариативно и зависит от различного сочетания возникших неисправностей механизмов и систем. Возникшие сочетания неисправностей требуют индивидуального подхода к их выявлению. Даже для опытных водителей и механиков, которые хорошо знают принципы работы систем и механизмов двигателя, поиск неисправностей представляет сложность. В подобных случаях используют средства диагностирования. В данной статье рассмотрен один из способов представления правил в иерархической, последовательной структуре – метод деревьев принятия решений, где каждому объекту соответствует единственный узел, дающий решение. Приводятся общие принципы и примеры использования данного метода в задачах диагностики технического состояния двигателя автомобиля. Рассматриваются вопросы экспертной диагностики технического состояния двигателя внутреннего сгорания автомобиля в условиях автосервиса. Предложено дерево решений при низкой величине давления масла в двигателе. Может быть использовано при создании баз знаний для работников станций технического обслуживания автомобилей.

Ключевые слова

иерархическая структура, частично упорядоченное множество, обобщенная пирамида Паскаля, метод «Дерево решений», автомобиль, двигатель внутреннего сгорания, техническое обслуживание, диагностика, автосервис

Для цитирования

Кузьмин О. В. Применение метода «Дерево решений» в диагностике неисправности двигателя внутреннего сгорания автомобиля / О. В. Кузьмин, В. А. Голиков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 2 (70). – С. 113–120. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.2(70).113-120

Информация о статье

поступила в редакцию: 05.03.2021, поступила после рецензирования: 11.03.2021, принята к публикации: 16.03.2021

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области в рамках научного проекта № 20-41-385001

Application of a “decision tree” method in the diagnostics of faults of the internal combustion engine of a motor vehicle

O. V. Kuz'min✉, V. A. Golikov

Irkutsk State University, Irkutsk, the Russian Federation

✉ quzminov@mail.ru

Abstract

At the current level of development of the motor vehicle fleet, the first place is given to the issues of ensuring the reliability, reliability and environmental friendliness of the motor vehicle, which are designed to ensure the safety of its operation. The main motor vehicle unit, which accounts for the largest number of failures, is the internal combustion engine (ICE). The reliability of engines depends not only on their design, manufacturing technology, vehicle operating conditions, but to a large extent on the

organization and quality of their service. To improve the quality of the operational characteristics of the internal combustion engine, an essential role is played by timely and reliable diagnostics of its technical condition with the timely organization of regulatory measures, which are determined by the results of diagnostics. It can be argued that timely diagnostics of engine malfunctions and maintaining its performance characteristics at a high-quality level is the most important condition for the smooth operation of motor transport vehicles. During the operation of road transport, various deviations in the operation of the internal combustion engine often occur both during the movement and idle condition. The number of such deviations is variable and depends on a different combination of faults of mechanisms and systems. The resulting combinations of faults require an individual approach to their identification. Even for experienced drivers and mechanics who are well aware of the principles of engine systems and mechanisms, troubleshooting is difficult. In such cases diagnostic tools are used. This article discusses one of the ways to represent rules in a hierarchical, sequential structure – the method of decision trees, where each object corresponds to a single node that gives a decision. It gives the general principles and examples of the use of this method in the problems of diagnosing the technical condition of the engine of a motor vehicle. The paper also considers the issues of expert diagnostics of the technical status of the internal combustion engine of a motor vehicle in the condition of the car service station. A decision tree is proposed for low oil pressure in the engine. It can be used to create knowledge bases for employees of car service stations.

Keywords

hierarchical structure, partially ordered set, generalized Pascal pyramid, a “decision tree” method, automobile, internal combustion engine, maintenance, diagnostics, car service

For citation

Kuz'min O. V., Golikov V. A. Primenenie metoda “Derevo reshenii” v diagnostike neispravnosti dvigatelya vnutrennego sgoraniya avtomobilya [Application of a “decision tree” method in the diagnostics of faults of the internal combustion engine of a motor vehicle]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2021, No. 2 (70), pp. 113–120. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.2(70).113-120

Article Info

Received: 05.03.2021, Revised: 11.03.2021, Accepted: 16.03.2021

Acknowledgements

The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research and the Government of the Irkutsk Region within the scientific project No. 20-41-385001

Введение

В последние годы неуклонно растет интерес к теории «больших систем», с которыми приходится иметь дело в самых различных областях науки и техники. Важным направлением исследования таких «больших» или «сложных» систем является рассмотрение их как многоуровневых систем или систем с иерархической структурой [1, 2]. Процесс поэтапного построения решения многокритериальных задач с иерархическими структурами часто может быть интерпретирован как траектория на конечной решетке [3–5], описывающая соответствующее ему частично упорядоченное множество [6]. Подобные задачи нередко встречаются при разработке методов автоматического анализа больших массивов данных в информационных системах и обработке сетей и бесконечных графов [7–12].

