



Алгоритм территориального размещения государственных травмпунктов в мегаполисах (на примере г. Москвы)

В.Э. Дубров¹, Ю.С. Злобина², С.А. Тищенко¹, М.А. Шахмурадян¹,
Н.А. Поспелов¹, Е.А. Шустов¹

¹ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова» Москва, Россия

² ГБУ «Научно-исследовательский институт организации здравоохранения и медицинского менеджмента Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Россия

Реферат

Актуальность. Отсутствие системы оценки целесообразности создания новых травмпунктов или амбулаторных отделений травматологии и ортопедии в строящихся поликлиниках является одной из основных причин дисбаланса в их территориальном расположении. Поэтому одной из актуальных задач организации здравоохранения мегаполиса на сегодняшний день является разработка системы эффективного регулирования взаиморасположения травматологических пунктов. **Цель исследования** — повышение эффективности оказания травматолого-ортопедической амбулаторной помощи пациентам в условиях мегаполиса. **Материал и методы.** В процессе исследования были использованы теоретические (формализация, синтез, дедукция) и эмпирические (наблюдение, сравнение, моделирование, измерение) методы. Произведена выборка 67 травмпунктов города Москвы и сбор данных о их посещаемости за апрель 2019 года. **Результаты.** Создание математической модели сети амбулаторной первичной травматологической помощи и базового алгоритма оценки среднего времени от момента получения пациентом травмы до момента оказания первичной помощи в одном из амбулаторных травматологических подразделений медицинских организаций столицы, которые могут быть использованы исполнительными органами организации здравоохранения городов при решении административных и экономических задач. **Заключение.** Разработанный специализированный математический алгоритм оценки существующей эффективности сети уже существующих амбулаторных травматологических подразделений медицинских организаций и распределения новых подразделений позволяет создать «идеальную» модель расположения травмпунктов мегаполиса. В дальнейшем эта модель может быть развита с учетом развития транспортной сети, финансирования травмпунктов и т.д.

Ключевые слова: организация травматологической помощи, амбулаторная медицинская помощь, травмпункт, математическое моделирование.

Источник финансирования: государственное бюджетное финансирование.

Дубров В.Э., Злобина Ю.С., Тищенко С.А., Шахмурадян М.А., Поспелов Н.А., Шустов Е.А. Алгоритм территориального размещения государственных травмпунктов в мегаполисах (на примере г. Москвы). *Травматология и ортопедия России*. 2020;26(4):138-149. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-4-138-149.

Cite as: Dubrov V.E., Zlobina Yu.S., Tishchenko S.A., Shakhmuradyan M.A., Pospelov N.A., Shustov E.A. [The Algorithm for Territorial Distribution of Public Emergency Rooms in Megapolis (by the Example of Moscow)]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2020;26(4):138-149. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-4-138-149.

Дубров Вадим Эрикович / Vadim E. Dubrov; e-mail: vdubrov.2015@mail.ru

Рукопись поступила/Received: 13.07.2020. Принята в печать/Accepted for publication: 26.10.2020.

© Дубров В.Э., Злобина Ю.С., Тищенко С.А., Шахмурадян М.А., Поспелов Н.А., Шустов Е.А., 2020

The Algorithm for Territorial Distribution of Public Emergency Rooms in Megapolis (by the Example of Moscow)

Vadim E. Dubrov¹, Yulia S. Zlobina², Sergey A. Tishchenko¹, Mikhail A. Shakhmuradyan¹, Nikita A. Pospelov¹, Egor A. Shustov¹

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²Scientific Research Institute of Healthcare Organization and Medical Management, Moscow, Russia

Abstract

Background. The lack of a system for evaluating the feasibility of new trauma and orthopedic departments in outpatient clinics under construction creating is one of the main reasons for the imbalance in their territorial location. Therefore, one of the most urgent modern tasks in the megalopolis healthcare organization — is to develop a system for effective regulation of the trauma and orthopedic outpatient departments network construction. **The purpose of the study** is to improve the effectiveness of outpatient trauma and orthopedic care for megalopolis residents. **Materials and Methods.** In the research process, theoretical (formalization, synthesis, deduction) and empirical (observation, comparison, modeling, measurement) methods were used. A total of 67 emergency trauma outpatient departments in Moscow were sampled and data on their attendance for April 2019 were collected. **Results.** Creation of a mathematical model of the network of outpatient primary trauma care and a basic algorithm for estimating the average time from the moment a patient received injuries to the time of primary care in one of the emergency outpatient trauma units of the medical organizations of the capital, which can be used by the executive bodies of the healthcare organization cities in solving administrative and economic problems. **Conclusion.** The developed specialized mathematical algorithm for assessing the existing effectiveness of the already existing emergency outpatient trauma units network and the distribution of new units allows you to create an “ideal” model for the location of these departments in a megalopolis. In the future, this model can be developed taking into account the development of the transport network, the financing of emergency rooms, etc.

Keywords: trauma care organization, outpatient medical care, emergency trauma outpatient department, mathematical modeling.

Funding: state budgetary funding.

Введение

До конца XIX — начала XX века вопросы неотложной травматологической помощи разрешались в рамках хирургии и не получали институционализации. Травматологические отделения медицинских организаций (МО) начали появляться в Москве только к 1930-м гг., что объясняется бурной индустриализацией и массовым строительством. Так, первая кафедра ортопедии (но не травматологии и ортопедии) была открыта в столице профессором Г.С. Бомом в 1933 г. [1]. Общество ортопедов-протезистов, организованное в 1926 г., до 1947 г. не обладало статусом всесоюзного научного общества, а первый съезд травматологов-ортопедов состоялся лишь в 1963 г. [2]. После войны ключевым процессом в развитии сети травматологических учреждений здравоохранения стала их специализация, продолжавшаяся вплоть до 1980-х гг. (в 1978 г. в Москве функционировали 35 круглосуточных травмпунктов). Этот процесс по времени совпал с формированием промышленно-транспортного комплекса столицы и почти двукратным увеличением ее населе-

ния. В 1980-е гг. произошла стабилизация процесса расширения сети травматологических отделений в Москве, а 1990-е годы ознаменовались их реорганизацией и преобразованием [3]. Улучшение социально-экономической ситуации в 2000-2010-х гг. в столице не оказало решающего положительного влияния на конфигурацию сети амбулаторных МО, поскольку основной причиной текущего дисбаланса в территориальном расположении стало отсутствие системы оценки целесообразности создания новых травмпунктов или амбулаторных отделений травматологии и ортопедии в строящихся поликлиниках в Москве.

