

УДК 69.07

2.1.1 Строительные конструкции,
здания и сооружения (технические науки)

ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЯ ДИНАМИКА+ В ЛИРА-САПР 2022 ПРИ РАСЧЕТЕ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ЗДАНИЙ ИЛИ СООРУЖЕНИЙ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

И. Г. Овчинников¹, Н. С. Быстров²¹ Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия² Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия

THE USE OF THE DYNAMICS+ MODULE IN LIRA-CAD 2022 IN THE CALCULATION OF LARGE-SPAN BUILDINGS OR STRUCTURES FOR SEISMIC IMPACTS

Igor G. Ovchinnikov¹, Nikita S. Bystrov²¹ Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia² Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg, Russia

Аннотация. В статье рассматриваются основные цели динамического расчета зданий и сооружений. Авторами представлена методика расчета стальной большепролетной пространственной конструкции на сейсмические воздействия с применением модуля Динамика+ программного комплекса ЛИРА-САПР 2022. Разобрана последовательность формирования нагрузок в расчетной схеме. Рассмотрены случаи, когда расчет зданий и сооружений на сейсмическое воздействие необходимо производить по акселерограммам, сейсмограммам или велосиграммам. В результате авторами получена расчетная модель, которая позволяет производить анализ

Abstract. The article discusses the main goals of dynamic calculation of buildings and structures. The authors present a method for calculating a large-span steel spatial structure for seismic impacts using the Dynamics+ module in LIRA-CAD 2022 software package. The paper analyses the sequence of loading formation in the calculation scheme. It considers the cases when the calculation of buildings and structures for seismic impact must be carried out using accelerograms, seismograms or velocigrams. As a result, the authors obtained a calculation model that allows analyzing the dynamic behavior of a large-span spatial structure in different periods. Subsequently, it will be relevant

динамического поведения большепролетной пространственной конструкции в разные периоды времени. В дальнейшем является актуальным произвести исследование данной конструкции на устойчивость к прогрессирующему обрушению при сейсмическом воздействии.

Ключевые слова: динамические воздействия, акселерограмма, сейсмическое воздействие, ЛИРА-САПР, стальная большепролетная пространственная конструкция

for studying the resistance of this structure to progressive collapse under seismic impact.

Key words: dynamic impacts, accelerogram, seismic impact, LIRA-CAD, steel large-span spatial structure

Для цитирования: Овчинников, И. Г. Применение модуля Динамика+ в ЛИРА-САПР 2022 при расчете большепролетных зданий или сооружений на сейсмические воздействия / И. Г. Овчинников, Н. С. Быстров. – DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-38-45. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2023. – № 2 (104). – С. 38–45.

For citation: Ovchinnikov, I. G., & Bystrov, N. S. (2023). The use of the Dynamics+ module in LIRA-CAD 2022 in the calculation of large-span buildings or structures for seismic impacts. Architecture, Construction, Transport, (2(104)), pp. 38-45. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-38-45.

Введение

В период строительства и эксплуатации здания подвержены динамическим воздействиям различного характера, которые влияют на напряженно-деформированное состояние несущего остова. К данным воздействиям относятся: ветровые, сейсмические, вибрационные, ударные и т. п. Самыми опасными считаются динамические нагрузки, которые вызывают резонанс в результате приобретения частот колебаний, близких к собственным частотам колебания здания.

Для полноценной оценки работы здания или сооружения при динамических воздействиях необходимо вычислять формы и частоты собственных колебаний конструкций. Данные характеристики позволяют выполнить анализ возможности возникновения резонансного явления [1, 2].

В зависимости от времени выделяют периодические и непериодические динамические нагрузки [3]. Периодическими называют нагрузки, которые повторяются через определенное количество времени и имеют большое количество циклов. Ярким примером данного типа является гармонический вид нагрузки. Непериодический

тип обладает внезапным и кратковременным действием с большой интенсивностью однократного (взрыв, удар и т. п.) или многократного (пульсационная составляющая ветра, землетрясения и т. п.) действия.

