

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-2-296
УДК 656.07



Научная статья | Транспортные и транспортно-технологические системы

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАНЦИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Н.С. Захаров, Е.С. Козин

В исследовании приведено обоснование использования эволюционных методов или генетических алгоритмов для технологического проектирования вновь сооружаемых или модернизируемых станций технического обслуживания автомобилей. Генетические алгоритмы являются одним из видов моделей машинного обучения и активно используются для решения многофакторных оптимизационных задач. Задачей такого типа является поиск технических параметров предприятия сервиса автомобилей, при которых экономические показатели его деятельности будут соответствовать установленным пользователем ограничениям по прибыли или капитальным затратам. В работе приведены параметры разработанной модели, функции приспособленности, а также приведена оценка эффективности использования метода генетических алгоритмов относительно метода простого перебора разных вариантов сочетаний исходных факторов.

Цель: *повышение эффективности управления предприятиями автомобильного транспорта путем использования для задач стратегического планирования метода генетических алгоритмов.*

Метод и методология проведения работы. *В исследовании используется метод генетических алгоритмов для решения многокритериальной задачи обратной оптимизации при технологическом проектировании станции технического обслуживания автомобилей*

Результаты. Обосновано использование метода генетических алгоритмов для проектирования станций технического обслуживания и предприятий по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей с учетом установленных в начале проектирования ограничений или целевых показателей.

Область применения результатов. Результаты исследования могут быть использованы руководством предприятий по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей при их проектировании, стратегическом планировании деятельности и модернизации.

Ключевые слова: технологическое проектирование; автомобили; генетические алгоритмы; оптимизация; сервис

Для цитирования. Захаров Н.С., Козин Е.С. Технологическое проектирование станций технического обслуживания автомобилей с использованием генетических алгоритмов // *International Journal of Advanced Studies*. 2024. Т. 14, № 2. С. 104-122. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-2-296

Original article | Transport and Transport-Technological Systems

TECHNOLOGICAL DESIGN OF CAR SERVICE STATIONS USING GENETIC ALGORITHMS

Zakharov N.S., Kozin E.S.

The study describes the use of evolutionary methods or genetic algorithms for the technological design of newly constructed or modernized car service stations. Genetic algorithms are one of the types of machine learning models and are actively used to solve multifactor optimization problems. A task of this type is to search for the technical parameters of a car service enterprise under which the economic indicators of its activities will correspond to the profit or capital cost restrictions set by the user. The paper presents the parameters of the developed model, fitness functions, and also provides an assessment of the effectiveness

of using the method of genetic algorithms relative to the method of simply enumerating different options for combinations of initial factors.

Purpose. *Increasing the efficiency of management of road transport enterprises by using the method of genetic algorithms for strategic planning tasks.*

Methodology. *The research uses the method of genetic algorithms to solve a multi-criteria reverse optimization problem in the technological design of a car service station*

Results. *The use of the method of genetic algorithms for the design of service stations and enterprises for the maintenance and repair of vehicles is justified, taking into account the restrictions or targets established at the beginning of the design.*

Practical implications. *The results of the research can be used by the management of enterprises for the maintenance and repair of vehicles in their technological design, strategic planning of activities and modernization.*

Keywords: *technological design; cars; genetic algorithms; optimization; service*

For citation. *Zakharov N.S., Kozin E.S. Technological Design of Car Service Stations using Genetic Algorithms. International Journal of Advanced Studies, 2024, vol. 14, no. 2, pp. 104-122. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-2-296*

Введение

Главной методической основой для определения технических параметров проектируемых станций технического обслуживания (СТО) автомобилей является технологический расчет [3]. На его итоговых показателях формируется экономическое обоснование работы СТО, определяются доходы, совокупные затраты и капитальные вложения для запуска готового бизнеса [1]. Существующие методики технологического расчета базируются на принятых еще в конце прошлого века нормах технологического проектирования, которые в настоящее время не действуют и во

