



ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.02

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-2>

Перспективные направления исследований для выработки единых подходов к оценке качества, надежности и эффективности организации дорожного движения



Роман ГОРБУНОВ



Зинаида ГОРБУНОВА



Василий КОЛЧИН

Роман Николаевич Горбунов¹, Зинаида Васильевна Горбунова², Василий Савельевич Колчин³

^{1, 2, 3} Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия.

✉ ² flocean@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

В статье приводятся предложения по повышению эффективности организации дорожного движения с использованием геоинформационных данных. Целью проведения исследований является определение перспективных направлений исследования для выработки единых подходов к оценке качества, надежности и эффективности организации дорожного движения по соответствующим критериям.

Авторами был проведен обзор данных критериев с точки зрения нормативной документации, а также отмечена возможность применения моделей городских улично-дорожных сетей для поиска оптимальных режимов организации дорожного движения с минимальными затратами. Поскольку ранее проведенные исследования показали отсутствие единых подходов и четких критериев оптимизации организации дорожного движения, было предложено всесторонне рассмотреть возможность оценки дорожного движения не только с технической точки зрения, но и с точки зрения подходов, применяемых в теории менеджмента.

В качестве оценки показателей эффективности организации дорожного движения была предложена функция временных затрат, представляющая собой сумму всех временных затрат

участников дорожного движения. Повышение эффективности организации дорожного движения достигается минимизацией данной функции. Отмечается, что при снижении функции временных затрат снижаются материальные затраты участников дорожного движения, например расходы на топливо.

Рассмотрев принципы функционирования дорожного движения в других странах, авторы определили два подхода к организации дорожного движения на улично-дорожной сети: механистический и органический. Механистический предполагает строгое соблюдение правил всеми участниками дорожного движения, органический же предполагает возможность отступать от правил. Авторами были представлены примеры самоорганизации дорожного движения на участках улично-дорожной сети города Иркутска, что является примером применения органического подхода к организации дорожного движения в России.

Итогом статьи стала выработка ряда перспективных направлений исследований, благодаря которым может быть достигнуто единообразие подходов к выбору и формированию требований к показателям надежности, качества и эффективности организации дорожного движения.

Ключевые слова: транспорт, улично-дорожная сеть, организация дорожного движения, геоинформационные системы, надежность, качество, эффективность.

Для цитирования: Горбунов Р. Н., Горбунова З. В., Колчин В. С. Перспективные направления исследований для выработки единых подходов оценки качества, надежности и эффективности организации дорожного движения // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 16–22. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-2>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение уровня автомобилизации представляет собой серьёзный вызов для существующей улично-дорожной сети (далее УДС). Ежедневно во многих городах возникают заторы на дорогах, особенно часто они возникают в утренние и вечерние часы пик. Изучением процессов возникновения и оценки заторов долгое время занимались многие учёные [1–11], тем не менее организация дорожного движения на таких УДС в случае применения устаревших подходов остаётся проблематичной.

Современные программные решения, позволяющие моделировать транспортные потоки на городских УДС в совокупности с имеющимися цифровыми картами геоинформационных систем (далее ГИС), могут позволить оптимизировать процесс повышения эффективности организации дорожного движения (далее ОДД) в городах.

Для организации подобной работы достаточно однократного переноса имеющихся цифровых карт ГИС в программу моделирования дорожного движения. Далее необходимо выполнить следующий алгоритм действий:

- внести информацию о режимах работы светофорных объектов и прочую информацию о параметрах и режимах работы УДС;
- провести сбор данных о существующих интенсивностях движения на УДС;
- осуществить доработку (подстройку) модели под реальные условия, то есть корректировку ошибок, которые могли возникнуть при переносе данных.

Свод всей информации в одной модели позволит смоделировать работу УДС города в различные периоды суток, а это, в свою очередь, даст возможность оптимизировать работу УДС, подобрать оптимальные режимы работы светофорных объектов, выработать рекомендации по изменению схем движения.