Объект и методы исследования

При расчете здания или сооружения на динамические воздействия должны выполняться требования по обеспечению его прочности, жесткости и устойчивости. Также важным этапом является определение динамической комфортности здания. Максимальное ускорение этажа здания не должно превышать $0,08 \text{ м/с}^2$, данное требование связано с обеспечением безвредного влияния колебаний здания на здоровье людей.

Рассмотрим основные цели динамического расчета [4, 5]:

- вычисление суммарных перемещений в результате взаимодействия динамических нагрузок со статическими и сравнение полученных значений с предельно допустимыми;
- вычисление усилий в несущих элементах

- здания, которые возникают в результате динамического воздействия, и сравнение полученных значений с предельно допустимыми; определение частот собственных колебаний и сравнение их с частотой вынужденных колебаний для исключения возможности появления резонанса.

В ЛИРА-САПР 2022 реализована расчетно-графическая система Динамика+, которая использует метод прямого интегрирования уравнений движения по времени. Данный метод позволяет выполнять расчет строительных конструкций на динамические воздействия [6, 7]. Программное обеспечение позволяет в каждый момент времени действия динамической нагрузки (кратный шаг интегрирования) вычислить: перемещения, скорости и ускорения узлов, а также усилия и напряжения в элементах.

Загрузки в ЛИРА-САПР 2022 для использования модуля Динамика+ необходимо формировать в следующей последовательности:

1 загрузка – собственный вес и все статические нагрузки, которые необходимо учесть в расчете (полезная, полы, перегородки, снег и т. п.). При сейсмическом воздействии все расчетные нагрузки следует умножать на следующие коэффициенты: 0,9 – коэффициент для постоянной нагрузки, 0,8 – коэффициент для длительной нагрузки, 0,5 – коэффициент для кратковременной нагрузки;

2 загрузка – вес масс. В загрузку 2 конкретные нагрузки не прикладываются. В нем производится преобразование всех статических нагрузок к узловым сосредоточенным;

3 загрузка – узловая динамическая нагрузка;

4 загрузка – демпфирующая нагрузка.

Экспериментальная часть

С применением модуля Динамика+ в ЛИРА-САПР 2022 выполнен расчет на сейсмическое воздействие стальной большепролетной пространственной конструкции, включающей стропильную и подстропильную фермы. Решетка стропильной конструкции пролетом 48 м имеет раскосную систему. Конструкция фермы принята

с параллельными поясами: высота фермы на опоре и в пролете по центральным осям элементов составляет 2,25 м. Шаг узлов принят 3 м. Сечения поясов фермы – из двутавров. Сечения раскосов фермы – из прямоугольных труб. Для элементов фермы принимаем сталь класса прочности С345.

Подстропильная конструкция представляет собой призматическую ферму пролетом 12 м. Конструкция фермы принята с параллельными поясами: высота фермы на опоре и в пролете по центральным осям элементов составляет 2,25 м. Шаг узлов принят 3 м. Сечения элементов фермы – из круглых труб. Для элементов фермы принимаем сталь класса прочности С345. Система покрытия – беспрогонная. Рассчитываемая пространственная конструкция представлена на рис. 1.

В связи с тем, что сейсмическое воздействие имеет волновой характер, расчет большепролетных зданий или сооружений (мостов), высотных зданий и сооружений и неоднородных по высоте зданий и сооружений важно выполнять при использовании: акселерограмм (зависимость «ускорение – время»), сейсмограмм (зависимость «перемещение – время») или велосиграм (зависимость «скорость – время»). В данной работе расчет на сейсмостойкость будет производиться с использованием акселерограммы, которая прикладывается к массам, собранным в узлах расчетной схемы. Основные параметры акселерограммы:

- диапазон преобладающих периодов 0,1–0,3 с;
- амплитуда максимального ускорения – $1,485 \text{ м/с}^2$;
- шаг дискретизации – 0,0125 с;
- количество точек – 10 500;
- время действия акселерограммы – 131,2375 с.