В статье [13] предложена схема построения комбинаторных чисел и полиномов на основе иерархической пирамидальной структуры с весами, названной обобщенной пирамидой Паскаля. В [14] широко известная техника теории частично упорядоченных множеств Рота – Стенли [4] применяется для исследования целого ряда комбинаторных объектов, описываемых схемой [13].

В данной работе, относящейся к области разработки методов анализа иерархических систем и их приложений в задачах принятия решений при диа-

гностике, изучаются алгоритмы построения дихотомической классификационной модели – бинарного «дерева решений», каждый узел которого имеет только двух потомков.

Построение «деревьев решений» (классификации) – один из основных и наиболее эффективных в настоящее время инструментов интеллектуального анализа данных и предсказательной аналитики. Он помогает в решении задач классификации и регрессии, а также задач, в которых отсутствует априорная информация о виде зависимости между исследуемыми данными. Иерархическое строение дерева классификации – одно из наиболее важных его свойств.

Первые идеи создания «деревьев решений» восходят к работам П. Ховленда (P. Hoveland) и Е. Ханта (E. Hunt) конца 50-х гг. XX в. Самая ранняя и наиболее известная из них – основополагающая монография Ханта и др. [15], давшая импульс развитию этого направления.

В статьях, посвященных применению метода «Дерево решений» при принятии решения о причине неисправности двигателя внутреннего сгорания (ДВС), обычно приводятся одна или несколько диаграмм, в которых наглядно продемонстрирована структура анализа технического состояния [16–19].

В данной статье рассматриваются общие принципы этого метода и области его применения в за-

дачах диагностики технического состояния ДВС автомобиля.

Основные понятия и соотношения

Обобщенной пирамидой Паскаля (или *W*-пирамидой) [13] называется иерархическая трехгранная пирамидальная структура *W* с весами, элементы которого удовлетворяют рекуррентным соотношениям

$$W(n, k, l) = \alpha_{n,k-l,i} W(n-1, k-1, l) + \beta_{n,k,l-1} W(n-1, k, l-1) + \gamma_{n,k,l} W(n-1, k, l) \quad (1)$$

с граничными условиями $W(0, 0, 0) = W_0, W(n, k, l) = 0$, если $\min(n, k, l, n-k-l) < 0$.

Частным случаем обобщенной пирамиды Паскаля является обобщенный треугольник Паскаля (или *V*-треугольник) [13], определяемый как иерархическая треугольная структура *V* с весами, элементы которого удовлетворяют рекуррентным соотношениям

$$V(n, k) = \alpha_{n,k-1} V(n-1, k-1) + \beta_{n,k} V(n-1, k) \quad (2)$$

с граничными условиями $V(0, 0) = V_0, V(n, k) = 0, V(n, k) = 0$, если $\min(n, k, n-k) < 0$ [13, 20–24]. Иерархическая структура *V* с весами, которую описывает соотношение (2), приведена далее (рис. 1), для краткости обозначим $V(n, k) = V_{nk}$.

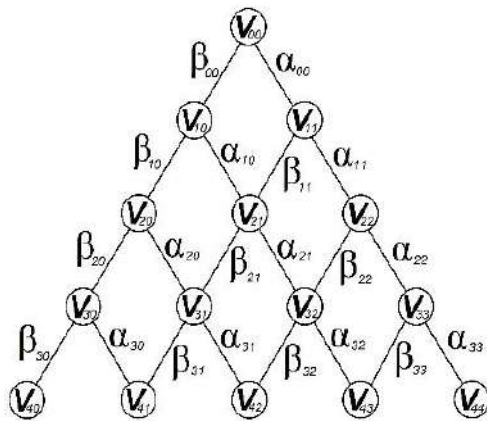


Рис. 1. Иерархическая структура обобщенного треугольника Паскаля
Fig. 1. The hierarchical structure of the generalized Pascal's triangle

Формулы (1) и (2) допускают перечислительные интерпретации в терминах решеточных путей, которые, в свою очередь, могут быть использованы при анализе решеточных структур [25, 26].

