

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ХАКИМИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОПТИМАЛЬНОГО МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЭКИПАЖЕЙ ПО ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ДТП

В. А. Лукоянов¹, А. Л. Воробьев², В. В. Котов³

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

¹e-mail: tjer2006@yandex.ru

²e-mail: mcc@mail.osu.ru

³e-mail: v_v_kotov@mail.ru

Аннотация. Поддержание эффективной работы транспортного комплекса является одной из наиболее важных задач в обеспечении динамичного развития городской среды. При этом одной из ключевых характеристик транспортного комплекса является пропускная способность городской дорожной сети, в соответствии с которой происходит планирование и организация всех транспортных процессов города. Поэтому исследование вопросов экономически выгодного повышения пропускной способности городских улиц является на сегодняшний день актуальной задачей.

Одной из причин, вызывающих снижение пропускной способности уличной дорожной сети, являются многочисленные дорожно-транспортные происшествия (ДТП) и инциденты (ДИ), в результате которых повышается вероятность возникновения дорожных заторов. Одним из путей решения обозначенной проблемы является сокращение временных затрат на ликвидацию последствий ДТП и ДТИ за счет оптимизации каждого из этапов работы всех оперативных служб, задействованных в этом процессе. В частности одним из таких этапов является реагирование и приезд экипажа городской службы к месту ликвидации последствий ДТП. Цель данного исследования заключается в выделении ключевых особенностей и обоснование возможности применения метода Хакими в качестве инструмента поиска оптимального размещения экипажей городских служб по ликвидации последствий ДТП на территории уличной дорожной сети.

В статье приведены результаты собственных научных исследований на основе анализа литературных источников и моделирования процесса ликвидации последствий ДТП, в ходе которых удалось обосновать целесообразность применения метода Хакими в решении задачи поиска оптимальных мест размещения экипажей служб по ликвидации последствий ДТП. Приведена графическая интерпретация участка дорожной сети города Оренбург в виде графа, в которой предварительно определен абсолютный центр. Выявлены ключевые особенности применения метода Хакими в решении задачи поиска оптимального местоположения экипажей городских служб по ликвидации последствий ДТП. Авторами сформулирован и введен ряд ограничительных условий для решения сформулированной задачи.

Полученные результаты могут быть использованы для координации работы городских оперативных служб по ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий. Основным направлением дальнейших исследований является изучение дорожных условий, при которых появляется возможность снять ограничения на использование выбранного метода.

Ключевые слова: ДТП, затор, Хакими, автомобильная пробка, размещение, пропускная способность, аварийный комиссар.

Для цитирования: Лукоянов В. А., Воробьев А. Л., Котов В. В. Особенности применения метода Хакими при определении оптимального местоположения экипажей по ликвидации последствий ДТП // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – № 1. – С. 90–97. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-1-90.

FEATURES OF APPLICATION OF THE HAKIMI METHOD IN DETERMINING THE OPTIMAL LOCATION OF CREWS OF SERVICES FOR THE ELIMINATION OF THE CONSEQUENCES OF ROAD ACCIDENTS

V. A. Lukoyanov¹, A. L. Vorobev², V. V. Kotov³

Orenburg State University, Orenburg, Russia

¹e-mail: tjer2006@yandex.ru

²e-mail: mcc@mail.osu.ru

³e-mail: v_v_kotov@mail.ru

Abstract. Maintenance of the effective work of the transport complex is the most important task to provide dynamic urban environment. At the same time road capacity is a key feature of this complex according to which the planning and organization of transport process are carried out. The reform, the study of issues of cost-effective increase of the road throughput is an urgent task.

One of the reasons for reducing road network throughput are large number of road traffic accidents which contribute to increase likelihood of traffic jams. The main way to solve identified problem is to reduce time of the consequence liquidation of the road traffic accidents due to the optimization of each of the stages of this work. In particular, one of such stages is response and arrival of the city service crew to the place of accident. The purpose of this research is to highlight key features and substantiate application possibilities of search methods of optimal city service crew placement on the road network area.

The article presents the results of our own researches based on literature analysis and process modeling of the consequence liquidation of the road traffic accidents. These researches have substantiated the application of the Hakimi method in solving the problem of searching optimal placements of the city service crew. The authors formulated and introduced a number of restrictive conditions for solving the formulated problem.

The results can be used to coordinate the work of urban operational road accident response services.

Keywords: traffic jam, Hakimi method, placement, road capacity, road accident.