многим потеряли свою актуальность [4]. Методика основывается на прогнозе числа автомобиле-заездов клиентов на СТО, после чего определяются такие параметры как трудоемкость работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТО и Р) автомобилей, количество постов, площади производственных помещений, что в свою очередь позволяет рассчитать экономическую эффективность работы станции и требуемые стартовые вложения [10, 21]. Это «технологический» подход к определению параметров СТО. На практике чаще применяется «рыночный» подход, когда у собственника есть определенный стартовый капитал, который он может направить на открытие СТО и закупку необходимого оборудования [12]. И ему приходится решать задачу подбора будущих параметров станции «наоборот», подгоняя технические аспекты под имеющиеся средства. Прогнозирование осложняется тем, что в качестве цели собственник может выбрать как показатели текущей прибыли от работы предприятия, так и сокращение срока возврата инвестиций [11]. В этом случае классический технологический расчет в чистом виде использовать невозможно, поскольку рассматриваемая задача является многофакторной обратной оптимизационной задачей, когда начальные параметры должны быть подобраны, исходя из величины конечного показателя. Сама по себе методика технологического расчета при должной корректировке и актуализации заложенных в него нормативов является рабочим инструментом, однако изменения произошли в подходе к ее использованию. Технические параметры в настоящее время подбираются либо под размеры имеющегося участка или здания, либо под величину начального капитала для запуска бизнеса. В таких условиях алгоритмически можно производить технологический расчет при всех возможных сочетаниях исходных факторов, пока получившийся результат не будет соответствовать искомому значению, например, имеющимся финансовым возможностям организатора. В компьютерных науках этот метод принято называть методом простого перебора или Brute Force

(BF) [7]. Однако он признан неэффективным, поскольку ведет к геометрическому увеличению количества расчетов и к высокой трудоемкости их интерпретации, а зачастую и к невозможности реализации при большом количестве вариантов сочетаний исходных значений [5].

Альтернативой методам простого перебора значений для решения задач оптимизации является метод эволюционных (или генетических) алгоритмов [16]. Такого рода алгоритмы решают сложные задачи с применением концептуальных подходов, аналогичных основным положениям теории эволюции биологических видов [15]. Жизненный цикл генетического алгоритма состоит из нескольких этапов:

1. Создание популяции возможных решений
2. Оценка приспособленности особей в популяции
3. Выбор родителей на основе их приспособленности
4. Воспроизводство потомства
5. Создание следующего поколения и оценка его приспособленности [20].

Приведенные выше этапы реализуются в несколько циклов до момента определения глобального оптимума на рассматриваемом пространстве решений [18].

Цель работы

Таким образом, целью исследования является повышение эффективности управления предприятиями автомобильного транспорта путем использования для задач стратегического планирования метода генетических алгоритмов. Научной новизной исследования является обоснование возможности применения эволюционных методов для технологического расчета станций технического обслуживания автомобилей, а также структура и параметры разработанной модели. Практической значимостью исследования является разработка инструмента для определения технических параметров проектируемых или модернизируемых предприятий с учетом входных ограни-

чений по имеющимся средствам или установленным целевым экономическим показателям.

Материалы и методы исследования

Рассмотрим решение задачи поиска оптимальных параметров функционирования станции технического обслуживания в терминологии генетических алгоритмов. Рассматриваемая задача относится к типу обратных оптимизационных задач, условие которой представлено выше, и может быть сформулирована следующим образом: требуется определить такие входные факторы, при которых один или несколько выходных параметров будет соответствовать заданным пользователем значениям или стремиться к точке экстремума [2, 8]. В качестве методической основы используется технологический и экономический расчет станции технического обслуживания автомобилей [9]. Расчеты были незначительно упрощены для исключения вариантов ветвлений, связанных с выбором различных методов организации ТО и ТР, а также с распределением суммарной трудоёмкости между зонами и участками [14].