Любые изменения в схему ОДД, запланированные органами местного самоуправления, могут быть оценены еще на этапе планирования.

Реализация подобного подхода возможна на государственном уровне путем создания единого центра ОДД, который проводил бы подобные работы для всех населённых пунктов страны. Создание подобных центров в каждом городе или регионе нецелесообразно, поскольку для работы таких центров

нужны высококлассные специалисты, а услуги такого центра требуются в городах не постоянно, то есть обеспечение многих городов может осуществлять один центр.

Однако, для того чтобы можно было оптимизировать работу ОДД, необходимо определить критерии оценки её работы, выбрать критерии оптимизации.

В целом, критерии, по которым оценивается УДС, можно разделить на три группы:

- критерии надёжности;
- критерии качества;
- критерии эффективности.

Таким образом, целью проведения исследований является определение перспективных направлений для выработки единых подходов к оценке качества, надёжности и эффективности организации дорожного движения по соответствующим критериям.

Каждая из групп критериев является самостоятельной и позволяет оценивать УДС с разных сторон, тем не менее в результате дальнейших исследований могут быть установлены и интегральные критерии оценки УДС, при этом учитывающие указанные параметры.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Поскольку УДС является техническим объектом, то на неё распространяется ГОСТ Р 27.102-2021 «Надёжность в технике»^{1, 2}, в котором под надёжностью понимается свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции в заданных режимах, условиях применения, стратегиях технического обслуживания, хранения и транспортирования.

В соответствии с данным ГОСТом надёжность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать в себя:

- безотказность: свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние

¹ ГОСТ Р 27.102-2021. Надёжность в технике. Надёжность объекта. Термины и определения. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200181141>. Доступ 23.06.2023.

² Разработан с учётом основных нормативных положений международного стандарта МЭК 60050-192:2015* «Международный электротехнический словарь. Часть 192. Надёжность». – прим. ред.



в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения;

- долговечность: свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта;

- ремонтпригодность: свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособности объекта путем технического обслуживания и ремонта;

- сохраняемость: свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Под качеством, согласно ГОСТ Р ИСО 9000^{3, 4}, понимается степень соответствия присущих характеристик требованиям. Термин «качество» имеет более широкую трактовку и может включать не только технические требования, но и требования пользователей к функционированию УДС. Показатели эффективности, представляемой как отношение полученного результата к понесённым затратам, лучше всего оценивать через **временные** и **денежные** (материальные) затраты [12].

В связи с тем, что главная задача УДС – это предоставление возможности перемещаться автомобилям, то результатом является прибытие автомобиля в пункт назначения. Таким образом, результат является константой, в то время как затраты времени и материальные затраты могут меняться. В случае, если речь идёт о функционировании УДС, то всё сводится к оптимизации функции $F(t) = \sum t_i$, где t_i – время, затраченное на передвижение участниками дорожного движения. Логично предположить, что в случае оптимизации функции, также могут быть оптимизированы материальные затраты, понесённые участниками дорожного движения, например, такие, как затраты на топливо и износ автомобиля. Кроме того, снижение продолжительности передвижения повышает производительность

работы организаций, связанных с пассажирскими и грузовыми перевозками.

Некоторые подходы к оценке эффективности за счет **временных** затрат, которые несут участники дорожного движения в денежной форме, были представлены ранее в [12].

При этом стоит понимать, что функция $F(t)$ стремится к некоему пределу в связи с существующими ограничениями скорости движения, наличием вероятности потери времени при проезде перекрестков, пешеходных переходов, искусственных неровностей и светофорных объектов и прочих факторов. Кроме того, увеличение числа полос для движения не всегда возможно, а при наличии такой возможности многократное увеличение может быть нецелесообразно.

Увеличение числа полос за счет расширения проезжей части, строительство путей обхода или внесение иных изменений в конфигурацию УДС требует вложений средств, объём которых ограничен. В связи с этим необходимо определиться с оценкой параметров времени для возможности их сравнения с финансовыми затратами на реконструкцию проезжей части.