Cite as: Lukoyanov, V. A., Vorobyov, A. L., Kotov, V. V. (2020) [Features of the application of the Hakimi method in determining the optimal location of crews to eliminate the consequences of road accidents]. *Intellect. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol.1, pp.90–97. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-1-90.

Введение

Организация эффективной работы городских служб по ликвидации дорожно-транспортных происшествий является актуальной задачей для поддержания работы городского транспортного комплекса, одной из основных проблем которого является обеспечение пропускной способности дорожной сети на достаточном для текущего социально-экономического развития городской среды уровне. Вопросы эффективного использования ресурсов транспортной системы являются одними из ключевых при определении стратегии развития города. Как уже ранее акцентировалось в ряде работ авторов, снижению пропускной способности дорожной сети может способствовать ряд причин, носящих постоянный и эпизодический характеры. При этом особую роль и место среди случайных причин снижения пропускной способности играют случаи, вызванные дорожно-транспортными происшествиями (ДТП) и инцидентами, повлекшими за собой сужение проезжей части участками ДТП [1,2].

В соответствии с действующими нормативными и законодательными документами и устоявшейся в Российской Федерации практикой ликвидации последствий дорожных происшествий можно выделить несколько субъектов городского транспортного комплекса, в функции которых включено проведение мероприятий по фиксации и ликвидации последствий ДТП [1, 2]:

- государственная инспекция безопасности дорожного движения;
- специализированные службы предприятий и организаций по обеспечению безопасности дорожного движения в пределах их компетенций;
- службы аварийных комиссаров;
- непосредственные участники дорожно-тран-

спортного происшествия [3, 4].

Все перечисленные субъекты при определенных условиях могут образовывать городскую систему оперативной ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий. Однако в настоящее время несогласованность действий и отсутствие соответствующего нормативно-правового обеспечения взаимодействия выделенных служб не позволяют рассматривать их как эффективную систему. Следовательно, в сложившейся ситуации необходима четкая формулировка принципов совместного функционирования всех элементов предполагаемой системы с целью определения алгоритмов взаимодействия между ними, учитывая специфику, области деятельности и формы собственности каждого из них. Данная проблема освещена в ряде других публикаций авторов и некоторых других исследователей [5–7], в которых были выделены:

- обобщенный порядок действий по ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий и методы его совершенствования на основе принципов стандартизации и управления качеством;
- принципы оптимального размещения экипажей по оперативному реагированию на дорожно-транспортные происшествия;
- пути совершенствования нормативно-законодательной базы в рассматриваемой области деятельности;
- ключевые аспекты вопроса обеспечения и оценки качества работы служб по ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий и т. д.

Основная часть

Проведенные ранее исследования частично рассматривают применение на практике возможности определения оптимального местоположения экипажей служб по ликвидации последствий ДТП [8, 9]