С целью создания системы оценки целесообразности открытия новых либо закрытия уже существующих амбулаторных отделений травматологии и ортопедии в пределах территории Москвы МГУ им. М.В. Ломоносова совместно с ГБУ «НИИ организации здравоохранения и медицинского менеджмента Департамента здравоохранения города Москвы» разработали специализированный программный подход.

Однако процесс анализа организации первичной амбулаторной медицинской помощи целесообразно начать с рассмотрения юридического соответствия амбулаторных подразделений травматолого-ортопедического профиля Приказу Минздрава России № 901-н от 12.11.2012 «Об утверждении Порядка оказания медицинской помощи населению по профилю «травматология и ортопедия» (далее — Приказ 901-н)¹. Этим документом определены три типа подразделений: кабинет травматологии и ортопедии; кабинет неотложной травматологии и ортопедии; поликлиническое отделение по профилю «травматология и ортопедия». При этом именно кабинет неотложной травматологии и ортопедии позиционируется как травмпункт. Несмотря на то, что согласно Приказу 901-н функцией этого кабинета (травмпункта) в первую очередь является оказание лишь неотложной медицинской помощи по профилю «травматология и ортопедия», в его организационно-штатной структуре предусмотрен и кабинет повторного приема. Поликлиническое отделение по профилю «травматология и ортопедия», напротив, предназначено для оказания плановой помощи, исходя из чего повторный прием пациентов должен осуществляться именно в нем. Но поликлинических отделений травматологии и ортопедии в Москве всего семь. Естественно, как по территориальному, так и по демографическому принципам они не способны обеспечить плановую травматолого-ортопедическую помощь всему населению Москвы. Таким образом, в действительности различий между функциями кабинета неотложной травматологии и ортопедии (травмпункта) и поликлинического отделения по профилю «травматология и ортопедия» нет. Поэтому, несмотря на разночтения в Приказе 901-н, для всех амбулаторных подразделений травматолого-ортопедического профиля медицинских организаций в этой статье применялось название «травмпункт».

Цель исследования — повышение эффективности оказания травматолого-ортопедической амбулаторной помощи пациентам в условиях мегаполиса.

Задачи исследования:

1. Формирование математической модели сети амбулаторной первичной травматологической помощи, привязанной к работающей в реальном времени системе оценки загруженности транспортных магистралей мегаполиса.

2. Разработка механизма учета длительности прохождения пути эвакуации, степени загруженности дорожно-транспортной сети и демографических особенностей районов и округов мегаполиса.

3. Создание базового алгоритма оценки среднего временного интервала от момента принятия решения пациентом о необходимости получения медицинской помощи (далее — МПРоМП) до оказания этой помощи в травматологических пунктах г. Москвы.

Материал и методы

Теоретической основой исследования послужила совокупность научных трудов, включающих отдельные аспекты рассматриваемой авторами проблемы: оценка эффективности системы медицинских учреждений [4, 5, 6, 7], организация оказания медицинских услуг в травмпункте² [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14], моделирование сети травматологических отделений региона [15, 16, 17]. Нормативной основой исследования выступили Приказы Минздрава России № 901-н от 12.11.2012 и № 388н³ от 20.06.2013. Эмпирической основой исследования послужила сформировавшаяся в историческом процессе текущая сеть травмпунктов в г. Москве.

К началу 2020 г. в Москве работало 74 государственных МО, оказывающих амбулаторную первичную специализированную травматологическую помощь, из них 51 МО — исключительно взрослым пациентам, 22 МО — несовершеннолетним и лишь одна — всем возрастным категориям населения (ГБУЗ «Троицкая городская больница» ДЗМ⁴). Распределение травмпунктов по АО Москвы с указанием численности и площади территории соответствующего АО представлено на рисунке 1. Прежде всего следует отметить диспропорции между административными округами Москвы по количеству размещенных в них амбулаторных МО.

¹ Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 12 ноября 2012 г. № 901н «Об утверждении Порядка оказания медицинской помощи населению по профилю «травматология и ортопедия». Доступно: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140713/

² Сократилось время приезда скорой помощи на вызовы в Москве. *Официальный сайт Департамента здравоохранения города Москвы*; 2020 [обновлено 29 мая 2020, процитировано 29 мая 2020] Доступно: <https://mosgorzdrav.ru/ru-RU/news/default/card/3141.html> (in Russian).

³ Приказ Минздрава России от 20.06.2013 N 388н (ред. от 19.04.2019) «Об утверждении Порядка оказания скорой, в том числе скорой специализированной, медицинской помощи» Доступно: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_151082/

⁴ Травматологические пункты. Портал открытых данных Правительства Москвы; 2020 [обновлено 29 мая 2020, процитировано 29 мая 2020]. Доступно: <https://data.mos.ru/opendata/7707089084-travmatologicheskie-punkty>.

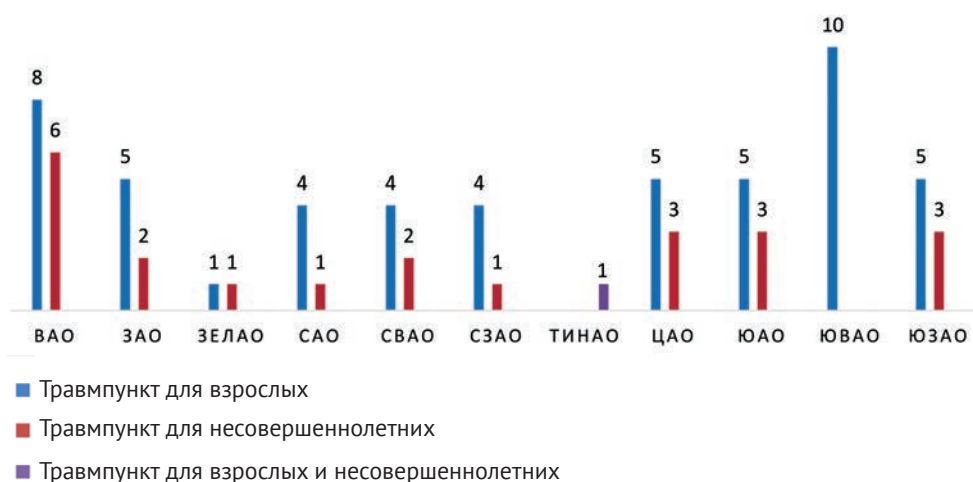


Рис. 1. Распределение травмпунктов по административным округам г. Москвы
Fig. 1. Distribution of public emergency rooms by administrative districts of Moscow