Входные параметры для расчетов следующие:

1. Годовое количество условно обслуживаемых на станции автомобилей $N_{\text{СТО}}$ [13];
2. Количество автомобиле-заездов в год d ;
3. Среднегодовой пробег автомобиля L_p , км;
4. Число рабочих дней в году, $D_{\text{раб.г}}$;
5. Продолжительность смены $T_{\text{см}}$, ч
6. Число смен C , ед.
7. Стоимость нормо-часа работ, $C_{\text{нч}}$, руб [19].

Выходные параметры расчета можно определить следующие:

1. Доходы: D , руб.;
2. Налоги: $НВ$, руб;
3. Прибыль: $П$, руб;
4. Точка безубыточности: $T_{\text{б.у}}$, чел-ч;

ется путем случайной инициализации значений генов в пределах установленных в параметрах алгоритма границ.

Следующим этапом является определение функции приспособленности особей или фитнес-функции. Эта функция выполняет роль целевой для генетического алгоритма и показывает степень соответствия выбранной популяции решений заданному (оптимальному) варианту. Чем выше приспособленность конкретной популяции, тем больше генов от родителей переходит к потомкам. Аллели генов родителей с низкой приспособленностью исключаются из эволюционного процесса по мере реализации следующих циклов. Для условий рассматриваемой задачи функция приспособленности может базироваться на выбранном пользователе значении выходного параметра экономического расчета СТО и стремиться либо к максимизации (в случае Д, П, Р), либо к минимизации (в случае НВ, $T_{б.у.}$, $T_{ок}$) значений [6]. Для используемого фреймворка в случае решения задачи максимизации фитнес-функция будет задаваться отрицательным значением целевого показателя и положительным для минимизации. Функция приспособленности будет иметь вид: $\Pi \rightarrow \max$.

Общий вид функции приспособленности представлен на рис. 2.

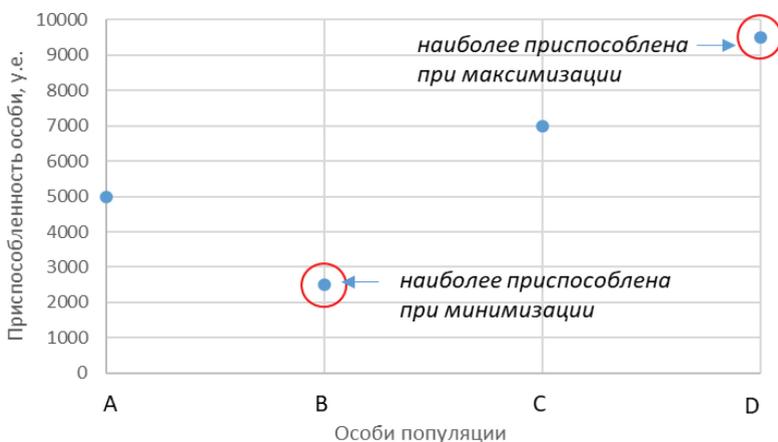


Рис. 2. Оценка приспособленности особей

Из всей популяции, приведенной на рисунке 2, при решении задач максимизации особь D будет иметь самую высокую приспособленность. Следовательно, ее гены для наследования будут более важными, чем гены других особей. Поэтому именно она будет с большей вероятностью использована для воспроизводства потомства.

При этом для смены поколений существует несколько моделей. Стационарная модель предполагает сохранение большей части популяции и замену новым потомством только небольшой группы особей, процент которых устанавливается в параметрах алгоритма. Поколенческая модель предполагает полную смену популяции каждое поколение. При этом у хромосом с более высоким показателем приспособленности больший шанс быть выбранными для наследования генов потомству. В созданной модели использовался стационарный подход с заданным процентом замещения популяции родителей (30%).