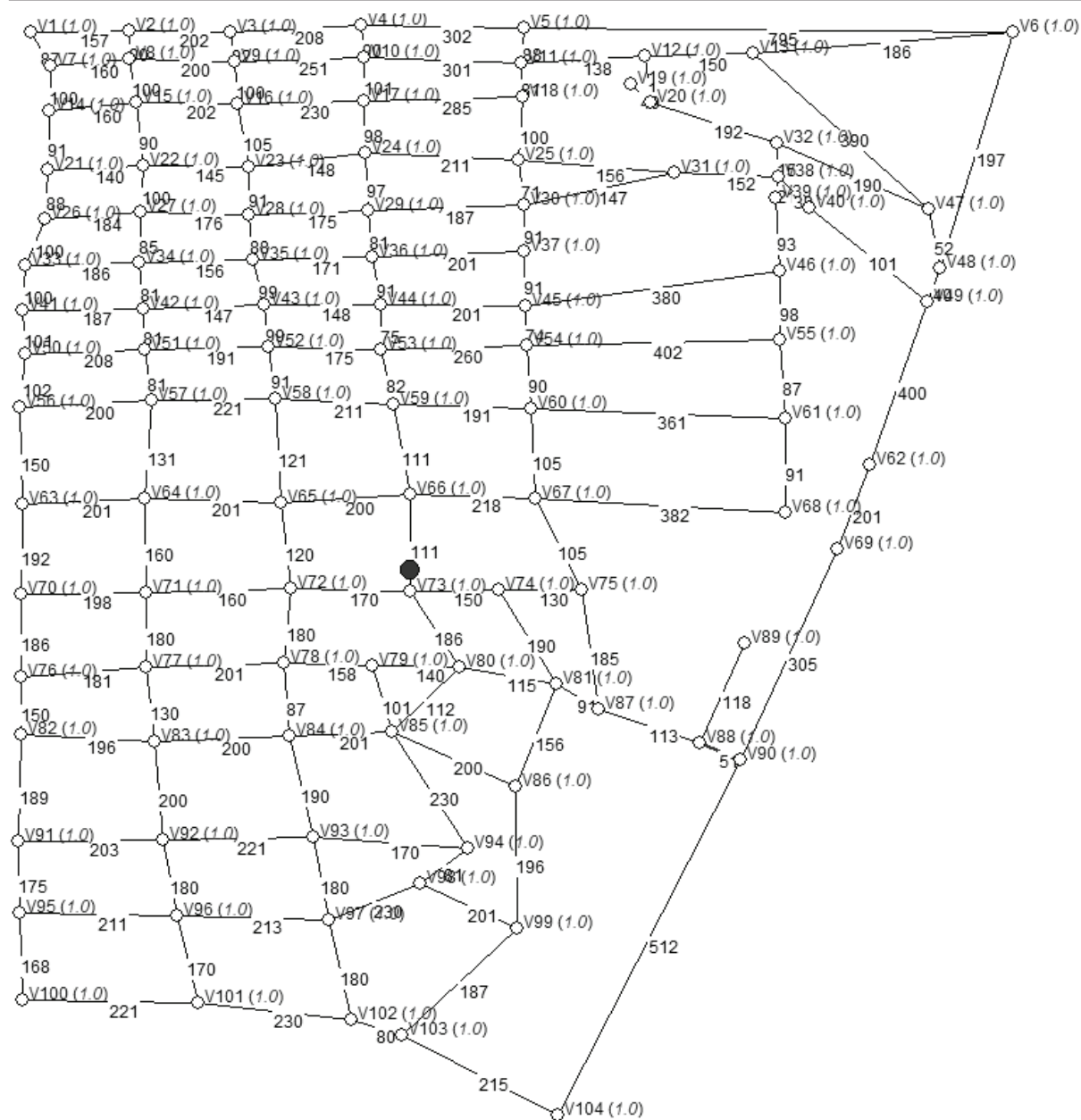


Рисунок 2. Интерпретация участка городской дорожной сети в виде графа G с определением абсолютного центра графа

в используемую модель интегральный весовой коэффициент вершины (перекрестка), который бы отражал суммарное (интегральное) влияние на место размещения экипажей аварийных комиссаров (формула 1) факторов различной природы [8]:

$$v_j = v_{j1} + v_{j2} + v_{j3} + v_{j4} \dots v_{jN} = \sum_{u=1}^N v_{ju} \quad (1)$$

где

$v_{j1}, v_{j2}, v_{j3}, v_{j4}, \dots, v_{jN}$ – весовые коэффициенты, определяемые по различным факторам.

Используя квалиметрические методы оценивания данных факторов, может быть получено числовое значение интегрального коэффициента весомости каждой вершины [11].

Однако существует некоторое ограничение применения метода Хакими при определении оптимального местоположения экипажей служб по ликвидации последствий ДТП. В частности данный метод справедлив и позволяет спроектировать эффективную систему городских служб по ликвидации последствий ДТП только при условии, что потребность в устранении ДТП за некоторый период не будет превышать предельного значения возможностей экипажей служб. Это условие связано с

тем, что если потребность в «услугах» служб будет превышать их «максимальную пропускную способность», то возникнет вероятность устранения не всех последствий дорожно-транспортных за некоторое условное время, что в свою очередь спровоцирует появление дорожных заторов [12].

Для решения этой проблемы необходимо перед применением метода Хакими разбить территорию уличной дорожной сети на районы или участки, для которых потребность в деятельности служб по ликвидации последствий ДТП за некоторый период времени не превышала бы максимально возможное количество обрабатываемых заявок одним экипажем служб по ликвидации последствий ДТП. При этом следует понимать, что в связи с тем, что время и место возникновения дорожного инцидента носят случайный характер, то для подобного разбиения территории на участки потребуется применения усредненных статистических данных за некоторый период, что в свою очередь может повлиять на точность прогноза, но при этом использование данного метода останется в достаточной степени достоверным.

Итак, сформулируем условия и ограничения задачи размещения экипажей служб по ликвидации последствий ДТП и введем необходимые обозначения. Пусть F является неким функционалом, определяющим место оптимального размещения экипажа по ликвидации последствий ДТП в городе. Тогда следует определить факторы (переменные), от которых данный функционал зависит.