Если рассматривать отдельные АО, то наиболее высокая концентрация травмпунктов отмечается в Восточном АО, который при этом не является первым по численности населения в городе. Также можно заметить, что количество травмпунктов в Центральном АО (с населением менее 1 млн человек) сопоставимо с количеством подобных подразделений МО в округах с населением более 1 млн жителей, что объясняется преимуществами центрального расположения МО, а также их исторической связью с тяготеющими к центру города научными и образовательными медицинскими учреждениями и организациями. Помимо этого, можно отметить контраст между большим количеством травматологических подразделений амбулаторных МО в юго-восточной (Восточный, Юго-Восточный, Южный АО), более индустриальной части города, и их меньшим количеством в северной (Северный, Северо-Восточный, Северо-Западный АО), менее индустриальной части. Дисбаланс становится заметнее, если оценивать неравномерное распределение травмпунктов с учетом их возрастной специализации. Доля населения младше трудоспособного возраста в Москве выросла с 12,9% в 2010 г. до 15% в 2017 г.⁵ Исходя из этого, оптимальным сочетанием числа взрослых и детских травмпунктов в АО стоит считать пропорцию 5:1. Как следует из рисунка 1, подобное сочетание не свойственно административным округам г. Москвы.

Более того, наблюдаются такие аномалии, как уже упоминавшееся недостаточное количество травматологических амбулаторных подразделений в Троицком и Новомосковском АО, а также от-

сутствие детских травмпунктов в Юго-Восточном АО при видимом переизбытке взрослых подразделений этого профиля. Если первое согласуется с относительно низкой населенностью округов (что, впрочем, в условияхкратно большей площади этих округов позволяет сделать выводы о крайне низкой доступности медицинских услуг в области травматологии и необходимости улучшения этого параметра), то второе можно объяснить отсутствием выработанных методов комплексной оценки эффективности травматологических пунктов различного профиля.

При всей наглядности подобного распределения его использование для трансформации сети травматологических подразделений МО неуместно по ряду причин. Во-первых, Департамент здравоохранения г. Москвы осуществляет руководство этими медицинскими организациями не по административным округам, а по всей Москве. Во-вторых, для пациента не имеет значения распределение травматологических пунктов (отделений) по административным округам. Более важным параметром для него в экстренной ситуации будет доступность ближайшего из них, вне зависимости от АО, в котором пациент проживает или пребывает. В-третьих, количество МО, предоставляющих услуги в области неотложной травматологии, не строго зависит от численности населения на подведомственной территории, поскольку на травматизм могут влиять и другие факторы (возрастной состав населения, экономическая специализация территории, криминогенная обстановка и т.д.), различающиеся для разных частей мегаполиса. Из этих утверждений вытекает необходимость

⁵ Город Москва — База данных показателей муниципальных образований. Федеральная служба государственной статистики: Интернет-портал; 2020 [обновлено 29 мая 2020, процитировано 29 мая 2020]. Доступно: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst45/DBInet.cgi>.

оценки эффективности каждой из МО отдельно и вне зависимости от привязки к АО, но в то же время с учетом их принадлежности к общей сети московской городской транспортной инфраструктуры.

Помимо существующих критериев оценки эффективности деятельности МО, большую роль играет критерий пространственной доступности в соответствии как с показателями локальной плотности населения подведомственной территории, так и особенностями ее дорожно-транспортной сети. Особенно важными эти факторы становятся при необходимости оказания первичной специализированной медико-санитарной помощи по профилю «травматология и ортопедия» по неотложным показаниям. Неоптимальное по топографическому критерию расположение МО, предоставляющей медицинские услуги в области неотложной травматологии, может не только негативно повлиять на своевременность и эффективность оказания специализированной медицинской помощи, но и привести к тяжелым последствиям для здоровья пациента. Обратная ситуация, а именно перенасыщение той или иной местности МО с подразделениями травматологического профиля, ведет к необоснованной трате бюджетных средств и профессиональных ресурсов.

Для оценки эффективности травматологических подразделений МО были прежде всего сформированы ее критерии, основанные на объективных данных. В их качестве были выбраны показатели числа ставок врачей в травмпункте (этот показатель демонстрирует обеспеченность населения врачебным персоналом), среднего времени ожидания в очереди по А.К. Эрлангу [18], отображающего скорость оказания помощи (ключевой параметр для чувствительных ко времени медицинских процедур) и плотности входного потока пациентов, или среднего числа людей, пришедших на первичный осмотр (характеризующих пропускную способность МО), после чего были смоделированы и интерпретированы возможные сочетания этих параметров. Под моделированием в данном случае стоит понимать описание существующей связи между величинами посредством формального аппарата [19]. Так, сочетание низких значений показателя числа ставок врачей в травмпункте и высоких значений показателя среднего времени ожидания в очереди можно интерпретировать как нехватку персонала. В свою очередь, сочетание высоких значений показателя числа ставок врачей и в то же время средних и высоких значений показателя среднего времени ожидания

в очереди позволяет предположить неоптимальное использование имеющегося персонала. Именно второе сочетание было принято за основу оценки эффективности травмпункта амбулаторной МО, поскольку трудности, вызываемые неоптимальностью первого сочетания, можно решить открытием дополнительных врачебных ставок без изменения конфигурации сети травмпунктов. Закрытие же нерационально использующих имеющиеся мощности амбулаторных травматологических подразделений МО позволит направить эти ресурсы на достижение новой, оптимальной конфигурации их сети [20].