Это во многом затрагивает моральные аспекты в части оценки стоимости времени жизни человека, однако такое сравнение необходимо для выбора наиболее эффективного варианта оптимизации (модернизации) работы УДС.

В наиболее простом варианте при выборе возможных альтернатив расходования средств возможно прямое сравнение уменьшения **временных** затрат ($\Delta F(t)$) со стоимостью различных имеющихся вариантов реконструкции УДС. В таком случае может быть выбран вариант или варианты с наиболее высокой удельной экономией времени.

Кроме того, в случае реализации подхода по созданию единого центра ОДД на всех УДС в первую очередь должны быть проведены мероприятия по оценке эффективности работы светофорных объектов и предложены варианты её оптимизации, поскольку перестройка светофорных объектов требует минимального объёма вложений.

Как было указано ранее, помимо **временных** потерь, следует также оценивать **материальные** потери.

После определения критериев оценки необходимо также решить вопрос со сбором данных о параметрах движения. Как было

³ ГОСТ Р ИСО 9000. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. [Электронный ресурс]: <https://rustestm.ru/wp-content/uploads/2021/10/gost-r-iso-9000-2015-sistemy-menedzhmenta-kachestva-osnovnyie-polozeniia-i-slovar.pdf>. Доступ 23.06.2023.

⁴ Идентичен международному стандарту ИСО 9000:2015 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь» (ISO 9000:2015 «Quality management systems – Fundamentals and vocabulary», IDT). – прим.ред.

отмечено в предыдущих исследованиях [13], сбор данных может осуществляться как с применением единичных источников ГИС-данных, таких как автомобили-лаборатории, так и с применением массовых источников ГИС-данных. Сбор ГИС-данных может производиться с применением ранее предложенной методики [14]. Эффективность применения тех или иных источников данных для каждого из применяемых показателей также должна быть оценена.

Теория менеджмента предполагает два подхода к созданию управленческих структур: механистический и органический [15]. Организация дорожного движения на городских улично-дорожных сетях реализуется в той или иной степени с применением данных подходов. При первом подходе предполагается полное соблюдение правил дорожного движения (далее ПДД) участниками дорожного движения. Такой подход хорош тем, что участникам дорожного движения заранее известно поведение других участников. Создание потенциальных аварийных ситуаций маловероятно. Однако такой подход требует большого объема работы по ОДД как с точки зрения создания дорожной инфраструктуры, например, установки дополнительных, дублирующих знаков, светофорных объектов и прочих мероприятий, так и с точки зрения контроля за нарушениями. Понимание участниками дорожного движения неотвратимости наказания и того, что нарушение правил снизит качество передвижения их самих и других участников, а также крайне низкое количество случаев, в которых водители могли бы двояко трактовать ситуацию на дороге, приводит к тому, что понимание необходимости строго следовать ПДД формируется на институциональном уровне и является интуитивным. Такой подход, по нашему мнению, встречается в европейских странах, например, в Германии.

Органический же подход предполагает наличие некоторых негласных правил (понятий), сложившихся у участников дорожного движения в принципе или при езде на некоторых участках УДС. ПДД в таком случае необходимы лишь для придания общей концепции дорожного движения и определения виновника в случае ДТП.

При органическом подходе главным критерием движения является разумность поведения и минимизация функции затрат. То есть

в случае, если можно нарушить ПДД без последствий или с минимальным риском получить штраф, то они будут нарушены, если это приведет к «выигрышу» участника дорожного движения. Описание поведения участников дорожного движения может быть осуществлено с применением теоретико-игровых подходов.