Учитывая то, что время прибытия экипажа по ликвидации последствий ДТП, зависит от того, как далеко располагается свободный экипаж, то в общем случае искомый функционал F можно выразить с помощью выражения 2:

$$F = f(t_k, B), \quad (2)$$

где

t_k – время приезда экипажа по ликвидации последствий ДТП к каждому конкретному случаю;
 B – количество экипажей по ликвидации последствий ДТП.

При этом, сразу же необходимо ввести ряд ограничений для полученного выражения 2:

$$1) \begin{cases} t_k \rightarrow \min \\ t_k \leq \lambda_{крит} \end{cases}, \text{ время приезда экипажа служб}$$

бы должно стремиться к минимуму и не превышать установленного нормативного значения $\lambda_{крит}$;

2) количество экипажей B , должно также стремиться к минимуму, с точки зрения минимизации затрат, но при этом должно быть достаточным для удовлетворения потребности городского комплекса с учетом максимально допустимой пропускной

способности одного экипажа, определяемой трудоемкостью одной процедуры ликвидации последствий ДТП.

Тогда для удовлетворительного выполнения функционала, нужно соблюдать следующие условия:

а) потребность каждого заявителя в услугах службы должна быть удовлетворена:

$$\sum_{k=1}^N r_k = 1. \quad (3)$$

б) потребность города в ликвидации последствий ДТП должна быть полностью удовлетворена:

$$A \leq \sum_{p=1}^N y_p, \quad (4)$$

где

y_p – трудоемкость ликвидации последствий ДТП p -ым экипажем службы;

A – общая годовая потребность города в услугах службы по оперативной ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий.

в) пропускная способность каждого экипажа службы должна соответствовать объему поступления заявок на ликвидацию ДТП от всех заявителей:

$$y_{jk} \geq \sum_{k=1}^N a_j \cdot \rho \quad (5)$$

где

a_j – годовая потребность в услугах службы на j -м участке дороги, для оформления k -го ДТП, мин.

г) пропускная способность каждого p -го экипажа ограничена сверху и с низу:

$$w_p \leq y_p \leq W_p, \quad (6)$$

где

w_p – минимально допустимая пропускная способность p -го экипажа по ликвидации k -ого ДТП;

W_{jk} – максимально допустимая пропускная способность p -го экипажа по ликвидации k -ого ДТП;

y_p – трудоемкость оформления ДТП p -ым экипажем.

д) переменные, которые представлены в 5 формуле (a_j и r_k) не могут быть отрицательными [12]:

$$a_j \geq 0; r_k \geq 0.$$

Обсуждения и выводы

Решение задачи разбиения общей площади городской среды на районы в соответствии с поставленными условиями является прикладной задачей теории управления и комбинаторики, широко описанной в литературных источниках [13–15], было успешно использовано на нетривиальном объекте с использованием новых и специфических ограничений.

Полученные в ходе исследований самостоятельные выражения и условия формулируют основные требования к делению городской уличной дорожной сети на участки, для которых максимальное количество вызовов экипажей по ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий не будет превышать максимальную пропускную способность для каждого экипажа за некоторый заранее определенный интервал времени, и будет соответствовать максимально эффективному использованию их потенциала для ликвидации последствий ДТП и снижению вероятности возникновения дорожных заторов (увеличению пропускной способности городских улиц).

В ходе пробных вычислений, сделанных для центральной части города Оренбурга, обладающей наиболее представительной для решения подобной задачи структурой распределения ДТП, был получен предварительный результат, позволяющий однозначно определить участок для дежурства

экипажа оперативной службы. При этом полученная расчетным путем «точка», удовлетворяет всем предъявляемым требованиям и ограничениям к местам патрулирования экипажа городской службы по ликвидации последствий ДТП.

В целом, приведенные выше обоснования и математические выкладки позволяют сделать следующие выводы:

– задача поиска оптимального расположения экипажей служб по ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий на территории городской уличной дорожной сети наиболее полно и достоверно может быть решена на основе метода Хакими с введением соответствующих условий и уточнений;

– использование метода Хакими для решения поставленной задачи должно быть дополнено предварительным обоснованным делением территории уличной сети на районы в соответствии с максимальной пропускной способностью одного экипажа службы по ликвидации последствий ДТП;

– вычисление и уточнение коэффициентов весоности каждой вершины построенного графа позволит сместить абсолютный центр графа от его географического центра к наиболее аварийно-опасным участкам дорожной сети, что значительно на вероятность образования дорожных заторов и пропускную способность городских улиц на рассматриваемом участке [4].