Необходимость закрытия неэффективно функционирующих травмпунктов и открытия новых амбулаторных травматологических подразделений МО на территориях Москвы с низкой доступностью услуг травматолога лежит в концептуальной основе моделирования обновленной сети этих учреждений. Так, рассчитав среднее время от МПРоМП до оказания этой помощи по столице, можно просчитать эффект от закрытия наименее эффективных МО и проанализировать возможные влияния на показатель.

Для того чтобы определить среднее время МПРоМП до оказания медицинской помощи по Москве требуется конкретизировать понятие доступности медицинских услуг в области неотложной амбулаторной травматологии. В целом указанный выше временной интервал можно разделить на три промежутка:

- 1) длительность временного интервала (ДВИ) от МПРоМП до посадки пострадавшего в транспортное средство, направляющегося в травмпункт;
- 2) ДВИ, затрачиваемая пациентом на самостоятельный путь до травмпункта;
- 3) ДВИ ожидания пострадавшим своей очереди в травмпункте для оказания неотложной помощи.

Первым из этих временных промежутков можно пренебречь, поскольку при прочих равных условиях он включает в себя время, необходимое на обращение по телефону в службу спасения или на станцию скорой и неотложной медицинской помощи (минимальное для Москвы с наиболее высоким уровнем телефонизации в России^{6,7}), и нормативно обусловленное время на подачу машины скорой медицинской помощи⁸. Тем не менее, большинство пациентов добираются в травматологические пункты самостоятельно, поэтому именно второй и третий временные промежутки будут иметь ключевое значение для моделирования.

⁶ Таблица 19.10. Число подключенных абонентских устройств мобильной связи на 1000 человек населения. В кн.: *Регионы России. Социально-экономические показатели*. М., 2018. С. 892.

⁷ Таблица 2.5. Возрастной состав населения. В кн.: *Регионы России. Социально-экономические показатели*. Росстат. М., 2018. С. 47-53.

В процессе исследования была выдвинута специфическая метрика оценки доступности услуг в рассматриваемой отрасли медицины, а именно доступность медицинских услуг в области травматологии от МПРоМП до получения медицинской помощи. Тем самым требуется минимизировать функцию:

$$T = \frac{1}{N} \sum_{ij}^k n_i t_j$$

где T — показатель среднего времени от МПРоМП до получения медицинской помощи для каждого жителя Москвы, N — численность населения Москвы, k — число районов Москвы, n — численность населения района Москвы, t — время пострадавшего на самостоятельный путь до травмпункта и ожидания в нем медицинской помощи.

Расчет показателя времени, необходимого пострадавшему на самостоятельный путь в травмпункт и ожидания в нем медицинской помощи, требует внесения поправочного коэффициента, который учитывает свободу выбора пациентом травматологического учреждения здравоохранения в пределах Москвы:

$$t_{i,j} = \sum_{k=1}^n p_{i,j} (t_{1i} + t_{2j})$$

где $p_{i,j}$ — поправочный коэффициент, t_1 — время на самостоятельный путь, t_2 — время ожидания в очереди внутри травмпункта.

Этот поправочный коэффициент, в свою очередь, зависит от показателей времени доставки пострадавшего в травмпункт и мобильности городского населения:

$$p_k = \frac{e^{-t_{1k}/d_0}}{\sum_{k=1}^N e^{-t_{1k}/d_0}}$$

где t_1 — время на самостоятельный путь в травмпункт, d_0 — показатель мобильности городского населения.

Поправочный коэффициент рассчитан с помощью обобщенной для многомерного случая логистической функции softmax [21, 22]. Числитель дроби тем больше, чем меньше времени требуется для доставки пациента в травматологическое подразделение амбулаторной медицинской организа-

ции. Знаменатель дроби отражает закономерность экспоненциального убывания вероятности выбора пациентом травмпункта по мере его удаления от места получения им травмы. Параметр мобильности городского населения d_0 представляет собой количество времени, необходимое для того чтобы вероятность выбора травмпункта снизилась в “e” раз. Этот параметр может изменяться вследствие множества факторов, таких как загруженность городских транспортных путей, уровень развития городского транспорта, параметры мультимодальности и т.п. Таким образом, через преобразование значений этого показателя возможно управляемое изменение степени доступности медицинских услуг в области неотложной травматологии. Для 2020 г. параметр d_0 оценивался авторами в 10 мин.

Время t_1 , необходимое на самостоятельный путь пострадавшего от места получения травмы до травмпункта, зависит от ряда факторов, а именно: времени суток (различная загруженность дорог обуславливает различные значения этого параметра в течение суток), местоположения травмпункта относительно транспортной инфраструктуры, а также от особенностей топографии дорожной сети Москвы. Для вычисления значений продолжительности этой ДВИ была создана упрощенная модель транспортной инфраструктуры Москвы. Территория города была разделена на квадратные участки с длиной стороны в 500 м. Тем самым территория Москвы была превращена в геометрическую фигуру, состоящую из 26 280 подобных участков. Особым образом были выделены участки, в пределах которых располагаются действующие травмпункты.

Результаты

Результатом решения *первой задачи* по формированию математической модели сети амбулаторной первичной травматологической помощи стало формирование восьмисвязного взвешенного графа, где в качестве его вершин выступают центры отдельных участков, а в качестве ребер — расстояния между ними (при их расчете был введен поправочный коэффициент на основе данных о кривизне автомобильных дорог Москвы, собранных с помощью сервиса GoogleMaps). Вес каждого из ребер представляет сумму параметров t_1 и t_2 . Матрица минимальных расстояний для каждого из участков была рассчитана при использовании алгоритма Дейкстры [23]. Расчет параметров t_1 и t_2 позволил авторам решить

⁸ Приказ Минздрава России N 388н от 20.06.2013 (ред. от 19.04.2019) «Об утверждении Порядка оказания скорой, в том числе скорой специализированной, медицинской помощи» Доступно: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_151082/

и вторую поставленную в исследовании задачу по разработке механизма учета длительности прохождения пути пациентом.