Согласно [27] основной принцип, на котором базируются методы поиска на «дереве решений», состоит в декомпозиции начальной задачи P_0 на не-

которое число подзадач P_1, \dots, P_k с последующей попыткой решить каждую из них:

1. Найти оптимальное решение задачи P_i , если оно определяется очевидным образом.
2. Показать, что решать задачу P_i не имеет смысла, поскольку значение оптимального решения для P_i заведомо хуже, чем для наилучшего из ранее найденных решений.
3. Показать, что подзадача P_i не является допустимой.

Это разбиение описывается деревом, где вершины изображают подзадачи (рис. 2).

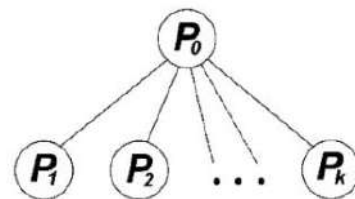


Рис. 2. Разбиение задачи P_0 на подзадачи
Fig. 2. Breaking problem P_0 into subtasks

Идея декомпозиции P_0 на подзадачи P_1, \dots, P_k состоит в том, что эти подзадачи или проще, или они имеют меньший размер, или обладают структурой, не присущей P_0 . Если подзадачу P_i нельзя решить, то она также разбивается на новые подзадачи $P_{i_1}, P_{i_2}, \dots, P_{i_r}$, (рис. 3). Это разбиение (ветвление) повторяется для каждой подзадачи, которая не может быть решена.

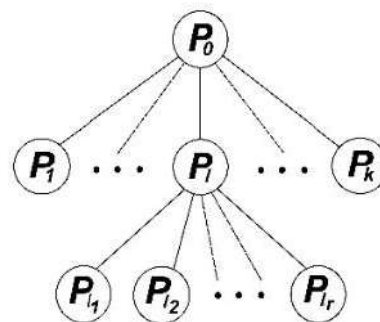


Рис. 3. Дерево после ветвления в вершине P_i
Fig. 3. The tree after branching at the vertex P_i

На любом этапе полное множество подзадач, требующих решения, представляется множеством конечных вершин (т. е. вершин степени 1) всех цепей, исходящих из корня P_0 дерева решений. Эти

вершины называются висячими вершинами, например, $P_1, \dots, P_i, P_{i_2}, \dots, P_i, \dots, P_k$. (см. рис. 3).

Если поиск исчерпан, то множество подзадач, на которые разбита задача, должно представлять все пространство подзадач исходной задачи.

Под операцией стягивания ребра понимаем отождествление смежных вершин u и v в графе G .

Как показано в [28], посредством задания весов, множества запрещенных вершин (запрещенных позиций [3]) и последующего стягивания ребер, иерархическая треугольная структура, описываемая соотношением (2), может быть преобразована в соответствующее «дерево решений» (рис. 4–5).

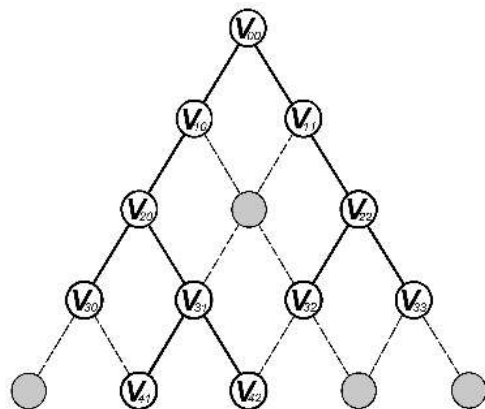


Рис. 4. Обобщенный треугольник Паскаля V
Fig. 4. Generalized Pascal's triangle V

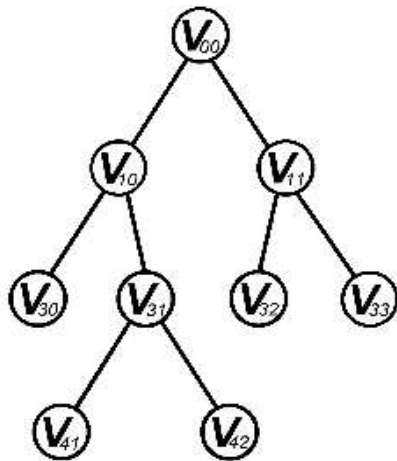


Рис. 5. Дерево решений с запрещенными позициями
Fig. 5. Decision tree with forbidden positions

На (рис. 5) показано дерево решений, полученное из V стягиванием ребер $\{V_{1,1}, V_{2,0}\}$ и $\{V_{1,0}, V_{2,2}\}$.

