

МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ПЕРЕСЕЧЕНИЯ В СОСТАВЕ МАГИСТРАЛЬНОЙ АСУДД

Р. В. Андронов, Е. Э. Леверенц
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

MODELING OF AN ADAPTIVE OPERATION MODE TRAFFIC LIGHT INTERSECTION IN A MAIN AUTOMATED TRAFFIC CONTROL SYSTEM

Roman V. Andronov, Evgeny E. Leverents
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. Для принятия управленческих решений по организации дорожного движения на городских улицах рекомендуется применять моделирование с помощью специализированных программных продуктов. Объектом исследования является регулируемое пересечение ул. Тобольский тракт и ул. Судоремонтной в г. Тюмени. В процессе имитационного микромоделирования с помощью программного продукта SmartAdaptive+ при потенциальной реализации адаптивного светофорного регулирования показано, что существующая в настоящее время схема координированного управления может быть дополнена адаптивным управлением на одном из узлов для минимизации задержек как по главному, так и по пересекаемому направлению. Методом статистических испытаний были произведены расчет и сравнение задержек транспортных средств и максимальной длины очереди при адаптивном и жестком регулировании. При максимальной продолжительности разрешающей фазы 75 с по главному направлению и 20 с по второстепенному в течение дня будут наблюдаться наименьшие задержки по обоим направлениям пересечения.

Abstract. It is recommended to use modelling with the help of specialized software products to make managerial decisions about traffic control on urban streets. The object of the study is the regulated intersection of Tobolskiy Trakt St. and Sudoremontnaya St. in Tyumen. During the simulation micromodelling using the SmartAdaptive+ software product for potential implementation of adaptive traffic light control, we show that the current scheme of coordinated control can be supplemented with adaptive control at one of the nodes to minimize delays in both the main and crossing directions. Vehicle delays and maximum queue lengths under adaptive and tight regulation were calculated and compared using the statistical test method. With a maximum permissive phase of 75 s on the major direction and of 20 s on the minor direction, the shortest delays will be observed on both directions of intersection during the day.

Ключевые слова: имитационное моделирование, улично-дорожная сеть, транспортные потоки, адаптивное светофорное регулирование, задержки транспортных средств, длина очереди

Key words: simulation modelling, street-road network, traffic flows, adaptive traffic light control, vehicle delays, queue lengths

Для цитирования: Андронов, Р. В. Моделирование адаптивного режима работы регулируемого пересечения в составе магистральной АСУДД / Р. В. Андронов, Е. Э. Леверенц. – DOI 10.31660/2782-232X-2023-3-81-88. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2023. – № 3 (105). – С. 81–88.

For citation: Andronov, R. V., & Leverents, E. E. (2023). Modeling of an adaptive operation mode traffic light intersection in a main Automated traffic control system. Architecture, Construction, Transport, (3(105)), pp. 81-88. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2023-3-81-88.

Введение

Российская Федерация выходит на так называемое «плато» автомобилизации, при котором рост автопарка существенно замедляется, а объем движения на городской улично-дорожной сети при этом остается стабильным. Наблюдаемая динамика часовой интенсивности движения в уже застроенных районах также имеет стабильный характер. Для обеспечения основных потребительских свойств улиц и дорог требуется установка большого количества светофорных объектов, которые ограничивают пропускную способность улиц и, соответственно, рост интенсивности движения.

Наличие большого количества светофорных объектов приводит к росту задержек транспортных средств и снижению общей скорости движения. Для нивелирования данного эффекта и управления такими объектами требуется активное применение магистральных и сетевых автоматизированных систем управления дорожным движением (АСУДД) [1, 2]. Это смогло бы значительно улучшить качество работы улично-дорожной сети и реализовать концепцию «города, удобного для жизни» [3].

Применяемая в г. Тюмени АСУДД Spectrum 2.0 позволяет осуществлять как координированное, так и адаптивное управление светофорным регулированием. Вводная информация о состоянии транспортного потока поступает в систему с видеодетекторов TrafficCam, установленных на

основных пересечениях магистральных улиц города (рис. 1).