Время t_1 было рассчитано в соответствии с теорией массового обслуживания по модели М/М/с [24, 25] на основании собранных по 67 (из 74 единиц) травматологическим учреждениям Москвы данных об их ежечасной посещаемости с 08:00 до 20:00 за апрель 2019 г. Апрель был выбран как наиболее репрезентативный месяц: при оценке статистических показателей за последние 5 лет наиболее сходные данные отмечены именно в апреле.

На основе собранного массива эмпирических данных и полученных с его использованием массивов расчетных данных для каждого из свободных участков было рассчитано минимальное время T , необходимое для доставки пострадавшего от места получения травмы до травмпункта и оказания ему помощи в этом учреждении. Расчеты производились отдельно для взрослых и детских травмпунктов. Соответственно, на основе информации о T для каждого квадрата города определялось среднее T по всей столице. После этого перед разработанным программным обеспечением ставилась задача разместить новые амбулаторные травматологические подразделения МО так, чтобы в наибольшей мере снизить максимальное в пределах Москвы значение T . После размещения новой МО существующий граф подвергался трансформации, что требовало пересчета его обновленных параметров. Эта операция позволила с каждой новой итерацией избежать сверхконцентрации новых амбулаторных травматологических подразделений МО на близких друг другу участках. Было проделано 5 итераций по добавлению новых травмпунктов как для организаций, принимающих только взрослое население, так и для организаций, оказывающих услуги несовершеннолетним.

В ходе исследования были рассмотрены различные критерии оценки эффективности работы травмпункта и результаты их перебора. В результате этого было установлено, что различное сочетание показателей числа ставок врачей в травмпункте и среднего времени ожидания в очереди в перерасчете на одного пациента может быть объективным критерием для принятия решения о реорганизации (вплоть до закрытия) нерационально используемых мощностей амбулаторных травматологических подразделений МО и направлении этих ресурсов либо на создание

новых амбулаторных подразделений, оказывающих травматологическую помощь населению, либо на усиление уже имеющихся травмпунктов, что в конечном итоге должно привести к созданию оптимальной конфигурации травмпунктов Москвы.

Разработанная формула расчета ДВИ, необходимого пострадавшему на самостоятельный путь в травмпункт и ожидания в нем медицинской помощи, позволила определить этот показатель для любого заданного месторасположения пострадавшего, а после схематичного разделения Москвы на равные участки с длиной стороны в 500 метров для каждого из этих участков был рассчитано минимальное время, необходимое для доставки пострадавшего от места получения травмы до травмпункта и оказания ему помощи в этой МО.

Далее, на основании данных по всем схематичным участкам мегаполиса, была решена *третья задача* по оценке среднего временного интервала от момента принятия решения пациентом о необходимости получения медицинской помощи (далее — МПРОМП) до оказания этой помощи в травмпунктах. Этот показатель был определен отдельно как для МО, в которых принимают взрослое население, так и для МО, где оказывают помощь несовершеннолетним. Так, для первого типа МО он составил около 33 мин., а для второго типа МО — 32 мин. На первый взгляд, может показаться необычным практически одинаковое среднее значение по городу для двух типов МО, учитывая их различное количество (травмпунктов для взрослых на 29 единиц больше). Однако подобная конъюнктура является результатом высокого времени ожидания в очередях в первом типе учреждений, а также отсутствия данных о ежечасной посещаемости в течение суток за апрель 2019 г. по 7 учреждениям. Таблица и рисунок 2 отражают результаты снижения показателя при добавлении новой МО соответствующего типа.

В результате с целью расчета оптимального расположения травмпунктов на карте Москвы были созданы упрощенная модель транспортной инфраструктуры города с нанесением на нее травмпунктов и специальное программное обеспечение с использованием этой модели, позволяющее разместить новые амбулаторные травматологические подразделения МО так, чтобы в наибольшей мере снизить максимальное в пределах Москвы значение.

Таблица

Динамика показателя среднего времени от МПРоМП до получения медицинской помощи при добавлении новых МО в модель сети травматологических МО Москвы, мин.

Тип учреждения	Начальное среднее время	Добавление одного дополнительного травмпункта	Добавление второго дополнительного травмпункта	Добавление третьего дополнительного травмпункта	Добавление четвертого дополнительного травмпункта	Добавление пятого дополнительного травмпункта
Травмпункты для взрослых	33	31 (-6%)	29 (-6,4%)	27 (-6,8%)	26 (-3,7%)	25 (-3,8%)
Травмпункты для несовершеннолетних	32	27 (-15,6%)	24 (-11,1%)	23 (-4,1%)	22,9 (-0,4%)	21 (-8,2%)

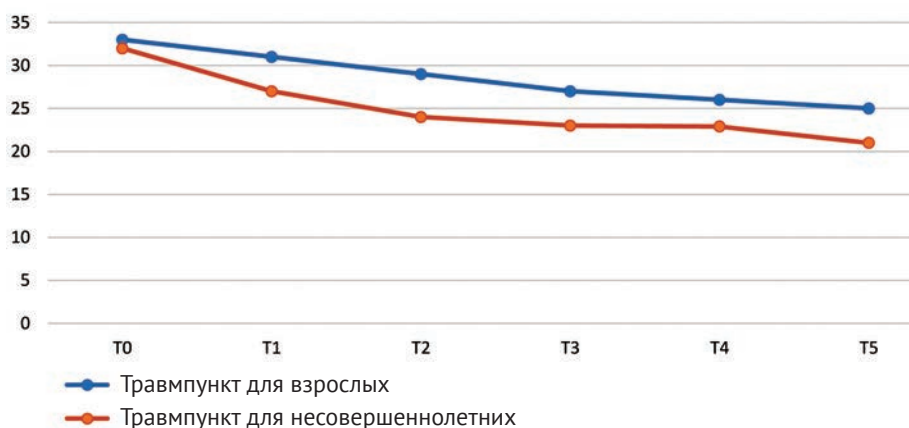


Рис. 2. Снижение показателя среднего времени от МПРоМП до получения медицинской помощи (T) при добавлении новых МО в модель сети травматологических МО г. Москвы

Fig. 2. Decrease of the average time from PDMMaMH (patient decision making moment about medical help) to medical care (T) when adding new public emergency rooms to the model of the network of public emergency rooms in Moscow

Обсуждение

Данное исследование было проведено сотрудниками МГУ им. М.В. Ломоносова совместно с ГБУ «НИИ организации здравоохранения и медицинского менеджмента Департамента здравоохранения города Москвы» в целях повышения эффективности оказания медицинской помощи и оптимизации бюджетных расходов без потерь в качестве оказания экстренной помощи. Основные причины реализации данного проекта были связаны с интенсивным демографическим ростом и географическим расширением столицы, а, следовательно, увеличением числа потенциальных пациентов и травмоопасных мест. Авторы исследования стремились разработать оригинальную и рабочую математическую модель, которую можно было бы применять для решения управленческих задач.