После отбора родителей наступает процесс воспроизведения ими нового потомства. Этот процесс состоит из двух частей: смешивания части хромосом первого и второго родителя (кроссинговера) и случайного изменения генов потомка для улучшения популяции (мутации). В работе использовался однородный (uniform) кроссинговер, предполагающий наследование множества частей от обоих родителей. Для этого случайным образом генерируется маска, представляющая, какие гены родителя будут использованы для создания потомка. Мутация предполагает замену случайного гена потомка на число из допустимого диапазона значений. Установленный для модели параметр мутаций составляет 1% от общего количества генов. Процесс реализации воспроизводства потомства для поиска оптимальных параметров СТО представлен на рисунке 3.

Условием остановки модели может быть либо прохождение заданного количества итераций, либо стагнация функции приспособленности, т.е. ситуация, когда модель на протяжении нескольких поколений получает похожие решения. При моделировании в настоящем исследовании использовался первый подход.

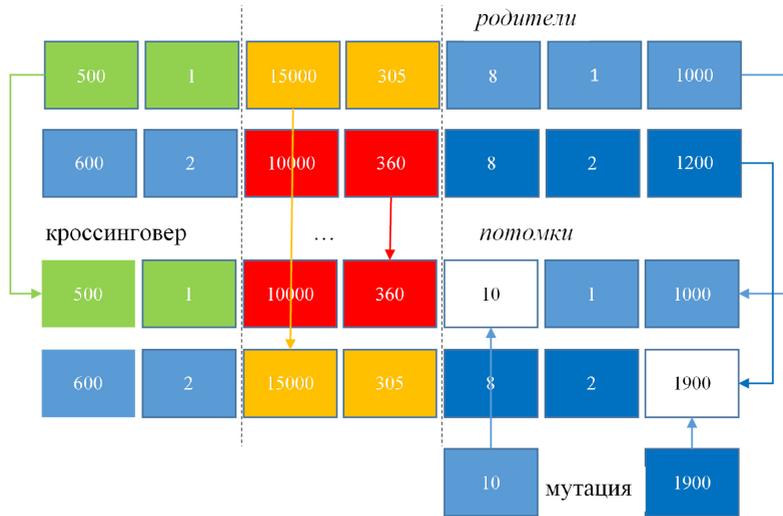


Рис. 3. Равномерный кроссинговер и мутация при воспроизводстве потомства

Результаты исследования и их обсуждение

Параметры разработанной модели генетического алгоритма для решения задачи поиска входных параметров СТО для максимизации прибыли предприятия представлены ниже в таблице 1.

Таблица 1.

Параметры разработанной модели генетического алгоритма

№	Параметр	Значение
1	Максимальное число итераций, ед.	10
2	Размер популяции, ед.	100
3	Вероятность мутации гена, %	1
4	Процент выбора элитных особей, %	1
5	Процент передачи родительских генов при кроссинговере, %	90
6	Процент потомства из генов родителей, %	30
7	Тип кроссинговера	равномерный
8	Количество итераций без значительного улучшения фитнес-функции, ед.	5
9	Размерность входящего вектора признаков, ед.	7
10	Тип значений генов	дискретные

В результате работы модели генетического алгоритма с установленными выше параметрами, границами входных данных, а также определенной для максимизации значений функции приспособленности были получены следующие значения входящих факторов, позволяющие получить максимальную расчетную величину прибыли станции технического обслуживания. Для наглядности полученные методом результаты были сравнены с результатами оптимизации по методу простого перебора всех вариантов значений (таблица 2).

Таблица 2.

Перечень значений факторов для определенного моделью генетического алгоритма оптимального решения

№	Показатель	Оптимальное значение по методу генетического алгоритма	Оптимальное значение по методу перебора значений
1	Годовое количество условно обслуживаемых на станции автомобилей $N_{\text{сто}}$;	834	900
2	Количество автомобиле-заездов в год d ;	4	4
3	Среднегодовой пробег автомобиля L_p , км;	18000	20000
4	Число рабочих дней в году, $D_{\text{раб.д}}$;	355	360
5	Продолжительность смены $T_{\text{см}}$, ч	11	12
6	Число смен C , ед.	1	1
7	Стоимость нормо-часа работ, $C_{\text{нч}}$, руб.	1889	1900

Результаты, полученные методом генетических алгоритмов, близки к результату, полученному методом ВФ. Итоговое значение функции приспособленности для оптимального решения эволюционным методом равно 17244995 руб. Значение прибыли при методе перебора равно 20,8 млн. руб. Изменение функции приспособленности в зависимости от итераций модели генетического алгоритма представлено на рисунке 4.