Например, при органическом подходе резкое перестроение перед другим автомобилем считается нормой, поскольку участники дорожного движения осознают, что все участники дорожного движения не заинтересованы в ДТП, поскольку будет затрачено много времени на его оформление, для невиновного участника ДТП возникнут дополнительные транзакционные издержки, связанные с получением возмещения от страховой компании, или через суд, в случае, если ответственность виновника ДТП не была застрахована. Также автомобиль после ДТП, как правило, продаётся с дисконтом по отношению к «небитому». Кроме того, водитель автомобиля, в чей ряд перестраивается нарушитель может быть определен как виновник ДТП в случае, если столкновение произойдет не бортами, а с задней частью автомобиля нарушителя, и если при отсутствии иных объективных данных (видеорегистраторы, камеры наблюдения, свидетельские показания и т. п.) виновник ДТП будет настаивать на том, что маневра «перестроения» не было, а водитель второго автомобиля не соблюдал дистанцию. Таким образом, как правило, ДТП не выгодно никому из его потенциальных участников, и зачастую водителю проще уступить дорогу нарушителю, нежели нести временные и материальные расходы.

При органическом подходе участники движения (органы государственного управления) зачастую неосознанно пользуются подходом уменьшения функции затрат времени $F(t) = \sum ti$, связанной со всеми участниками дорожного движения, то есть система приходит в равновесие. Наличие возможности существования равновесия в подобных системах было доказано ранее [16].

Таким образом, на институциональном уровне формируется основной приоритет для участников дорожного движения, заключающийся в том, чтобы не столкнуться с автомобилями других участников. Сочетание механистического и органического подходов требует меньший объем контроля со стороны





Рис. 1. Схема двухуровневой развязки на улице Лермонтова (г. Иркутск) [изображение с сайта 2ГИС <https://2gis.ru/irkutsk>].

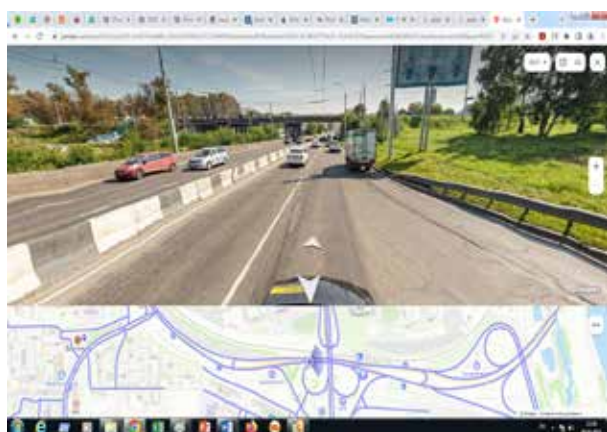


Рис. 2. Выезд с двухуровневой развязки на улице Лермонтова (г. Иркутск) [изображение с сайта Яндекс.Карты <https://yandex.ru/maps/63/irkutsk/>].

государства и меньший объем вложений в дорожную инфраструктуру, поскольку на некоторых участках УДС осуществляется самоорганизация системы дорожного движения. Такой подход находит своё применение в некоторых странах Азии.

Однако в отдельных случаях подобный подход, по нашему мнению, применяется и в России.

Например, в городе Иркутске в часы пик выезд с двухуровневой развязки на улице Лермонтова (рис. 1, 2) по правилам дорожного движения невозможен в связи с высокой интенсивностью движения по объездной дороге, аналогичная ситуация возникает при проезде участка УДС ул. Горная – ул. К. Либкнехта – ул. И. Уткина (рис. 3, 4).

В часы пик для возможности выезда со второстепенной дороги в соответствии с ПДД в данных примерах необходима установка светофорных объектов. Тем не менее, в связи

с пониманием того, что, несмотря на приоритетность движения необходимо уступить дорогу автомобилям, движущимся по второстепенной дороге, в целях избежания колоссальных заторов на прилегающих улицах, участниками движения применяется органический подход. Периодически уступая дорогу автомобилям, не имеющим приоритет, происходит саморегуляция движения и снижение общественной функции временных затрат $F(t) = \sum t_i$. В случае полного соблюдения ПДД в часы пик происходил бы затор, протяжённость которого превышала бы длину перегона, то есть затор ограничивал бы движение на других перекрестках.