Литература

1. Кобызев А. М., Алейников А. Н. Устранение некоторых недостатков в сложившемся порядке оформления ДТП // Эксперт-криминалист. – 2009. – № 4. – С. 11–15.
2. Гуськов А. А., Сюсюкин Е. В. Оформление ДТП с использованием Европротокола // Матрица научного познания. – 2017. – № 3. – С. 23–28.
3. Бадиков Д. А. К вопросу о совершенствованию процедуры оформления ДТП // Наука и практика. – 2015. – №1(65). – С. 10–13.
4. Кузнецов В. В., Горбатенко Д. С. Особенности учета происшествий при эксплуатации автомобильного транспорта // Труды Академии управления МВД России. – 2019. – № 2(50). – С. 39–44.
5. Воробьев А. Л., Лукоянов В. А. О принципах оптимального размещения экипажей аварийных комиссаров на территории города // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2017. – № 11. – С. 8–11.
6. Воробьев А. Л., Лукоянов В. А., Колчина И. В. Оптимизация процесса оказания услуг аварийными комиссарами методом стандартизации на основе анализа процессной модели // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 4. – С. 18–23.
7. Бегичева С. В. Модель оптимального размещения станций и филиалов скорой медицинской помощи // Интернет-журнал «Науковедение». – 2016. – 6(37). – С. 111
8. Лукоянов В. А., Воробьев А. Л. О размещении экипажей аварийных комиссаров на территории города // Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации: материалы 106-й международной науч.-технич. конф. (Иркутск, 23–26 апреля 2019 г.). Иркутск. – 2019. – С. 584–591.
9. Красовская Т. В. Необходимость цифровой трансформации деятельности аварийных комиссаров // Научное обозрение. Педагогические науки. – 2017. – № 3–4. – С. 52–56.
10. Гребенюк Я. А. Параллельный алгоритм Хакими для решения задачи размещения остановки общественного транспорта // Научный сервис в сети Интернет: поиск новых решений: труды международной суперкомпьютерной конференции. – С. 17–22.
11. Гарельский В. А., Бойко С. В. К вопросу разработки методики квалиметрической оценки уровня качества оказываемых услуг ТО и Р автотранспорта // Прогрессивные технологии в транспортных системах: сборник докладов шестой российской научно-технической конференции (Оренбург, 18–20 ноября 2003 г.). – Оренбург. – 2003. – С. 24–27.

12. Коробова Е. И. Анализ путей снижения временных затрат на оформление дорожно-транспортных происшествий с использованием динамической модели IDEF3 // Шаг в науку. – 2016. – № 1. – С. 24–27.

13. Валеева А. Н., Валиева И. Ф. Прогнозирование размещения объектов для формирования эффективной сети в сфере частного предпринимательства // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – № 5. – С. 274–278.

14. Подмарькова Е. М. Разработка проблемно-ориентированной системы поиска оптимальной реструктуризации административно-территориального деления // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3. – С. 168.

15. Zaikanov V. G., Minakova T. B., Buldakova E. V. Theoretical principles and methodical approaches to urban area zoning by geocological restrictions // Water resources. – 2017. – Т. 44. № 7. – С. 987–994.

References

1. Kobzyev, A. M., Alejnikov A. N. (2009) [Elimination of some shortcomings in the current procedure for the registration of materials for road accidents]. *Ekspert-kriminalist*. [Expertcriminalist]. Vol. 4. pp. 11–15 (In Russ.).

2. Guskov, A. A., Syusyukin, E. V. (2017) [Registration of road accident using Euro protocol]. *Matrica nauchnogo poznaniya* [The matrix of scientific knowledge]. Vol. 3. pp. 23–28. (In Russ.).

3. Badikov, D. A. (2015) [On the issue of improving the procedure for registration of road accidents]. *Nauka i praktika*. [Scienceandpractice]. Vol. 1(62), pp. 10–13. (In Russ.).

4. Kuznetsov, V. V., Gorbatenko, D. S. (2019) [Features of accident accounting during the operation of automobile transport]. *Trudy Akademi i upravleniya MVD Rossii* [Proceedings of the Management Academy of Ministry of Internal Affairs of Russia]. Vol. 2(50), pp. 39–44. (In Russ.).

5. Vorobev, A. L., Lukoyanov, V. A., Garelskii, V. A. (2017) [About the principles of optimal allocation of average commissioners in the city]. *Intellekt. Innovacii. Investicii*. [Intelligence. Innovation Investments]. Vol.11, pp. 8–11. (In Russ.).