В магистральных АСУДД, оптимизирующих движение вдоль улицы, предпочтение отдается координированному управлению, в частности, регулированию по «зеленой волне». На локальных, не связанных светофорных объектах (например, ул. Тобольский тракт – ул. Малышева, ул. Тобольский тракт – ул. Т. Чаркова) делаются попытки применить адаптивное регулирование, заключающееся в самом распространенном его варианте – пропуске сформировавшейся очереди автомобилей и остального движущегося транспортного потока до появления разрыва, когда направление движения остается незаполненным [4]. После этого осуществляется переключение сигнала светофора. При практически непрерывном движении транспортного потока к пересечению переключение сигнала происходит принудительно по максимально заложенной продолжительности разрешающей фазы, как при жестком регулировании.

Объект и методы исследования

Объектом исследования в статье является регулируемое пересечение ул. Тобольский тракт и ул. Судоремонтной вместе с подходами в г. Тюмени.

На ул. Тобольский тракт на большинстве пересечений установлены видеодетекторы TrafficCam, фиксирующие факт прохода транспорт-



Рис. 1. Мониторинг транспортного потока и фиксация занятости полос движения системой Spectrum 2.0 через видеодетекторы TraffiCam
 Fig. 1. Traffic flow monitoring and lane occupancy fixation by Spectrum 2.0 via TraffiCam video detectors

ных средств по полосам движения и занятость полосы [5]. На всем протяжении улицы работают два адаптивно управляемых пересечения – с ул. Малышева и ул. Т. Чаркова, на остальных реализована магистральная АСУДД с координированным регулированием.

Принцип координированного регулирования заключается в одинаковой продолжительности световорного цикла на пересечениях улицы и согласованном времени зажигания разрешающей фазы для главного направления. Это дает эффект безостановочного прохода основной массы транспортных средств на зеленый сигнал светофора, но приводит в отдельных случаях к повышенным задержкам автомобилей, двигающихся по пересекающимся направлениям с большой интенсивностью движения.

В исследовании производится моделирование дорожно-транспортной ситуации в будний день при условии нормативного состояния до-

рожных условий для двух временных интервалов как в час пик, так и вне его.

Экспериментальная часть

В настоящее время при внедрении АСУДД требуется производить моделирование ее работы с оценкой эффективности. Для этого используются в основном зарубежные программные продукты, такие как VISSIM, причем дополнительные модули по моделированию адаптивного управления (например, VAP/VisVAP) устанавливаются за отдельную плату.

На кафедре автомобильных дорог и аэродромов Тюменского индустриального университета авторами создана модель, реализованная в программном комплексе SmartAdaptive+ [6]. В данной модели реализован принцип работы вероятностных автоматов. Модель использует в своей основе положения [2, 7–9], в которых подходящий поток моделируется как по распределе-

Таблица 1
Table 1

Исходные данные при жестком регулировании (движение в одном направлении)
Initial data in case of tight control (one-way traffic)

Период времени	Интенсивность движения		Общая продолжительность:	
	ул. Тобольский тракт, авт./ч	ул. Судоремонтная, авт./ч	светофорного цикла, с	горения разрешающего сигнала, с (главное/пересекаемое)
С 10.00 до 11.00	1 147	533	102	48/20
С 17.00 до 18.00	850	366	102	48/20

нию Пуассона (только для однополосного потока интенсивностью до 300 авт./ч), так и по бета-распределению с ограничением прохода максимально возможного количества транспортных средств за единичное время. В нестационарном потоке параметры для пачек автомобилей и остального потока задаются отдельно.

Пропускная способность стоп-линии узла и ее статистические характеристики рассчитывались по ОДМ 218.2.020-2012¹ и [9, 10]. Шаг моделирования составлял 5 с, что в основном соответствует интервалу, определяющему наличие разрыва в потоке.

Эффективность работы адаптивных светофорных алгоритмов, действующих по принципу поиска разрыва в потоке на изолированно работающих пересечениях (10–50 %) [1, 2], общепризнана. Однако возникает вопрос определения их эффективности/неэффективности при работе с магистральной АСУДД с координированным управлением, т. к. прибытие больших пачек автомобилей сразу после включения запрещающего сигнала оказывает негативный эффект и приводит к утомляемости водителей.