Неопределенность и процесс диагностирования

Практика ремонта автомобилей – есть принятие решений. Поскольку результат диагностики техни-

ческого состояния автомобиля заранее не определен, работники станции технического обслуживания (СТО) часто встают перед выбором.

Метод «Дерево решений» – количественно выраженные альтернативные возможности, доступные на каждой ступени обсуждения проблемы, могут изображаться в виде ветвей, иерархическая последовательность которых образует «дерево решений». Это графический метод, используемый в анализе принятия решений: набор возможных решений изображается в виде ветвей, а последующие исходы – в виде дочерних ветвей. Решения и вероятные исходы представлены в наиболее вероятном порядке их развития. Точки, в которых необходимо принять решения, называются узлами.

Простейшие деревья решений хороши своей наглядностью. Они не оперируют вероятностями или весами. Для решения реальных задач часто используют усложненные и дополненные модификации деревьев решений.

Метод дерева решений применяется в задачах классификации и прогнозирования, когда решения приходится принимать в условиях риска, неопределенности и исход событий зависит от вероятностей. На каждое решение влияют какие-то определенные факторы, и у каждого решения есть свои последствия, которым присущ вероятностный характер.

Вероятность: альтернативный способ выражения неопределенности

Большую часть оценок работник СТО делает на основе личного опыта, сравнивая имеющуюся проблему со встречавшимися ранее и на основании технической документации и приборов для диагностики технического состояния автомобиля. Термины, используемые работниками СТО для описания вероятности поломки автомобиля, имеют для разных людей различные значения (рис. 6).

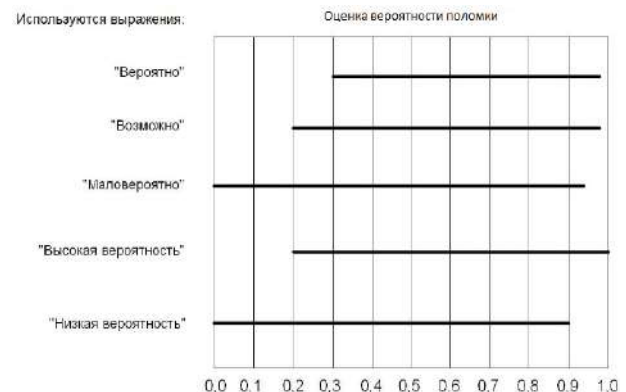


Рис. 6. Вероятность и используемые работниками станции технического осмотра выражения для нее
Fig. 6. The likelihood and expressions used by the technical inspection station staff for it

Сравнение неопределенных перспектив

Проблемы принятия решений в диагностике технического состояния двигателя автомобиля часто не могут быть решены с помощью обоснований. Например, когда исход ремонта непредсказуем, диагносту нужен метод для выбора вида ремонта. Для разрешения таких сложных проблем можно использовать два метода: «Дерево решений» – метод представления и сравнения ожидаемых исходов для каждого возможного варианта действий, и пороговую вероятность – метод решения того, может ли новая информация изменить определяющее решение [28]. Эти методы помогают внести ясность в проблему принятия решений и таким образом выбрать вариант ремонта, который с наибольшей вероятностью устранит неисправность.

Построение «дерева решений» на примере диагностики двигателя внутреннего сгорания

Рассмотрим вопросы диагностики неисправностей, влияющих на работу двигателя и связанных с ним систем автомобиля.

Серьезное повреждение двигателя может быть

вызвано низким значением давления масла. Как известно всем опытным автолюбителям для бесперебойной работы подшипников и минимизации трения подвижные элементы мотора должны постоянно смазываться.

Неопытные автолюбители могут допускать масляное голодание, что может привести к неисправности двигателя внутреннего сгорания (ДВС) [16]. При этом заметить недостаточное количество смазки в моторе довольно легко. Во многих современных автомобилях есть датчик давления масла, при недостатке смазки в ДВС данный датчик сигнализирует владельцу автомобиля о неисправности, посредством включения лампы предупреждения о нехватке масла. Также косвенными признаками масляного голодания двигателя могут служить: негативное изменение показателей мотора, трудности достижения необходимых значений мощности, наличие нехарактерного выхлопа, визуальные дефекты деталей, специфические звуки при запуске мотора.

Рассмотренные примеры указывают на различные неисправности отдельных узлов и агрегатов вследствие брака или некачественного ремонта. Указанные



Рис. 7. «Дерево решений» при низкой величине давления масла

Fig. 7. "Decision tree" at low oil pressure

признаки должны говорить водителю на неисправность, на которую автолюбитель должен обратить внимание и принять меры по их устранению.