Моделирование сейсмической нагрузки в виде акселерограммы представлено на рис. 2.

Направление сейсмического воздействия необходимо подстраивать под направления колебаний всего сооружения. В данной статье рассмотрена только первая форма собственных колебаний большепролетной пространственной конструкции, которая представлена на рис. 3. Исходя из данной формы, акселерограмма приложена по направлению Y.

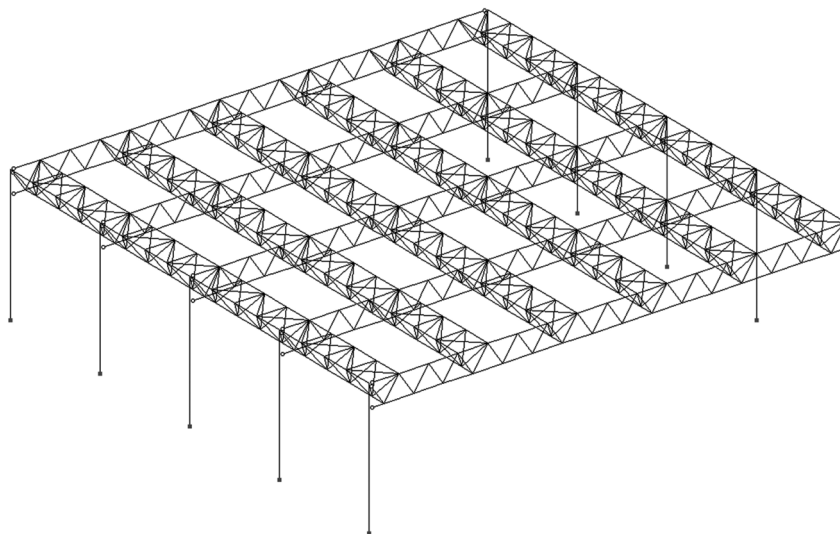


Рис. 1. Рассчитываемая большепролетная пространственная конструкция
Fig. 1. Calculated large-span spatial structure



Рис. 2. Моделирование сейсмической нагрузки в виде акселерограммы
Fig. 2. Simulation of seismic load in the form of an accelerogram

Форма колебаний в л. с. 1
Массы собраны из нагрузок: 1,2,3,4

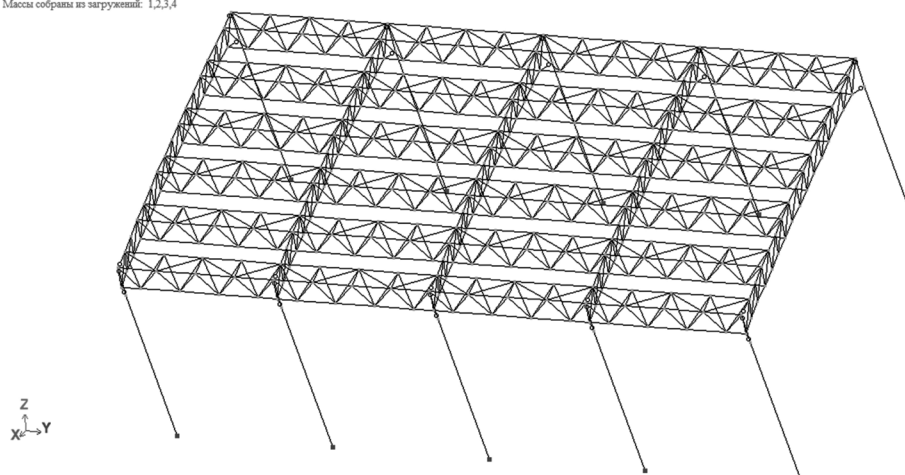


Рис. 3. Первая форма собственных колебаний большепролетной пространственной конструкции
Fig. 3. The first form of natural vibrations of a large-span spatial structure

Результаты и обсуждение

Выполняем расчет. Формирование параметров расчетных сочетаний усилий в модуле Динамика+ происходит автоматически. После завершения расчета производится проверка несущих конструкций на прочность, жесткость и устойчивость в соответствии с нормами [8]. Для каждого элемента расчетной схемы можно посмотреть графики с изменением внутренних усилий. Пример графиков изменения внутренних усилий для одного из элементов пространственной конструкции представлен на рис. 4.