Для этого в исследовании моделировались различные сценарии с изменением максимальной продолжительности разрешающего сигнала.

Результаты

В работе было произведено моделирование с многократным проигрывшем (100–150 раз) развития дорожно-транспортной ситуации на рассматриваемом пересечении (по методу статистических испытаний Монте-Карло). По результатам моделирования можно сделать предварительные выводы (рис. 2, 3 и табл. 1, 2).

При жестком регулировании (рис. 2) накапливаемые очереди отмечаются через одинаковое время. В правой части рис. 3 (адаптивное регулирование) наблюдается основной недостаток применения адаптивного регулирования при нахождении рядом других светофорных объектов. Из-за небольшого расстояния между светофорами пачки автомобилей в основном сохраняют свою целостность [11], и автомобили, движущиеся в них, вынуждены периодически останавливаться на запрещающий сигнал светофора рассматриваемого пересечения. В этом случае предлагается произвести моделирование при различных комбинациях максимальной продолжительности разрешающего сигнала (предлагается 75 и 100 с).

Как видно из таблиц, адаптивное регулирование может применяться на рассматриваемой улице в основном вне часа пик. В час пик при вы-

¹ ОДМ 218.2.020-2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог : издание официальное : внесен Управлением эксплуатации и сохранности автомобильных дорог Федерального дорожного агентства / разработан АНО «Институт проблем безопасности движения», Московским автомобильно-дорожным государственным техническим университетом (МАДИ), Иркутским государственным техническим университетом, Тихоокеанским государственным университетом, ФГУП «РОСДОРНИИ», ООО «ИНЭМДорТранс». – Москва : Информавтодор, 2012. – 148 с. – Текст : непосредственный.

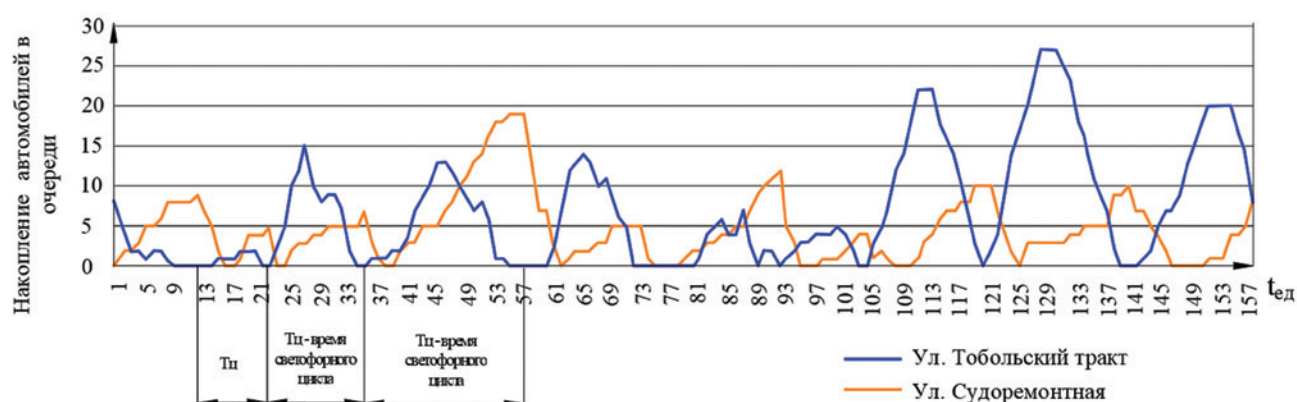


Рис. 2. Участок циклограммы при жестком регулировании (шаг расчета $t_{ед} = 5$ с). Время 17.00–18.00
Fig. 2. Section of the cyclogram under tight control (calculation step $t_{un} = 5$ s). Time 17.00–18.00