Долгая работа двигателя при масляном голодании приводит к перегреву некоторых узлов и деталей, их отказу, а в дальнейшем к выходу из строя («заклиниванию») всего ДВС [17]. Для нормальной работы двигателя необходимо следить за показателем давления масла в системе. Низкая величина данной характеристики влечет к быстрому износу трущихся деталей. Важно наблюдать за состоянием коренных сальников, прокладок и шатунных подшипников, так как через зазоры в данных запасных частях зачастую и происходит утечка масла.

Приведем пример [16] «дерева решений» для диагностики технического состояния ДВС при низкой величине давления масла в двигателе (рис. 7).

Заключение

При принятии решения о ремонте двигателя автомобиля постоянно приходится учитывать вероятность угрожающих событий, сопряженных с вмешательством в механизм двигателя. Построение «дерева решений» позволяет наглядно продемонстрировать структуру данных и создать модель их классификации, какими бы громоздкими они ни были.

Предложенное «дерево решений» при низкой величине давления масла рекомендуется к применению для обнаружения предполагаемых причин и источников формирования отказа (нарушения работы) или для исследования вопросов возникновения конечного события с опорой на данные о достоверности исходных первичных событий.

Список литературы

1. Месарович М., Мако Д., Такаха И. Теория иерархических многоуровневых систем. М. : Мир, 1973. 344 с.
2. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М. : Радио и связь, 1993. 278 с.
3. Стенли Р. Перечислительная комбинаторика. М. : Мир, 1990. 434 с.
4. Биркгоф Г. Теория решеток. М. : Наука, 1984. 568 с.
5. Гретцер Г. Общая теория решеток. М. : Мир, 1982. 456 с.
6. Балагура А.А., Кузьмин О.В. Обобщенная пирамида Паскаля и частично упорядоченные множества // Обозрение приклад. и пром. математики. 2007. Т. 14, Вып. 1. С. 88–91.
7. Лебедев В.Б., Федотов Е.А. Моделирование данных информационных систем методами теории решеток // Изв. вузов. Поволж. регион. Сер. Техн. науки. 2015. № 3 (35). С. 104–110.
8. Басакер Р., Саати Т. Конечные графы и сети. М. : Наука, 1974. 368 с.
9. Евстигнеев В.А., Касьянов В.Н. Теория графов: алгоритмы обработки бесконечных графов. Новосибирск : Наука, 1998. 385 с.
10. Fidge C. J. Partial Orders for Parallel Debugging // ACM SIGPLAN Notices. 1989. Vol. 24. № 1. P. 183–194.
11. Ma T.-H., Spinrad J. P. Cycle-tree partial orders and chordal comparability graphs // Order. 1991. Vol. 8. № 1. P. 49–61.
12. Murthy S.K. Automatic construction of decision trees from data: A multidisciplinary survey // Data Min. Knowl. Discov., 1998. № 2(4). P. 345–389.
13. Кузьмин О.В. Обобщенные пирамиды Паскаля и их приложения. Новосибирск : Наука. Сиб. издат. фирма РАН, 2000. 294 с.
14. Kuzmin O.V., Balagura A.A., Kuzmina V.V., Khudonogov I.A. Partially ordered sets and combinatory objects of the pyramidal structure // Advances and Applications in Discrete Mathematics. 2019. Vol. 20. Is. 2. P. 229–242.
15. Hunt E.B., Janet Marin, Philip J.S. Experiments in Induction. N. Y. : Academic Press, 1966. 247 p.
16. Зайцева М.М., Кузьмин С.Е. Разработка деревьев решений диагностики различных неисправностей авторефрижераторов. Ч. 1 // Инженерный вестн. Дона, 2017. № 3 (46). С. 53. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/issue/130> (дата обращения 12.04.2021).
17. Смирнов Ю.А. Диагностика технического состояния автотранспортных средств. М. : ИНФРА-М, 2020. 180 с.
18. Огнев И.Г., Банных С.А. Алгоритмы поиска неисправностей двигателя без использования диагностического оборудования при нарушении правильного режима его работы // Теория и практика военного образования в гражданских вузах: педагогический поиск : сб. материалов I Всерос. науч.-практ. конф. Екатеринбург, 2019. С. 131–137.
19. Хрулев А.Э., Клименко В.Г. Особенности построения и применения логических методов поиска причин отказов поршневых двигателей внутреннего сгорания в эксплуатации // Авіаційно-космічна техніка і технологія. 2020. № 7(167). С. 146–157.
20. Балагура А.А., Кузьмин О.В. Обобщенные пирамиды Паскаля и им обратные // Дискретная математика. 2007. Т. 19, Вып. 4. С. 108–116.
21. Бондаренко Б.А. Обобщенные треугольники и пирамиды Паскаля, их фракталы, графы и приложения. Ташкент : Фан, 1990. 192 с.
22. Кузьмин О.В., Серёгина М.В. Верхние отсечения обобщенной пирамиды Паскаля и их интерпретации // Журн. Сиб. федер. ун-та. Математика и физика. 2010. Т. 3, Вып. 4. С. 533–543.
23. Кузьмин О.В., Серёгина М.В. Плоские сечения обобщенной пирамиды Паскаля и их интерпретации // Дискрет. математика. 2010. Т. 22, Вып. 3. С. 83–93.
24. Кузьмин О.В., Серёгина М.В. Восходящие сечения обобщенной пирамиды Паскаля и модели развития популяций // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2010. Т. 17, Вып. 3. С. 430–432.