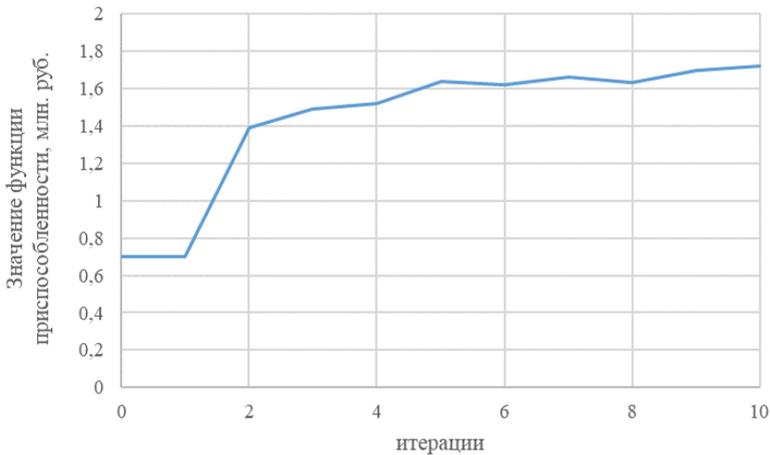


Рис. 4. Значение функции приспособленности по итерациям модели

Полученные параметры оптимального решения используются в качестве входных данных для подробного технологического и экономического расчета проектируемого предприятия.

Следует отметить, что генетический алгоритм является стохастическим и при каждой реализации выдает различные значения показателей, которые, однако, являются достаточно близкими. Также необходимо учитывать, что алгоритм приводит в качестве оптимального одно из существующих в популяции особей решение. То есть существует ряд близких по совокупности значений решений, из которых пользователь получает только одно. Поэтому повторные запуски модели могут дать еще несколько приемлемых вариантов, которые пользователь может проанализировать. Количество возможных сочетаний вариантов по методу brute force было равно 48384 при том, что шаг значений для факторов $N_{\text{СТО}}$, L_r , $D_{\text{раб.г}}$, $C_{\text{нч}}$ при сохранении указанных выше границ был намного больше единицы (100, 5000, 20, 100 соответственно) для избегания переполнения стека памяти. Время реализации генетического алгоритма, определенного с помощью декоратора @timeit, было равно 1,11 с., а метода brute force 0,56 с. Если уста-

новить для метода ВГ такое же количество шагов изменения каждого фактора, как и для эволюционного метода, то расчет вообще невозможно реализовать из-за зависания программы.

Заключение

Генетические алгоритмы можно использовать для решения задач оптимизации технологических параметров станций технического обслуживания автомобилей. При этом данный метод позволяет достичь искомого решения за меньшее количество итераций и меньших затратах вычислительных мощностей. При большом количестве исходных факторов и шагов изменения значений метод генетических алгоритмов вообще представляется единственно возможным, поскольку другие методы, основанные на переборе всех сочетаний факторов, встречаются с ограничением объемов оперативной памяти и не могут быть реализованы на обычных персональных компьютерах.

Метод генетических алгоритмов относится к методам решения оптимизационных задач машинного обучения. Его можно эффективно использовать для проектирования станций технического обслуживания и предприятий по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей с учетом установленных в начале проектирования ограничений или целевых показателей. Предлагаемый метод позволяет изменить подход к проектированию предприятий, «подбирая» конкретные технологические параметры предприятия под желаемый результат, при этом позволяя производить расчеты для моделей с большим количеством факторов и диапазоном изменения их параметров.