Минусом механистического подхода является тот факт, что в случае нарушения систем организации дорожного движения, например, нарушения работы светофорного объекта, отсутствия знака или некорректной разметки участники дорожного движения или



Рис. 3. Схема проезда ул. Горная – ул. К. Либкнехта – ул. И. Уткина (г. Иркутск) [изображение с сайта 2ГИС <https://2gis.ru/irkutsk>].



Рис. 4. Выезд с ул. Горная на ул. К. Либкнехта (г. Иркутск) [изображение с сайта Яндекс.Карты <https://yandex.ru/maps/63/irkutsk>].

не смогут продолжать движения, или условия дорожного движения будут существенно ухудшены. Кроме того, не все ситуации прописаны в ПДД, и не на всех участках УДС, особенно в старой городской застройке, возможно их применение. Минусом же органического подхода является то, что отсутствие четко прописанных требований может приводить к тому, что у участников дорожного движения могут быть разные приоритеты и соответственно может возникнуть недопонимание происходящих событий.

В целом же, рассматривая оба подхода, можно отметить, что в обоих подходах имеются плюсы и минусы и для оптимальной организации дорожного движения может применяться сочетание обоих подходов для достижения надежного, качественного и эффективного функционирования УДС.

ВЫВОДЫ

Выбор регулирующих воздействий при механистическом и органическом подходе

является важным условием надёжной, качественной и эффективной ОДД. Для корректного выбора управляющих воздействий необходимо определить критерии оценки ОДД. Такая оценка может проводиться по показателям надёжности, качества и эффективности функционирования УДС.

В нормативной документации и научной литературе есть различные подходы к определению параметров дорожного движения, однако, отсутствуют чётко проработанная методология и единообразие подходов к выбору и формированию требований к показателям надёжности, качества и эффективности ОДД. Таким образом, проведённые исследования показали, что следующие направления исследований являются перспективными:

1. Классификация показателей и выбор наиболее значимых показателей надёжности, качества и эффективности для оценки ОДД.

2. Научное обоснование применимости выбранных показателей в зависимости от параметров улично-дорожной сети, а также





оценка возможности применения интегральных критериев оценки ОДД.

3. Научно-обоснованное нормирование этих показателей в зависимости от протяженности УДС и иных параметров.

4. Научное обоснование выбора источника данных о параметрах функционирования УДС, оценка периодичности сбора данных для расчёта каждого из показателей.

5. Разработка научно-обоснованных подходов для моделирования транспортных потоков при мониторинге дорожного движения и научное обоснование требований к таким моделям.

6. Разработка научно-обоснованных методов экономической оценки потерь, вызываемых заторами, в зависимости от параметров функционирования УДС.

Проведение исследований в указанных направлениях позволит повысить теоретические знания в данной области и существенно повысить эффективность проводимого мониторинга дорожного движения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Блинкин М. Я., Ткаченко Б. А. Системная оценка условий движения на базе модели Хермана-Пригожина // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: науч. мат. XV международной научно-практической конф. (Екатеринбург, 16–17 июня 2009 г.). – Екатеринбург: Изд-во АБМ, 2009. – С. 135–143. [Электронный ресурс]: <https://www.waksman.ru/Russian/Konference/2009/III/bli1.htm>. Доступ 23.06.2023.

2. Власов В. М., Богумил В. Н. Методика оценки показателей «уровней обслуживания движения», адаптированных к городским условиям // Вестник МАДИ. – 2015. – № 4 (43). – С. 69–78. EDN: UYSEDP.

3. Головных И. М., Михайлов А. Ю. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов: Монография. – Новосибирск: Наука, 2004. – 267 с. ISBN 5-02-032091-9.

4. Захаров Н. С., Бояркина Е. Ф. Закономерности формирования количества легковых автомобилей на улично-дорожной сети города: Монография. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – 160 с. ISBN 978-5-9961-0468-0.