Основной целью данного исследования являлось повышение эффективности оказания амбулаторной помощи пациентам по профилю «травматология и ортопедия» в условиях мега-

полиса. Полученные результаты математического моделирования с использованием специально разработанного программного обеспечения подтвердили осуществимость рационального и регулируемого повышения доступности первичной специализированной травматологической помощи на территории Москвы путем сокращения среднего времени от момента получения травмы до оказания этой помощи. Исходя из этого, можно говорить о достижении поставленной цели исследования.

Постановка аналогичной цели и использование описанной методологии анализа не встречалось авторам исследования в других отечественных научных работах. Наиболее релевантной статьей может выступать труд И.М. Дементьева и А.Н. Гурова по описанию программного комплекса для паспортизации травматологических центров Московской области и контроля качества лечения пациентов [15]. Однако результатом работы коллег явилась модель по оценке текущего финансового и организационного состояния отдельных медицинских

организаций без возможности моделирования совокупного уровня эффективности при закрытии или открытия ряда профильных учреждений.

Ограничения исследования

Следует также отметить, что у данного исследования был ряд ограничений. К ним можно отнести отсутствие надежных статистических данных о непрописанном, но проживающем на территории Москвы населении, отсутствие усредненной оценки транспортной загруженности в течение последних лет, а также использование ежечасной посещаемости только за апрель 2019 г. Однако отсутствие этих данных не ставит под угрозу результаты и выводы данного исследования, поскольку авторами использовались наиболее статистически значимые показатели.

Заключение

Оценка эффективности сети уже функционирующих амбулаторных травматологических подразделений медицинских организаций и распределения новых подразделений является важным инструментом по организации столичного здравоохранения, потому что позволяет создать идеальную модель расположения профильных учреждений столиц. При этом не только повышается доступность медицинской помощи, но и возникает потенциал максимально точного прогнозирования затрат на формирование амбулаторной травматолого-ортопедической сети, а также оптимизации этих затрат.

Разработанная авторами модель может быть использована исполнительными органами власти Москвы для принятия административно-хозяйственных решений в целях улучшения эффективности оказания амбулаторной помощи пациентам.

Литература [References]

1. Андреева В.Э. Эффективность модели комплексного информационного обеспечения процесса оказания медицинской помощи пациентам травматолого-ортопедического профиля. *Менеджер здравоохранения*. 2018;(6):68-78. Andreyeva V.E. [The effectiveness of the model of the integrated information support of the process of providing medical care to patients of trauma and orthopedic surgery]. *Menedzher zdravookhraneniya* [Manager of Health Care]. 2018;(6):68-72. (In Russian).
2. Гончаренко В.А. Модели и методы анализа систем массового обслуживания с параметрической неопределенностью. *Интеллектуальные технологии на транспорте*. 2017;(4):5-6. Goncharenko V.A. [Models and methods of queueing systems analysis with parametric uncertainty]. *Intellektual'nye tekhnologii na transporte* [Intellectual Technologies on Transport]. 2017;(4):5-6. (In Russian).
3. Гриднев О.В., Загоруйченко А.А., Рыбкина Н.Л. Отдельные особенности совершенствования деятельности детских амбулаторно-поликлинических объединений. *Практическая медицина*. 2014;4(80):34-40. Gridnev O.V., Zagoruichenko A.A., Rybkina N.L. [Individual features of improving activities of children's outpatient associations]. *Prakticheskaya meditsina* [Practical Medicine]. 2014;4(80):34-40. (In Russian).
4. Гришин С.Е., Демидова Е.И., Пучиньян Д.М., Федонников А.С., Норкин И.А. Институционализация травматологии и ортопедии в России. *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. 2017;25(6):371-373. doi: 10.18821/0869-866X-2017-25-6-371-373. Grishin S.E., Demidova E.I., Puchinyan D.M., Fedonnikov A.S., Norkin I.A. [The institutionalization of traumatology and orthopedics in Russia]. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny* [Problems of Social Hygiene, Public Health and History of Medicine]. 2017;25(6):371-373. doi: 10.18821/0869-866X-2017-25-6-371-373. (In Russian).
5. Гришин С.Е., Норкин И.А., Пучиньян Д.М., Левченко К.К., Федонников А.С. К истории создания кафедры травматологии и ортопедии в Саратове (1918-1960-е гг.). *Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета*. 2015;3(57):102-106. Grishin S.E., Norkin I.A., Puchinyan D.M., Levchenko K.K., Fedonnikov A.S. [History of the department of traumatology and orthopedics in Saratov (1918-1960)]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo universiteta* [Vestnik of Saratov State Social and Economic University]. 2015;3(57):102-106. (In Russian).
6. Дементьев И.М., Гуров А.Н. Применение программного комплекса для паспортизации травматологических центров и контроля качества лечения пациентов, пострадавших при дорожно-транспортных происшествиях в Московской области. *Врач и информационные технологии*. 2017;(3):39-45. Dementiev I.M., Gurov A.N. [Application of a software package for the certification of trauma centers and quality control of treatment of patients affected by road traffic accidents in the Moscow Region]. *Vrach i informatsionnye tekhnologii* [Information technologies for the Physician]. 2017;(3):39-45. (In Russian).
7. Каусова Г.К., Мусаева Н.Н. Оптимизация организации работы приёмного отделения многопрофильного стационара при экстренных обращениях травматологических пациентов. *Вестник Казахского национального медицинского университета*. 2017;(1):496-499. Kausova G.K., Mussayeva N.N. [Optimizing the performance of multi-field hospital emergency department by trauma patients' hospital visits]. *Vestnik Kazakhskogo natsional'nogo meditsinskogo universiteta* [Vestnik of Kazakhstan National Medical University]. 2017;(1):496-499. (In Russian).
8. Красильников И.А., Миронова Н.М., Соколова И.А. Имитационное моделирование приемного отделения городской больницы: построение цифровой модели и оптимизация деятельности. *Врач и информационные технологии*. 2018;(2):63-66. Krasilnikov I.A., Mironova N.M., Sokolova I.A. [Simulation of the admission department of the city hospital: building a digital model and optimizing the activity]. *Vrach i informatsionnye tekhnologii* [Information technologies for the Physician]. 2018;(2):63-66. (In Russian).