6. Vorobev, A. L., Lukoyanov, V. A., Kolchina, I. V. (2015) [Optimization of the providing services process by emergency commissioners using the standardization method based on the analysis of the process model]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Orenburg state university]. Vol. 4, pp. 18–23. (In Russ.).

7. Begicheva, C. V. (2016) [The model of optimal placement of stations and branches of ambulance]. *Internet-zhurnal «Naukovedenie»* [Internet journal «Science»]. Vol. 6(37), pp. 111. (In Russ.).

8. Vorobev, A. L., Lukoyanov, V. A. (2019) [On the placement of crews of emergency commissioners in the city]. *Bezopasnost' kolyosnyhtransportnyhsredstv v usloviyahekspluatcii: materialy 106-j mezhdunarodnojnauch.-tekhnich. konf.* [Safety of wheeled vehicles in operating conditions: materials of the 106th international scientific and technical conf.]. Irkutsk: Publishing house INITU, pp. 584–591. (In Russ.).

9. Krassovskaya, T. V. (2019) [The need for digital transformation of the services of emergency commissioners]. *Nauchnoe obozrenie. Pedagogicheskie nauki*. [Scientific Review. Pedagogical sciences]. Vol. 3–4, pp. 52–56. (In Russ.).

10. Grebenyuk, Y (2012) [Hakimi's parallel algorithm for solving the problem of placing a publictransport stop]. *Nauchnyj servis v seti Internet: poisk novyh reshenij: trudy mezhdunarodnoj super komp'yuternoj konferencii*[Scientific Service on the Internet]. Moscow: Moscow State UniversityPublishing House, pp. 688–689 (In Russ.).

11. Garelskiy, V. A., Boiko, S. V. (2003) [On the issue of developing a methodology for the qualimetric assessment of the quality level of the services provided for maintenance of vehicles]. *Progressivnye tekhnologii v transportnyh sistemah: sbornik dokladov shestoj rossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. [Progressive Technologies in Transport Systems: A Collection of Reports of the Sixth Russian Scientific and Technical Conference]. Orenburg: OSU, pp. 24–27. (In Russ.).

12. Korobova, E. I. (2016) [Analysis of ways to reduce the time spent on registration of traffic accidents using the dynamic model IDEF3]. *Shag v nauku* [Step to science]. Vol. 1, pp. 161–165. (In Russ.).

13. Valeeva, A. N., Valieva, I. F. (2014) [Prediction of the placement of objects to form an effective network in the field of private enterprise]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University]. Vol. 5, pp. 274–278. (In Russ.).

14. Podmarkova, E. M. (2012) [Development of a problem-oriented search system for the optimal restructuring of the administrative-territorial division]. *Sovremennye problem nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. Vol. 3. pp. 168. (In Russ.).

15. Zaikanov, V. G., Minakova, T. B., Buldakova, E. V. (2017) Theoretical principles and methodical approaches to urban area zoning by geocological restrictions. *Waterresources*. Vol. 44. No. 7, pp. 987–994 (In Eng.).

Информация об авторах:

Владимир Андреевич Лукоянов, аспирант, направление подготовки 23.06.01. Техника и технологии наземного транспорта, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

ORCID ID: 0000-0001-5063-2610

e-mail: tjer2006@yandex.ru

Андрей Львович Воробьев, кандидат технических наук, доцент, декан геолого-географического факультета, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

ORCID ID: 0000-0001-7409-2663

e-mail: mcc@mail.osu.ru

Виталий Валерьевич Котов, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры автомобильного транспорта, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

ORCID ID: 0000-0002-6176-3162

e-mail: v_v_kotov@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18.10.2019; принята в печать 22.01.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Vladimir Andreevich Lukoyanov, graduate student, training direction 23.06.01. Land Transport Engineering, Orenburg State University, Orenburg, Russia

ORCID ID: 0000-0001-5063-2610

e-mail: tjer2006@yandex.ru

Andrei Lvovich Vorobiev, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Dean of the Faculty of Geology and Geography, Orenburg State University, Orenburg, Russia

ORCID ID: 0000-0001-7409-2663

e-mail: mcc@mail.osu.ru

Vitaliy Valerievich Kotov, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Road Transport, Orenburg State University, Orenburg, Russia

ORCID ID: 0000-0002-6176-3162

e-mail: v_v_kotov@mail.ru

The paper was submitted: 18.10.2019.

Accepted for publication: 22.01.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.