5. Левашев А. Г., Шаров М. И. Развитие критериев оценки качества обслуживания на городском пассажирском транспорте // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 7. – С. 174–178. [Электронный ресурс]: <https://journals.istu.edu/>

vestnik_irtgu/journals/2015/07/articles/23. Доступ 23.06.2023.

6. Левашев А. Г., Михайлов А. Ю., Шаров М. И. Современные методы оценки качества организации дорожного движения в городах. – Иркутск, 2015. – 218 с. Деп. в ВИНТИ РАН 31.03.2015, № 64-B2015. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24879838>. Доступ 23.06.2023.

7. Румянцев Е. А., Михайлов А. Ю. Об эффективности критериев для оценки условий движения транспортных потоков // Организация безопасности дорожного движения в крупных городах: сб. докл. IX междунар. конф. (Санкт-Петербург, сент. 2010 г.). – Санкт-Петербург. – С. 121–123.

8. Тебенёв С. Е. Развитие методов мониторинга транспортных потоков для оперативного управления дорожным движением на магистралях: автореф. дис. канд. техн. наук. – Иркутск: ИрГТУ, 2013. – 20 с.

9. A Toolbox for Alleviating Traffic Congestion and Enhancing Mobility. Institute of Transportation Engineers, Publication IR-054B, 1997, 119 p. [Электронный ресурс]: <https://ntlrepository.blob.core.windows.net/lib/17000/17800/17841/PB2001104711.pdf>. Доступ 23.06.2023.

10. Herman, R., Ardekani, S. A. Characterizing Traffic Conditions in Urban Areas. Transportation Science, 1984, Vol. 18 (2), pp. 101–140. DOI: 10.1287/trsc.18.2.101.

11. Herman, R., Prigogine, I. A Two-Fluid Approach to Town Traffic. Science, 1979, Vol. 204, Iss. 4389, pp. 148–151. DOI: 10.1126/science.204.4389.148.

12. Горбунов Р. Н., Горбунова З. В., Горбунова Л. Н., Карлина А. И., Колчин В. С. Теоретические подходы к экономической оценке затрат участников дорожного движения в связи со снижением скорости сообщения // Авиационное строительство и транспорт Сибири: сб. статей XIV Междунар. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 21–26 сентября 2020 г.). – Иркутск: Изд-во ИРНТУ, 2020. – С. 150–156. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46534098>. Доступ 23.06.2023.

13. Горбунов Р. Н. Повышение эффективности мониторинга дорожного движения на основе временного и буферного индексов за счет использования геоинформационных данных // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 2 (79). – С. 173–180. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-2-173-180.

14. Горбунов Р. Н., Горбунова З. В., Колчин В. С. Методика оценки качества обслуживания в рамках улично-дорожной сети на базе временного и буферного индексов // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 8. – С. 80–86. EDN: RRXLWC. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-8-80.

15. Алмазова А. Э., Семенова Н. К. Сравнительный анализ механистических и органических систем предприятий и организаций // Молодой ученый. – 2016. – № 14 (118). – С. 307–310. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26389090>. Доступ 23.06.2023.

16. Горбунов Р. Н. Оценка уровня обслуживания на основе временного индекса // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 5 (76). – С. 189–196. DOI: 10.23968/1999-5571-2018-16-5-189-196.

Информация об авторах:

Горбунов Роман Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта Иркутского национального исследовательского технического университета, Иркутск, Россия, gorbunow@istu.ru.

Горбунова Зинаида Васильевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта Иркутского национального исследовательского технического университета, Иркутск, Россия, flocean@mail.ru.

Колчин Василий Савельевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильного транспорта Иркутского национального исследовательского технического университета, Иркутск, Россия, kolchin@ex.istu.edu.

Статья поступила в редакцию 15.06.2023, одобрена после рецензирования 12.12.2023, принята к публикации 15.12.2023.