25. Kuzmin O.V., Khomenko A.P. and Artyunin A.I. Discrete model of static loads distribution management on lattice structures // *Advances and Applications in Discrete Mathematics*. 2018. Vol. 19. Is. 3. P. 183–193.
26. Kuzmin O.V., Khomenko A.P. and Artyunin A.I. Development of special mathematical software using combinatorial numbers and lattice structure analysis // *Advances and Applications in Discrete Mathematics*. 2018. Vol. 19. Is. 3. P. 229–242.
27. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. М. : Мир, 1978. 432 с.
28. Кузьмин О.В., Аталян А.В. Деревья принятия решений в задачах диагностики и прогнозирования // *Прикладные задачи дискретного анализа*. Иркутск, Изд-во ИГУ, 2019. С. 64–79.

References

1. Mesarović M.D., Macko D., Takahara Y. *Theory of hierarchical multilevel systems*. New York: Academic Press, 1970. 294 p. (Russ. ed.: Mesarovich M., Mako D., Takahara I. *Teoriya ierarkhicheskikh mnogourovnevnykh sistem*. Moscow: Mir Publ., 1973. 344 s.)
2. Saaty T.L. *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. New York: McGraw-Hill, 1980. 287 p. (Saati T. *Prinyatie reshenii. Metod analiza ierarkhii*. Moscow: Radio i svyaz' Publ., 1993. 278 s.)
3. Stanley R.P. *Enumerative combinatorics, Vol. 1*. Cambridge University Press, Cambridge, 1997, 335 p. (Stenli R. *Perechislitel'naya kombinatorika*. Moscow: Mir Publ., 1990. 434 s.)
4. Birkhoff G. *Lattice theory*. American Mathematical Society, New York, 1967, 418 p. (Birkhof G. *Teoriya reshetok*. Moscow: Nauka Publ., 1984. 568 s.)
5. Grätzer G. *Lattice theory: Foundation*. Springer, Basel AG, 2011. 644 p. (Grettser G. *Obshchaya teoriya reshetok*. Moscow: Mir Publ., 1982. 456 s.)
6. Balagura A.A., Kuz'min O.V., Obobshchennaya piramida Paskalya i chastichno uporyadchennyye mnozhestva [Generalized Pascal pyramid and partially ordered sets]. *Obozrenie prikladnoi i promyshlennoi matematiki [Surveys on applied and industrial mathematics]*, 2007. Vol. 14. No. 1. Pp. 88–91.
7. Lebedev V.B., Fedotov E.A. Modelirovanie dannykh informatsionnykh sistem metodami teorii reshetok [Information system data modeling using the lattice theory methods]. *Izv. vuzov. Povolzh. region. Ser. Tekhn. nauki. [University proceedings. The Volga region. Engineering sciences]*, 2015. No. 3 (35). Pp. 104–110.
8. Busaker R.G., Saaty T.L. *Finite graphs and networks: an introduction with applications*. Mc. Graw-Hill Book Company, New York, 1965. 294 p. (Russ. ed.: Basaker P., Saati T. *Konechnyye grafy i seti*. Moscow: Nauka Publ., 1974. 368 p.)
9. Evstigneev V.A., Kasyanov V.N. Evstigneev V.A., Kas'yanov V.N. *Teoriya grafov: algoritmy obrabotki beskonturnykh grafov [Graph theory: algorithms for processing acyclic graphs]*. Nauka Publ., Novosibirsk, 1998. 385 p.
10. Fidge C.J. Partial orders for parallel debugging. *ACM SIGPLAN notices*, 1989. Vol. 24. No. 1. Pp. 183–194.
11. Ma T.-H., Spinrad J.P., Cycle-tree partial orders and chordal comparability graphs. *Order*, 1991. Vol. 8. No. 1. Pp. 49–61.
12. Murthy S.K. Automatic construction of decision trees from data: A multidisciplinary survey. *Data Min. Knowl. Discov.*, 1998. No. 2(4). Pp. 345–389.
13. Kuz'min O.V. Obobshchennyye piramidy Paskalya i ikh prilozheniya [Generalized Pascal Pyramids and their Applications]. Nauka Publ., Novosibirsk, 2000. 294 p.