9. Кустов О.М. Конкуренция медицинских организаций как механизм обеспечения экономической безопасности системы здравоохранения. *Общество: политика, экономика, право*. 2016;(7):2-4.
Kustov O.M. [Competition between health organizations as a mechanism of economic security of the healthcare system]. *Obshchestvo: politika, ekonomika, pravo* [Society: Politics, Economics, Law]. 2016;(7):2-4. (In Russian).
10. Лебедев С.С., Новиков Ф.А. Необходимое и достаточное условие применимости алгоритма Дейкстры. *Компьютерные инструменты в образовании*. 2017;(4):5-13.
Lebedev S.S., Novikov F.A. [The necessary and sufficient condition for dijkstra's algorithm applicability]. *Komp'yuternye Instrumenty v Obrazovanii* [Computer Tools in Education]. 2017;(4):5-13. (In Russian).
11. Марков Д.С., Лившиц С.А., Гуров А.Н. Организация оказания специализированной медицинской помощи пострадавшим при дорожно-транспортных происшествиях с применением информационной системы для паспортизации травматологических центров московской области. *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. 2018;(2):83-86. doi: 10.18821/0869-866X-2018-26-2-83-86.
Markov D.S., Livshits S.A., Gurov A.N. [The organization of specialized medical care support to victims of road traffic accidents using the informational system for issuing passports of traumatological centers of the Moscow oblast]. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny* [Problems of Social Hygiene, Public Health and History of Medicine]. 2018;(2):83-86. doi: 10.18821/0869-866X-2018-26-2-83-86. (In Russian).
12. Назарова В.В., Борисенкова К.А. Оценка эффективности системы здравоохранения в России. *Народонаселение*. 2017;4(78):119-134.
Nazarova V.V., Borisenkova K.A. [Assessment of the efficiency of the health care system in Russia]. *Narodonaselenie* [Population]. 2017;4(78):119-134. (In Russian).
13. Павлов А.И. Социально-экономическая эффективность деятельности травматологических центров (на примере ГБУЗ МО «Сергиево-Посадская районная больница»). *Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии*. 2018;1(35):15-18.
Pavlov A.I. [Social and economic effectiveness of the traumatological centers activity (on the example of Sergiev Posad district hospital)]. *Teoriya i praktika servisa: ekonomika, sotsial'naya sfera, tekhnologii* [Service theory and practice: economics, social sphere, technology]. 2018;1(35):15-18. (In Russian).
14. Ратников А.Ю. Оценка эффективности деятельности лечебно-профилактических учреждений. *Достижения науки и образования*. 2018;18(40):28-31.
Ratnikov A.Yu. [Evaluation of the efficiency of the activity of medical and preventive institutions]. *Dostizheniya nauki i obrazovaniya* [Achievements in Science and Education]. 2018;18(40):28-31. (In Russian).
15. Рябинин С.В., Яшников Е.В., Сидельников Р.И. Анализ работы травматологического отделения больницы скорой медицинской помощи № 1 г. Воронежа. *Прикладные информационные аспекты медицины*. 2017;20(3):187-190.
Ryabinin S.V., Yashnikov E.V., Sidelnikov R.I. [Analysis of the work of the trauma department of the emergency hospital No. 1 in Voronezh]. *Prikladnye informatsionnye aspekty meditsiny* [Applied Information Aspects of Medicine]. 2017;20(3):187-190. (In Russian).
16. Тандем интеллекта и технологий. *Медицинская газета*. 19 мая 2017; (35).
[Tandem of intelligence and technology]. *Meditsinskaya gazeta* [Medical Newspaper]. 2017 May 19; (35). (In Russian).
17. Тарасов В.Н., Ахметшина Э.Г. Среднее время ожидания в системе массового обслуживания H2/H2/1 с запаздыванием. *Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки*. 2018;22(4):702-713. doi: http://doi.org/10.14498/vsgtu1607.
Tarasov V.N., Akhmetshina E.G. [The average waiting time in a H2/H2/1 queueing system with delay]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universitetata. Seriya: Fiziko-matematicheskie nauki* [Journal of Samara State Technical University, Ser. Physical and Mathematical Sciences]. 2018;22(4):702-713. doi: http://doi.org/10.14498/vsgtu1607. (In Russian).
18. Титовцев А.С. Физическая очередь в прикладной теории массового обслуживания. *Известия Самарского научного центра РАН*. 2016;(2-3):967-971.
Titovtsev A.S. [Physical queuein the applied queueing theory]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tseentra RAN* [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2016;(2-3):967-971. (In Russian).
19. Тищенко С.А., Шахмурадян М.А. Методы машинного обучения в малом бизнесе: содержание и управление. *Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова*. 2019;(6):83-95. doi: 10.21686/2413-2829-2019-6-83-95.
Tishchenko S.A., Shakhmuradian M.A. [Methods of Machine-Aided Training in Small Business: Content and Management]. *Vestnik Rossiiskog oekonomicheskogo universiteta imeni G.V. Plekhanova* [Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics]. 2019;(6):83-95. doi: 10.21686/2413-2829-2019-6-83-95. (In Russian).
20. Ходакова О.В., Евстафьева Ю.В. Комплексная оценка официальных сайтов медицинских организаций. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2017;61(2):70-75. doi: 10.18821/0044-197X-2017-61-2-70-75.
Khodakova O.V., Evstafieva Yu.V. [The complex assessment of official web-sites of medical organizations]. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii* [Healthcare of Russian Federation]. 2017;61(2):70-75. doi: 10.18821/0044-197X-2017-61-2-70-75. (In Russian).
21. Черкасов С.Н., Кудряшова Л.В., Егiazарян К.А. Анализ потребности как основа планирования объёмов высокотехнологичных видов медицинской помощи пациентам с заболеваниями костно-мышечной системы в городе Москве. *Бюллетень Национального научно-исследовательского института общественного здоровья имени Н.А. Семашко*. 2015;(4-5):199-204.
Cherkasov S.N., Kudryashova L.V., Egiazyryan K.A. [Needs analysis as a basis for planning the volume of high-tech types of medical care for patients with diseases of the musculoskeletal system in the city of Moscow]. *Byulleten' Natsional'nogo nauchno-issledovatel'skogo institute obshchestvennogo zdorov'ya imeni N.A. Semashko* [Bulletin of Federal Scientific State Budgetary Institution «N.A. Semashko National Research Institute of Public Health»]. 2015;(4-5):199-204. (In Russian).
22. Шипова В.М., Воронцов Т.Н. Современные проблемы планирования медицинской помощи. *Бюллетень Национального научно-исследовательского инсти-*