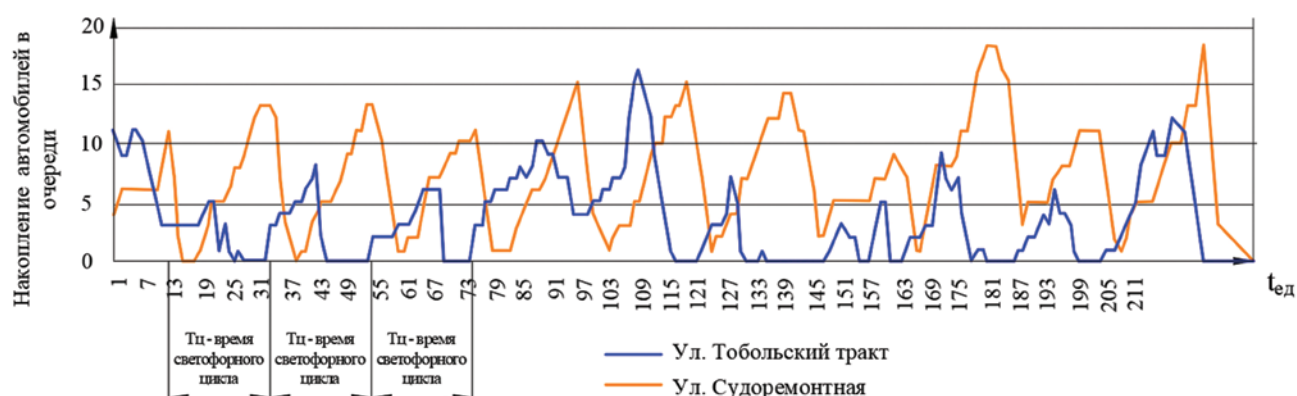


Рис. 3. Участок циклограммы при адаптивном регулировании (шаг расчета $t_{ед} = 5$ с). Время 17.00–18.00. Максимальная продолжительность разрешающего сигнала для двух направлений 50 и 20 с соответственно
Fig. 3. Section of the cyclogram under adaptive control (calculation step $t_{un} = 5$ s). Time 17.00–18.00. Maximum duration of the enable signal 50 s and 20 s for the two directions respectively

сокой интенсивности движения алгоритм с предельным временем переключения сигналов 50 с по обоим направлениям наименее эффективен, т. к. в этом случае будет наблюдаться серьезная десинхронизация с работой остальной АСУДД по ул. Тобольский тракт.

При более детальном анализе можно выделить некоторые алгоритмы, которые окажут положительный эффект практически на все дневное время. Это алгоритм с максимальной продолжительностью разрешающего сигнала 75 с по главному направлению и 20 с по второстепенному. Эффективность применения данного алгоритма на главной улице заключается в том, что он при сравнительно небольшом пре-

вышении максимальной продолжительности разрешающего сигнала позволяет полностью пропустить пачки автомобилей, посылаемые с предыдущих светофорных объектов, и переключить сигнал светофора по факту появления разрыва в потоке.

Выводы

На примере моделирования пересечения ул. Тобольский тракт и ул. Судоремонтной в г. Тюмени можно сделать ряд выводов и рекомендаций:

1. Для минимизации задержек транспортных средств по пересекающимся направлениям магистральной координированной АСУДД

Таблица 2
Table 2

Результаты моделирования движения по главному направлению
с интенсивностью 1 147 авт./ч, по второстепенному 533 авт./ч
Results of traffic modeling on the main direction with an intensity of
1 147 cars per hour, on the secondary direction 533 cars per hour

Продолжительность цикла, с		Среднее время задержки по направлениям, с		Изменение по сравнению с жестким регулированием, %	
		главное	пересекаемое		
Текущая ситуация, жесткое регулирование					
102		19	57	–	–
Адаптивное регулирование					
При максимальной продолжительности разрешающего сигнала, главное/второстепенное, с	50/20	80	19	39	3 %
	75/20	81	16	46	–16 %
	100/20	83	16	46	–12 %
	50/50	86	23	34	23 %
	75/50	91	20	37	9 %
	100/50	95	20	38	3 %

Таблица 3
Table 3

Результаты моделирования движения по главному направлению
с интенсивностью 850 авт./ч, по второстепенному 366 авт./ч
Results of traffic modeling on the main direction with an intensity of
850 cars per hour, on the secondary direction 366 cars per hour