14. Kuz'min O.V., Balagura A.A., Kuz'mina V.V., Khudonogov I.A. Partially ordered sets and combinatory objects of the pyramidal structure. *Advances and Applications in Discrete Mathematics*, 2019. No. 20(2). Pp. 229–242.
15. Hunt E.B. Janet Marin and Philip J. Stone. *Experiments in Induction*. N. Y. : Academic Press, 1966. 247 p.
16. Zaitseva M.M., Kuz'min S.E. Razrabotka derev'ev reshenii diagnostiki razlichnykh neispravnoy avtorefrizheratorov. Ch. 1 [Development of decision trees for diagnosing various malfunctions of refrigerated trucks. Part 1]. *Inzhenernyi vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]*, 2017, No. 3 (46). Pp. 53 [Electronic media]. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4332>.
17. Smirnov Yu.A. Diagnostika tekhnicheskogo sostoyaniya avtotransportnykh sredstv [Diagnostics of the technical condition of motor vehicles]. Moscow: INFRA-M Publ., 2020. 180 p.
18. Ognev I.G., Bannykh S.A. Algoritmy poiska neispravnoy dvigatelya bez ispol'zovaniya diagnosticheskogo oborudovaniya pri narushenii pravil'nogo rezhima ego raboty [Algorithms for troubleshooting the engine without the use of diagnostic equipment in case of violation of the correct mode of its operation]. *Teoriya i praktika voennogo obrazovaniya v grazhdanskikh vuzakh: pedagogicheskii poisk : sbornik materialov I Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Ekaterinburg, 10–12 dekabrya 2018 g.) [Theory and practice of military education in civil universities: pedagogical search: collection of materials of the I All-Russian Scientific and Practical Conference (Ekaterinburg, December 10–12, 2018)]*. Ekaterinburg: Ural University Publ., 2019. Pp. 131–137.
19. Khrulev A.E., Klimenko V.G. Osobennosti postroyeniya i primeneniya logicheskikh metodov poiska prichin otkazov porshnevnykh dvigateley vnutrennego sgoraniya v ekspluatatsii [Features of construction and application of logical methods of searching for reasons for failures of internal combustion piston engines in operation]. *Aviatsiino-kosmichna tekhnika i tekhnologiya [Aviation and space engineering and technology]*, 2020. No. 7(167). Pp. 146–157.
20. Balagura A.A., Kuz'min O.V. Obobshchennyye piramidy Paskalya i im obratnye [Generalized Pascal pyramids and their reciprocals]. *Diskretnaya matematika [Discrete mathematics and applications]*, 2007. Vol. 17. No. 6. Pp. 619–628.
21. Bondarenko B.A. *Generalized Pascal triangles and pyramids, their fractals, graphs, and applications*. The Fibonacci Association, Santa Clara. 2010. 296 p. (Russ. ed.: Bondarenko B.A. *Obobshchennyye treugol'niki i piramidy Paskalya, ikh fraktali, grafy i prilozheniya*. Tashkent: Fan Publ., 1990. 192 s.)

22. Kuz'min O.V., Seryogina M.V. Verkhnie otsecheniya obobshchennoi piramidy Paskalya i ikh interpretatsii [Upper unit of the generalized Pascal pyramid and their interpretations]. *Zhurn. Sib. feder. un-ta. Matematika i fizika [Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics]*, 2010. Vol. 3. No. 4. Pp. 533–543.

23. Kuz'min O.V. and Seryogina M.V. Plane sections of the generalized Pascal pyramid and their interpretations. *Discrete Math.*, 2010. Appl. 20(4). Pp. 377–389 (Russ. ed.: Kuz'min O.V., Seregina M.V. Ploskie secheniya obobshchennoi piramidy Paskalya i ikh interpretatsii. *Diskret. Matematika*, 2010. T. 22, vyp. 3. S. 83–93).