Для каждого узла расчетной схемы можно посмотреть графики перемещений в зависимо-

сти от времени. Пример графиков перемещений одного из узлов большепролетной пространственной конструкции представлен на рис. 5.

Выводы

Прямому динамическому анализу в обязательном порядке должны подвергаться системы с большим периодом собственных колебаний, такие как: большепролетные здания, мосты и т. п. [9, 10]. Для этих целей может быть применен модуль Динамика+ программного комплекса ЛИРА-САПР 2022. Итогом работы модуля являются графики изменения перемещений, усилий и напряжений во времени при динамическом воз-

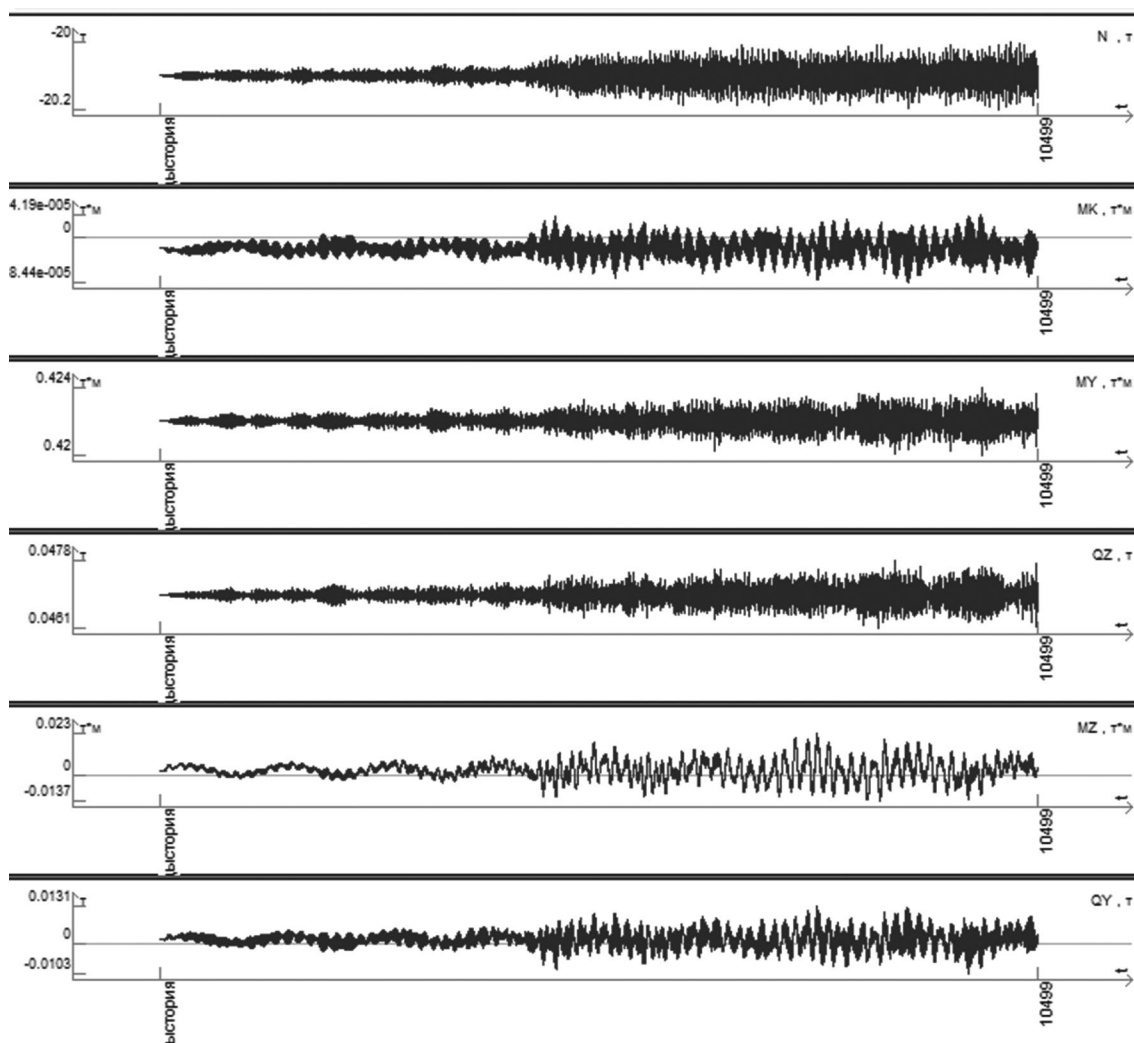


Рис. 4. Графики изменения внутренних усилий элемента в зависимости от времени
Fig. 4. Diagrams of the change in the internal forces of the element as a function of time