Список литературы

1. Карагодин В.И. Эффект от учета взаимосвязи производственных участков при проектировании станции технического обслуживания автомобилей / В.И. Карагодин, В.О. Малютин // Автотранспортное предприятие. 2015. № 2. С. 21-24.

2. Козин Е.С. Система поддержки принятия решений по управлению станцией технического обслуживания автомобилей // Транспорт Урала. 2022. № 3 (74). С. 73-77.
3. Лялин К.В. Технологический расчет и планировка станций технического обслуживания автомобилей: учебное пособие / К. В. Лялин, В. П. Лялин. Екатеринбург: РГППУ, 2019. 124 с.
4. Соколова А.В. Обоснование мощности дорожной станции технического обслуживания автомобилей / А.В. Соколова, А.В. Маркелов, В.А. Масленников, Д.А. Павлов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2020. № 4. С. 5-14.
5. Adomavicius G. et al. Workshop on Context-Aware Recommender Systems 2023 // Proceedings of the 17th ACM Conference on Recommender Systems. 2023. P. 1234-1236. <https://doi.org/10.1609/aimag.v32i3.2364>
6. Antuori V. et al. Combining Monte Carlo tree search and depth first search methods for a car manufacturing workshop scheduling problem // International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming. 2021. <https://doi.org/10.4230/LIPIcs.CP.2021.14>
7. Baturu C. et al. Brute force algorithm implementation of dictionary search // Jurnal Info Sains: Informatika dan Sains. 2020. Vol. 10. № 1. С. 24-30. <http://ejournal.seaninstitute.or.id/index.php/InfoSains>
8. Chan T. C. Y., Mahmood R., Zhu I. Y. Inverse optimization: Theory and applications // Operations Research. 2023. <https://arxiv.org/abs/2109.03920>
9. Fayziyev P. R. et al. Organization of technological processes for maintenance and repair of electric vehicles // International Journal of Advance Scientific Research. 2022. Vol. 2. № 03. С. 37-41. <https://doi.org/10.37547/ijasr-02-03-06>
10. Fu C. et al. A two-stage robust approach to integrated station location and rebalancing vehicle service design in bike-sharing systems // European Journal of Operational Research. 2022. Vol. 298. № 3. С. 915-938. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.06.014>
11. Gössling S., Kees J., Litman T. The lifetime cost of driving a car // Ecological Economics. 2022. Vol. 194. P. 107335. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107335>

12. Hong J., Kim B., Oh S. The relationship benefits of auto maintenance and repair service: A case study of Korea // Behavioral Sciences. 2020. Vol. 10. № 7. P. 115. <https://doi.org/10.3390/bs10070115>
13. Ikromov I. A., Abduraximov A. A., Fayzullayev H. Experience and prospects for the development of car service in the field of car maintenance // ISJ Theoretical & Applied Science. 2021. Vol. 11. № 103. P. 344-346. <https://doi.org/10.15863/TAS.2021.11.103.25>
14. Jain N. K., Singh A. K., Kaushik K. Evaluating service quality in automobile maintenance and repair industry // Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics. 2020. Vol. 32. № 1. P. 117-134. <https://doi.org/10.1108/APJML-07-2018-0277>
15. Katoch S., Chauhan S. S., Kumar V. A review on genetic algorithm: past, present, and future // Multimedia tools and applications. 2021. Vol. 80. P. 8091-8126. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-10139-6>
16. Lambora A., Gupta K., Chopra K. Genetic algorithm-A literature review // 2019 international conference on machine learning, big data, cloud and parallel computing (COMITCon). IEEE, 2019. P. 380-384. <https://doi.org/10.1109/COMITCon.2019.8862255>
17. Liu P., Wang G., Su P. Optimal maintenance strategies for warranty products with limited repair time and limited repair number // Reliability Engineering & System Safety. 2021. Vol. 210. P. 107554. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107554>
18. Papadimitriou D., Li J. Constraint Inference in Control Tasks from Expert Demonstrations via Inverse Optimization // 2023 62nd IEEE Conference on Decision and Control (CDC). IEEE, 2023. P. 1762-1769. <https://arxiv.org/abs/2304.03367>
19. Turoń K., Kubik A. Economic aspects of driving various types of vehicles in intelligent urban transport systems, including car-sharing services and autonomous vehicles // Applied Sciences. 2020. Vol. 10. № 16. P. 5580. <https://doi.org/10.3390/app10165580>
20. Wang Z. Z., Sobey A. A comparative review between Genetic Algorithm use in composite optimisation and the state-of-the-art in evolutionary computation // Composite Structures. 2020. Vol. 233. P. 111739. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111739>