24. Kuz'min O.V., Seregina M.V. Voskhodyashchie secheniya obobshchennoi piramidy Paskalya i modeli razvitiya populyatsii [Ascending sections of the generalized Pascal pyramid and population development models]. *Obozrenie prikladnoi i promyshlennoi matematiki [Surveys on applied and industrial mathematics]*, 2010. Vol. 17. No. 3. Pp. 430–432.

25. Kuz'min O.V., Khomenko A.P., Artyunin A.I. Discrete model of static loads distribution management on lattice structures. *Advances and Applications in Discrete Mathematics*, 2018. No. 19(3). Pp. 183–193.

26. Kuz'min O.V., Khomenko A.P., Artyunin A.I., Development of special mathematical software using combinatorial numbers and lattice structure analysis. *Advances and Applications in Discrete Mathematics*, 2018. No. 19(3). Pp. 229–242.

27. Christofides N. Graph theory: An algorithmic approach. Academic Press, London. 1975. 400 p. (Russ. ed.: Kristofides N. Teoriya grafov. Algoritmicheskii podkhod. Moscow: Mir Publ., 1978. 432 s.)

28. Kuzmin O.V., Atalyan A.V. Derev'ya prinyatiya reshenii v zadachakh diagnostiki i prognozirovaniya [Decision trees in the problems of diagnostics and forecasting]. *Prikladnye zadachi diskretnogo analiza [Applied problems of discrete analysis]*. Irkutsk, ISU Publ., 2019. Pp. 64–79.

Информация об авторах

Кузьмин Олег Викторович – д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой теории вероятностей и дискретной математики, Иркутский государственный университет, г. Иркутск, e-mail: quzminov@mail.ru

Голиков Вадим Александрович – магистрант, кафедра теории вероятностей и дискретной математики, Иркутский государственный университет, г. Иркутск, e-mail: captain.mekker@gmail.com

Information about the authors

Oleg V. Kuzmin – Dr. Sci. in Physics and Mathematics, Prof., Head of the Subdepartment of Probability Theory and Discrete Mathematics, Irkutsk State University, Irkutsk, e-mail: quzminov@mail.ru

Vadim A. Golikov – Master's degree student, the Subdepartment of Probability Theory and Discrete Mathematics, Irkutsk State University, Irkutsk, e-mail: captain.mekker@gmail.com

DOI 10.26731/1813-9108.2021.2(70).120-128

УДК 624.21/8

Совершенствование научно-технического сопровождения, мониторинга и контроля производства работ по устройству линейного транспортного сооружения

Е. В. Каимов✉

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ Eugen-Kaimov@yandex.ru

Резюме

Под функциональным качеством строительной продукции, включая объекты инфраструктуры линейных транспортных сооружений, подразумевается пригодность объектов к использованию по установленному (функционально-технологическому) назначению с обязательным соблюдением показателей эксплуатационной эффективности, надежности и безопасности. Обеспечение показателей функционального качества объектов транспортной инфраструктуры является постоянно актуальной задачей и требует привлечения различных методических приемов. Формирование функционального качества сопровождается образованием и функционированием многочисленных структурных элементов, входящих в состав сложной, комплексной и динамически изменяемой системы строительного производства. Как следствие этих особенностей, остаются актуальными инструменты методического совершенствования подходов по управлению функциональным качеством транспортных сооружений. В статье предлагается методическая основа для применения системного подхода к формированию и управлению показателями функционального качества в контексте научно-технического сопровождения. Процесс научно-технического сопровождения основных этапов жизненного цикла рассматриваемой строительной продукции представляется в виде укрупненного алгоритма осуществления контроля данных и разработки управляющих воздействий при выявлении недопустимых отклонений от установленного (нормируемого) уровня функционального качества строительной продукции. Методическую и практическую основу управления функциональным качеством составляют системотехнический подход к контролю процессов формирования и поддержания качества строительных объектов транспортной инфраструктуры и реализации алгоритма целенаправленного воздействия на неблагоприятные факторы, способные привести к отклонениям от установленных показателей. Основным результатом исследований является концепция системного и непрерывного выявления условий соответствия показателей функционального качества первоначальным значениям и предложение перехода на превентивное информационное моделирование особенностей свойств и возможных отклонений от проектируемых показателей функционального качества линейных транспортных сооружений, реализуемых в составе соответствующей программы научно-технического сопровождения. Область применения результатов исследований может быть распространена на процедуры и мероприятия по формирова-