Продолжительность цикла, с		Среднее время задержки по направлениям, с		Изменение по сравнению с жестким регулированием, %	
		главное	пересекаемое		
Текущая ситуация, жесткое регулирование					
102		19	44	–	–
Адаптивное регулирование					
При максимальной продолжительности разрешающего сигнала, главное/второстепенное, с	50/20	51	17	25	–14 %
	75/20	51	16	27	–16 %
	100/20	49	17	26	–13 %
	50/50	49	17	25	–13 %
	75/50	52	17	26	–13 %
	100/50	54	17	25	–14 %

- одним из решений может являться адаптивное светофорное регулирование на наиболее загруженном пересечении улицы с обоснованной максимальной продолжительностью разрешающего сигнала во избежание десинхронизации работы с остальной АСУДД и увеличения задержек транспортных средств.
- При принятии соответствующего решения требуется смоделировать работу рассматриваемого участка методом статистических испытаний для оценки средней величины задержки и статистического разброса параметров очереди.
 - Для рассматриваемого в статье пересечения рекомендуется применить режим адаптивного регулирования с установкой максимальной продолжительности разрешающего сигнала при условии занятости полос движения для главного направления – 75 с, для второстепенного – 20 с. В этом случае будут наблюдаться наименьшие задержки в течение дня по обоим направлениям.

Библиографический список

1. Кременец, Ю. А. Технические средства организации дорожного движения : учебник для вузов / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский, М. Б. Афанасьев. – Москва : Академкнига, 2005. – 279 с. – Текст : непосредственный.
2. Петров, В. В. Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах / В. В. Петров. – 3-е издание, стереотипное. – Омск : Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2021. – 99 с. – Текст : непосредственный.
3. Вучик, В. Р. Транспорт в городах, удобных для жизни / Вукан Р. Вучик ; пер. с англ. А. Калинина под науч. ред. М. Блинкина. – Москва : Территория будущего, 2011. – 574 с.
4. Морозов, В. В. Влияние занятости полосы на интенсивность движения транспортных средств / В. В. Морозов, С. А. Ярков. – Текст : непосредственный // Прогрессивные технологии в транспортных системах : сборник статей XIII международной научно-практической конференции, Оренбург, 15–17 ноября 2017 года. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2017. – С. 180–184.
5. Морозов, В. В. Повышение пропускной способности регулируемых пересечений путем использования Автоматизированной системы управления дорожным движением в г. Тюмени / В. В. Морозов, С. А. Ярков. – Текст : непосредственный // Инновации и исследования в транспортном комплексе : материалы Международной научно-практической конференции, Курган, 4–5 июня 2015 года. – Курган : Курганский институт железнодорожного транспорта, 2015. – С. 207–213.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022611007 Российская Федерация. Система моделирования автомобильного движения через транспортное пересечение в разных режимах регулирования (SmartAdaptive+) : № 2022610123 : заявл. 11.01.2022 : опубл. 18.01.2022 / Р. В. Андронов, В. О. Доманский, Е. Э. Леверенц ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет». – Текст : непосредственный.
7. Власов, А. А. Теория транспортных потоков : монография / А. А. Власов. – Пенза : Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2014. – 123 с. – ISBN 978-5-9282-1173-8. – Текст : непосредственный.
8. Исследование транспортных потоков городской улично-дорожной сети на стационарность методом дисперсионного анализа / Р. В. Андронов, Е. Э. Леверенц, В. О. Доманский, Б. П. Елькин. – Текст : непосредственный // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – № 9. – С. 7–11.
9. Андронов, Р. В. Моделирование транспортных пересечений городских улиц с адаптивным регулированием дорожного движения / Р. В. Андронов, Е. Э. Леверенц, Т. В. Мальцева. – DOI 10.21684/2411-7978-2022-8-1-144-160. – Текст : непосредственный // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2022. – Т. 8, № 1 (29). – С. 144–160.
10. Клиновштейн, Г. И. Организация дорожного движения : учебник для вузов / Г. И. Клиновштейн, М. Б. Афанасьев. – 5-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : Транспорт, 2001. – 247 с. – Текст : непосредственный.
11. Моделирование процесса распада координированной пачки автомобилей при движении по перегону магистральной улицы / Г. М. Кухаренок, Д. В. Капский, Д. В. Навой, Д. В. Рожанский. – Текст : непосредственный // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2010. – № 6. – С. 51–57.