21. Wuttikun K. et al. Service Station Modelling Through Enterprise Architecture: Business Intelligence and Customer Engagement of Top Service Stations in Thailand // 2021 5th National Conference on Advances in Enterprise Architecture (NCAEA). <https://doi.org/10.1109/NCAEA54556.2021.9690506>

References

1. Karagodin V.I. Effekt ot ucheta vzaimosvyazi proizvodstvennykh uchastkov pri proektirovanii stantsii tekhnicheskogo obsluzhivaniya avtomobily [The effect of taking into account the relationship of production areas when designing a car service station]. *Avtotransportnoe predpriyatie*, 2015, no. 2, pp. 21-24.
2. Kozin E.S. Sistema podderzhki prinyatiya resheniy po upravleniyu stantsiy tekhnicheskogo obsluzhivaniya avtomobily [Decision support system for car service station management]. *Transport Urala*, 2022, no. 3 (74), pp. 73-77.
3. Lyalin, K.V. *Tekhnologicheskii raschet i planirovka stantsiy tekhnicheskogo obsluzhivaniya avtomobily: uchebnoe posobie* [Technological calculation and planning of car service stations]. Ekaterinburg: RGPPU, 2019, 124 p.
4. Sokolova, A.V. Obosnovanie moshchnosti dorozhnoy stantsii tekhnicheskogo obsluzhivaniya avtomobily [Justification of the capacity of a road vehicle maintenance station]. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*, 2020, no. 4, pp. 5-14.
5. Adomavicius G. et al. Workshop on Context-Aware Recommender Systems 2023. *Proceedings of the 17th ACM Conference on Recommender Systems*, 2023, pp. 1234-1236. <https://doi.org/10.1609/aimag.v32i3.2364>
6. Antuori V. et al. Combining Monte Carlo tree search and depth first search methods for a car manufacturing workshop scheduling problem. *International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming*, 2021. <https://doi.org/10.4230/LIPIcs.CP.2021.14>
7. Baturu C. et al. Brute force algorithm implementation of dictionary search. *Jurnal Info Sains: Informatika dan Sains*, 2020, vol. 10, no. 1, pp. 24-30. <http://ejournal.seaninstitute.or.id/index.php/InfoSains>