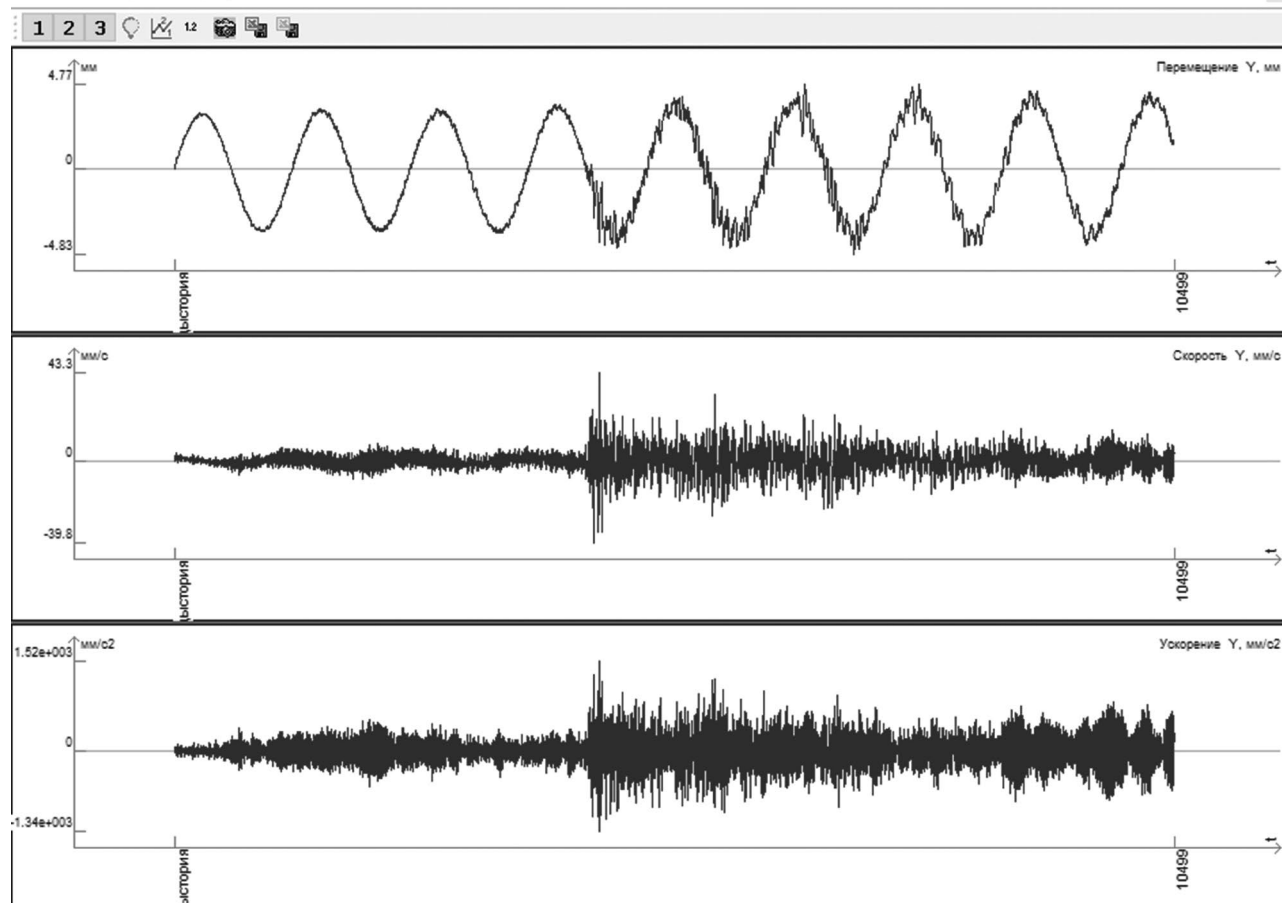


Рис. 5. Графики перемещений узла большепролетной пространственной конструкции в зависимости от времени

Fig. 5. Diagrams of a node motions in a large-span spatial structure as a function of time

действию. Данные графики отображаются при помощи наведения курсора на соответствующий узел или элемент. Также в программном ком-

плексе реализована проверка сечений при динамических воздействиях на основе автоматически сформированных расчетных сочетаний усилий.

Библиографический список

1. Савович, М. К. Динамический расчет каркасных зданий : учебное пособие / М. К. Савович. – Ханты-Мансийск : Югорский государственный университет, 2005. – 31 с. – Текст : непосредственный.
2. Амосов, А. А. Основы теории сейсмостойкости сооружений : учебное пособие / А. А. Амосов, С. Б. Сеницын. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва : Издательство АСВ, 2010. – 136 с. – Текст : непосредственный.
3. Динамический расчет зданий и сооружений : справочник проектировщика / М. Ф. Барштейн, В. А. Ильичев, Б. Г. Коренев [и др.] ; под ред. Б. Г. Коренева, И. М. Рабиновича. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1984. – 303 с. – Текст : непосредственный.

4. Справочник по динамике сооружений / А. М. Сизов, В. И. Сысоев, Е. С. Сорокин [и др.] ; под ред. Б. Г. Коренева, И. М. Рабиновича. – Москва : Стройиздат, 1972. – 511 с. – Текст : непосредственный.
5. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений / А. Ф. Смирнов, А. В. Александров, Б. Я. Лашеников, Н. Н. Шапошников ; под ред. А. Ф. Смирнова. – Москва : Стройиздат, 1984. – 415 с. – Текст : непосредственный.
6. Бирбраер, А. Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость / А. Н. Бирбраер. – Санкт-Петербург : Наука, 1998. – 254 с. – Текст : непосредственный.
7. Стрелец-Стрелецкий, Е. Б. ЛИРА–САПР. Книга I. Основы / Е. Б. Стрелец-Стрелецкий, А. В. Журавлев, Р. Ю. Водопьянов ; под ред. академика РААСН, д-ра техн. наук, проф. А. С. Городецкого. – Издательство LIRALAND, 2019. – 154 с. – Текст : электронный. – ISBN 978-966-359-228-2.
8. Городецкий, А. С. Компьютерные модели конструкций / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров. – Киев : Факт, 2005. – 344 с. – Текст : непосредственный. – ISBN 966-359-027-0.
9. Кравченко, Г. М. Исследование характера распределения нагрузок в расчетных схемах МКЭ / Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, Д. С. Костенко. – DOI 10.15350/2221-9552.2015.1-2. – Текст : непосредственный // Новый университет. Серия: Технические науки. – 2015. – № 1–2 (35–36). – С. 118–122.
10. Еремеев, П. Г. Современные стальные конструкции большепролетных покрытий уникальных зданий и сооружений : монография / П. Г. Еремеев. – Москва : Издательство АСВ, 2009. – 336 с. – Текст : непосредственный. – ISBN 978-5-93093-651-3.