туда общественного здоровья имени Н.А. Семашко. 2014;(1):306-310.

- Shipova V.M., Vorontsov T.N. [Modern problems of planning medical care]. *Byulleten' Natsional'nogo nauchno-issledovatel'skogo institute obshchestvennogo zdorov'ya imeni N.A. Semashko* [Bulletin of Federal Scientific State Budgetary Institution «N.A. Semashko National Research Institute of Public Health»]. 2014;(1):306-310. (In Russian).
23. Шугинов А.А. Качественные преобразования в деятельности травматологического отделения первого уровня в меняющихся условиях современного здравоохранения. *Вестник по педагогике и психологии Южной Сибири*. 2016;(1):97-106.
- Shuginov A.A. [Qualitative changes in activity of first level trauma department in changing modern healthcare]. *Vestnik po pedagogike i psikhologii Yuzhnoi*

Sibiri [Bulletin on Pedagogics and Psychology of Southern Siberia]. 2016;(1):97-106. (In Russian).

24. Ахмедова С.А., Становов В.В., Семенкин Е.С. Кооперация бионического и эволюционно-го алгоритмов для задач проектирования искусственных нейронных сетей. *Журнал Сибирского Федерального Университета. Математика и физика*. 2018;11(2):148-158.
- Akhmedova S.A., Stanovov V.V., Semenkin E.S. [Cooperation of bio-inspired and Evolutionary algorithms for neural network design]. *Zhurnal Sibirskogo Federal'nogo Universiteta. Matematika i fizika* [Journal of Siberian Federal University: Mathematics and Physics]. 2018;11(2):148-158. (In Russian).
25. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. 6.2.2.3 Softmax Units for Multinoulli Output Distributions. In: *Deep Learning*. MIT Press, 2016. p. 180-184.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Дубров Вадим Эрикович — д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой общей и специализированной хирургии факультета фундаментальной медицины, руководитель отдела травматологии и ортопедии, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова», Москва, Россия. vdubrov.2015@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5407-0432>

Злобина Юлия Сергеевна — канд. мед. наук, заведующая организационно-методическим отделом по травматологии и ортопедии, ГБУ «Научно-исследовательский институт организации здравоохранения и медицинского менеджмента ДЗ г. Москвы», Москва, Россия. dr.zlobina@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5696-9190>

Тищенко Сергей Александрович — канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры экономической информатики экономического факультета, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия. tichtch@yahoo.fr; <https://orcid.org/0000-0002-6410-068X>

Шахмурдян Михаил Андреевич — лаборант кафедры экономической информатики экономического факультета, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия. mshakhmuradyan@econ.msu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3797-6440>

Поспелов Никита Андреевич — студент магистратуры физического факультета, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия. nik-pos@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6637-2120>

Шустов Егор Анатольевич — аспирант кафедры финансов и кредита экономического факультета, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова». egorshustoff@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6250-5563>

Заявленный вклад авторов:

Дубров В.Э. — постановка целей и задач, разработка дизайна исследования, написание текста, формирование выводов, грамматическая и стилистическая корректировка.

Злобина Ю.С. — сбор, систематизация и анализ информации о расположении и эффективности работы травматологических пунктов города Москвы, написание текста, грамматическая и стилистическая корректировка.

Тищенко С.А. — разработка методологии сбора и анализа данных от травматологических учреждений, разработка алгоритма территориального размещения.

AUTHORS' INFORMATION:

Vadim E. Dubrov — Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the General and Specialized Surgery Chair, the Faculty of Fundamental Medicine; Head of the Department of Traumatology and Orthopedics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia. vdubrov.2015@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5407-0432>

Yulia S. Zlobina — Cand. Sci. (Med.), Head of the Department of Organization and Methodology for Traumatology and Orthopedics, Scientific Research Institute of Healthcare Organization and Medical Management, Moscow, Russia. dr.zlobina@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5696-9190>

Sergey A. Tishchenko — Cand. Sci. (Phys. and Math.), Associate Professor, Department of Economic Informatics, Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia. tichtch@yahoo.fr; <https://orcid.org/0000-0002-6410-068X>

Mikhail A. Shakhmuradian — Laboratory Assistant, Department of Economic Informatics, Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia. mshakhmuradyan@econ.msu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3797-6440>

Nikita A. Pospelov — Graduate Student, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia. nik-pos@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6637-2120>

Egor A. Shustov — PhD Student, Department of Finance and Credit, Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia. egorshustoff@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6250-5563>

Шахмурадян М.А. — разработка информационной архитектуры математической модели, а также методологии сбора и анализа данных от травматологических учреждений.

Поспелов Н.А. — разработка и апробирование алгоритма территориального размещения.

Шустов Е.А. — анализ и исследование исторического развития травматологической помощи и демографических данных по населению административных округов в Москве.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.