8. Chan T. C. Y., Mahmood R., Zhu I. Y. Inverse optimization: Theory and applications. *Operations Research*, 2023. <https://arxiv.org/abs/2109.03920>
9. Fayziyev P. R. et al. Organization of technological processes for maintenance and repair of electric vehicles. *International Journal of Advance Scientific Research*, 2022, vol. 2, no. 03, pp. 37-41. <https://doi.org/10.37547/ijasr-02-03-06>
10. Fu C. et al. A two-stage robust approach to integrated station location and rebalancing vehicle service design in bike-sharing systems. *European Journal of Operational Research*, 2022, vol. 298, no. 3, pp. 915-938. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.06.014>
11. Gössling S., Kees J., Litman T. The lifetime cost of driving a car. *Ecological Economics*, 2022, vol. 194, pp. 107335. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107335>
12. Hong J., Kim B., Oh S. The relationship benefits of auto maintenance and repair service: A case study of Korea. *Behavioral Sciences*, 2020, vol. 10, no. 7, pp. 115. <https://doi.org/10.3390/bs10070115>
13. Ikromov I. A., Abduraximov A. A., Fayzullayev H. Experience and prospects for the development of car service in the field of car maintenance. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 2021, vol. 11, no. 103, pp. 344-346. <https://doi.org/10.15863/TAS.2021.11.103.25>
14. Jain N. K., Singh A. K., Kaushik K. Evaluating service quality in automobile maintenance and repair industry. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 2020, vol. 32, no. 1, pp. 117-134. <https://doi.org/10.1108/APJML-07-2018-0277>
15. Katoch S., Chauhan S. S., Kumar V. A review on genetic algorithm: past, present, and future. *Multimedia tools and applications*, 2021, vol. 80, pp. 8091-8126. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-10139-6>
16. Lambora A., Gupta K., Chopra K. Genetic algorithm-A literature review. 2019 international conference on machine learning, big data, cloud and parallel computing (COMITCon). *IEEE*, 2019, pp. 380-384. <https://doi.org/10.1109/COMITCon.2019.8862255>
17. Liu P., Wang G., Su P. Optimal maintenance strategies for warranty products with limited repair time and limited repair number. *Reliabil-*

- ity Engineering & System Safety*, 2021, vol. 210, pp. 107554. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107554>
18. Papadimitriou D., Li J. Constraint Inference in Control Tasks from Expert Demonstrations via Inverse Optimization. *2023 62nd IEEE Conference on Decision and Control (CDC)*. IEEE, 2023, pp. 1762-1769. <https://arxiv.org/abs/2304.03367>
 19. Turoń K., Kubik A. Economic aspects of driving various types of vehicles in intelligent urban transport systems, including car-sharing services and autonomous vehicles. *Applied Sciences*, 2020, vol. 10, no. 16, pp. 5580. <https://doi.org/10.3390/app10165580>
 20. Wang Z. Z., Sobey A. A comparative review between Genetic Algorithm use in composite optimisation and the state-of-the-art in evolutionary computation. *Composite Structures*, 2020, vol. 233, pp. 11173. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111739>
 21. Wuttikun K. et al. Service Station Modelling Through Enterprise Architecture: Business Intelligence and Customer Engagement of Top Service Stations in Thailand. *2021 5th National Conference on Advances in Enterprise Architecture (NCAEA)*. 2021. <https://doi.org/10.1109/NCAEA54556.2021.9690506>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Захаров Николай Степанович, заведующий кафедрой сервиса автомобилей и технологических машин, доктор технических наук, профессор
Тюменский индустриальный университет
ул. Володарского, 38, г. Тюмень, 625000, Российская Федерация
zakharovns@tyuiu.ru

Козин Евгений Сергеевич, доцент кафедры сервиса автомобилей и технологических машин, кандидат технических наук
Тюменский индустриальный университет
ул. Володарского, 38, г. Тюмень, 625000, Российская Федерация
kozines@tyuiu.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Nikolay S. Zakharov, Head of the Department of Car Service and Technological Machines, Doctor of Technical Sciences, Professor

Industrial University of Tyumen

38, Volodarsky Str., Tyumen, 625000, Russian Federation

zakharovns@tyuiu.ru

SPIN-code: 1171-9820

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8415-0505>

Scopus Author ID: 56309931100

Evgeniy S. Kozin, Associate Professor of the Department of Car Service and Technological Machines, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Industrial University of Tyumen

38, Volodarsky Str., Tyumen, 625000, Russian Federation

kozines@tyuiu.ru

SPIN-code: 1834-0639

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6774-3285>

ResearcherID: D-8474-2019

Scopus Author ID: 57052768700

Поступила 25.05.2024

После рецензирования 10.06.2024

Принята 20.06.2024

Received 25.05.2024

Revised 10.06.2024

Accepted 20.06.2024