References

1. Kremenets, Yu. A., Pecherskiy, M. P., & Afanas'ev, M. B. (2005). Tekhnicheskie sredstva organizatsii dorozhnogo dvizheniya: uchebnik dlya vuzov. Moscow, Akademkniga Publ., 279 p. (In Russian).

2. Petrov, V. V. (2021). Avtomatizirovannye sistemy upravleniya dorozhnym dvizheniem v gorodakh. 3rd edition. Omsk, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) Publ., 99 p. (In Russian).
3. Vuchic, V. R. (1999). Transportation for Livable Cities. New York, Publ. Routledge, 378 p. (In English).
4. Morozov, V. V., & Yarkov, S. A. (2017). Vliyanie zanyatosti polosy na intensivnost' dvizheniya transportnykh sredstv. Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh: sbornik statey XIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, November, 15-17. Orenburg, Orenburg State University Publ., pp. 180-184. (In Russian).
5. Morozov, V. V., & Yarkov, S. A. (2015). Povyshenie propusknoy sposobnosti reguliruemyykh peresecheniy putem ispol'zovaniya Avtomatizirovannoy sistemy upravleniya dorozhnym dvizheniem v g. Tyumeni. Innovatsii i issledovaniya v transportnom komplekse: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, June, 4-5. Kurgan, Kurgan Institute of Railway Transport Publ., pp. 207-213. (In Russian).
6. Andronov, R. V., Domanskiy, V. O., & Leverents, E. E. Sistema modelirovaniya avtomobil'nogo dvizheniya cherez transportnoe peresechenie v raznykh rezhimakh regulirovaniya (SmartAdaptive+). State Registration Certificate for Computer Software No 2022610123. Applied: 11.01.2022. (In Russian).
7. Vlasov, A. A. (2014). Teoriya transportnykh potokov: monografiya. Penza, Penza State University of Architecture and Construction Publ., 123 p. (In Russian).
8. Andronov, R. V., Leverents, E. E., Domanskiy, V. O., & Elkin, B. P. (2022). Research of traffic flows of the street network for stationarity by the method of dispersion analysis. Scientific and technical Volga region bulletin, (9), pp. 7-11. (In Russian).
9. Andronov, R. V., Leverents, E. E., & Maltseva, T. V. (2022). Modeling transport intersections of city streets with adaptive traffic control. Tyumen state university herald. Physical and mathematical modeling. Oil, gas, energy, 8(1(29)), pp. 144-160. (In Russian).
10. Klinkovshcheyn, G. I., & Afanas'ev, M. B. (2001). Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya: uchebnik dlya vuzov. 5th edition, revised. Moscow, Transport Publ., 247 p. (In Russian).
11. Kuharenok, G. M., Kapsky, D. V., Navoj, D. V., & Rozhansky, D. V. (2010). Disintegration process modeling of coordinated automotive pack while moving along space interval of main street. Vestnik Belorusskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta, (6), pp. 51-57. (In Russian).

Сведения об авторах

Андронов Роман Валерьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов, Тюменский индустриальный университет, e-mail: andronovrv@tyuiu.ru

Левренц Евгений Эдуардович, старший преподаватель кафедры строительной механики, Тюменский индустриальный университет, e-mail: leverenz72@gmail.com

Information about the authors

Roman V. Andronov, Associate Professor at the Department of Roads and Airfields, Industrial University of Tyumen, e-mail: andronovrv@tyuiu.ru

Evgeny E. Leverents, Senior Lecturer at the Department of Structural Mechanics, Industrial University of Tyumen, e-mail: leverenz@gmail.com

Получена 01 сентября 2023 г., одобрена 14 сентября 2023 г., принята к публикации 28 сентября 2023 г.

Received 01 September 2023, Approved 14 September 2023, Accepted for publication 28 September 2023