References

1. Savovich, M. K. (2005). *Dinamicheskiy raschet karkasnykh zdaniy: uchebnoe posobie*. Khanty-Mansiysk, Yugra University Publ., 31 p. (In Russian).
2. Amosov, A. A., & Sinitsyn, S. B. (2010). *Osnovy teorii seysmostoykosti sooruzheniy: uchebnoe posobie*. 2nd edition, revised. Moscow, Izdatel'stvo ASV Publ., 136 p. (In Russian).
3. Barshteyn, M. F., Il'ichev, V. A., Korenev, B. G., Kokhmanyuk, S. S., Luzhin, O. V., Maksimov, L. S., ... Sheynin, I. S. (1984). *Dinamicheskiy raschet zdaniy i sooruzheniy: spravochnik proektirovshchika*. 2nd edition, revised. Moscow, Stroyizdat Publ., 303 p. (In Russian).
4. Sizov, A. M., Sysoev, V. I., Sorokin, E. S., Tseytlin, A. I., Savinov, O. A., Korenev, B. G., ... Sheynin, I. S. (1972). *Spravochnik po dinamike sooruzheniy*. Moscow, Stroyizdat Publ., 511 p. (In Russian).
5. Smirnov, A. F., Aleksandrov, A. V., Lashchenikov, B. Ya., & Shaposhnikov, N. N. (1984). *Stroitel'naya mekhanika. Dinamika i ustoychivost' sooruzheniy*. Moscow, Stroyizdat Publ., 415 p. (In Russian).
6. Birbraer, A. N. (1998). *Raschet konstruktsiy na seysmostoykost'*. Saint Petersburg, Nauka Publ., 254 p. (In Russian).
7. Strelets-Streletskiy, E. B., Zhuravlev, A. V., & Vodop'yanov, R. Yu. (2019). *LIRA–SAPR. Kniga I. Osnovy*. LIRALAND Publ., 154 p. (In Russian).
8. Gorodetskiy, A. S., & Evzerov, I. D. (2005). *Komp'yuternye modeli konstruktsiy*. Kyiv, Fact Publ., 344 p. (In Russian).
9. Kravchenko, G. M., Trufanova, E. V., & Kostenko, D. S. (2015). Research of distribution of loads in diagram FEM. *Novyy universitet. Seriya: Tekhnicheskie nauki*, (1-2(35-36)), pp. 118-122. (In Russian). DOI 10.15350/2221-9552.2015.1-2.
10. Yeremeyev, P. G. (2009). *Modern large-span steel structures for one of a kind buildings*. Moscow, Izdatel'stvo ASV Publ., 336 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Овчинников Игорь Георгиевич, д-р техн. наук, профессор базовой кафедры АО «Мостострой-11», Тюменский индустриальный университет, e-mail: bridgesar@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0617-3132

Быстров Никита Сергеевич, аспирант кафедры мостов и транспортных тоннелей, Уральский государственный университет путей сообщения, e-mail: bystrov_nikita97@mail.ru

Information about the authors

Igor G. Ovchinnikov, Doctor in Engineering, Professor at the Base Department JSC "Mostostroy-11", Industrial University of Tyumen, e-mail: bridgesar@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0617-3132

Nikita S. Bystrov, Postgraduate at the Department of Bridges and Transport Tunnels, Ural State University of Railway Transport, e-mail: bystrov_nikita97@mail.ru

Получена 11 мая 2023 г., одобрена 02 июня 2023 г., принята к публикации 13 июня 2023 г.

Received 11 May 2023, Approved 02 June 2023, Accepted for publication 13 June 2023