

Сравнительный анализ моделирования расчётных схем с монолитным ребристым перекрытием с использованием BIM-технологий

Е.С.Кашина¹, В.В. Габова¹, М.В. Быкодеров², К.Н. Сухина¹

¹Волгоградский государственный технический университет

² Автономное учреждение Ямало-Ненецкого автономного округа «Управление государственной экспертизы проектной документации»

Аннотация: В статье выполнена работа по моделированию нескольких вариантов информационных схем ребристого монолитного перекрытия промышленного здания. Был выполнен сравнительный анализ всех расчётных моделей визуально и в числовом аспекте. Также рассматривается эффективность использования BIM-технологий в проектировании с применением программных комплексов «Renga», «САПФИР-3D» и «ЛИРА-САПР» в расчётно-конструктивном разделе.

Ключевые слова: ребристое перекрытие, промышленное здание, проектирование зданий и сооружений, BIM-технологии, расчётная схема, информационная модель, жёсткая вставка, напряжённо-деформированное состояние, метод конечного элемента.

В настоящее время проектирование зданий и сооружений становится всё более автоматизированным процессом, появляются программные комплексы, которые помогают инженерам моделировать здания и конструкции в 3D-виде. Понятие Building Information Modeling (далее BIM) технологий включает в себя весь спектр от концепции до реализации объекта капитального строительства [1-3]. Идеей внедрения данной технологии является создание информационной модели, которая будет содержать в себе всю информацию о проекте на каждом этапе его жизненного цикла. Одним из важнейших этапов остаётся создание проектной документации, в которую входят все разделы: архитектура, конструктив, инженерные коммуникации [4]. Внедрение BIM-технологий направлено на одновременное моделирование и разработку проектов каждого из разделов, что в свою очередь позволит более организационно подходить к вопросу о проектировании. BIM-моделирование в конструктивном разделе проектирования зданий и сооружений предполагает под собой некую взаимосвязь всех смежных разделов [5, 6], которая направлена на ускорение

этапов разработки документации с максимально быстрой координацией внутри проекта.

На сегодняшний день, одной из программ BIM-технологий, востребованной на рынке, является программный комплекс российского производства «Renga» [7-9]. Использование программного комплекса (далее – ПК) Renga несёт в себе достаточно большой функционал: каждый элемент изначально получает материал и внутреннее содержание, например, для железобетона можно задать армирование: сетками или каркасами, способами их соединения; возможность визуализировать расчётную модель в 3D-виде. В ПК Renga также доступны известные инструменты для оформления проектной документации, такие, как отметки, сечения, оси и т.д.

Однако, даже самый новый комплекс и модуль в ПК является лишь инструментом, с помощью которого проектирование становится легче. Только инженер может полностью оценить полученную схему, доработать её и выдать документацию, которая будет полностью соответствовать нормативно-технической базе.

Усиление монолитных плит перекрытий балками достаточно старый и действенный метод в существующих и вновь проектируемых зданиях. Однако при расчёте схемы с помощью метода конечных элементов (далее МКЭ) [10, 11] остаётся одна из самых неоднозначных задач: узлы сопряжения главных и второстепенных балок с плитой перекрытия [12]. При разных вариантах моделирования узлов сопряжения главных и второстепенных балок с плитой меняются геометрические размеры конструкции, а значит меняются и конечные результаты при расчёте.

Исследование в статье направлено на анализ полученных данных в результате сравнение трёх вариантов информационных схем ребристого перекрытия двухэтажного промышленного здания. На первом этапе информационные модели были созданы в комплексе BIM-технологий

«Renga», и далее были импортированы в ПК «САПФИР-3D», и затем в «ЛИРА-САПР». Основное различие схем заключается в постановке вопроса о сопряжении балок и плиты перекрытия в расчётной модели.

Для решения поставленной задачи было необходимо выполнить следующие основные пункты:

- смоделировать 3 варианта информационной модели здания в ПК «Renga»;
- в «САПФИР 3D» было выполнено редактирование аналитической модели в расчётную;
- выполнить расчёт напряжённо-деформированного состояния заданных моделей в ПК «ЛИРА-САПР»;
- провести анализ полученных результатов и сделать соответствующие выводы.

Объект исследования – модель двухэтажного промышленного здания с ребристым монолитным перекрытием.

Предмет исследования – усилия и перемещения, возникающие в монолитном ребристом перекрытии при вариантном проектировании.

За исходные данные была принята монолитная плита толщиной 60 мм, главные и второстепенные балки соответственно равны $b \times h = 650 \times 260$ мм и 300×150 мм. Созданная информационная модель, представлена на рис. 1, на основании которой далее были рассмотрены три конструктивных решения моделирования монолитного диска перекрытия.

В первом варианте модель перекрытия представлена в виде сплошной плиты толщиной 60 мм, габариты главных и второстепенных балок были уменьшены по высоте, равной толщине плиты, $b \times h = 590 \times 260$ мм и 240×150 мм, без смещения центра тяжести исходного варианта. На рис. 2 приведён фрагмент конструктивной модели первого варианта.

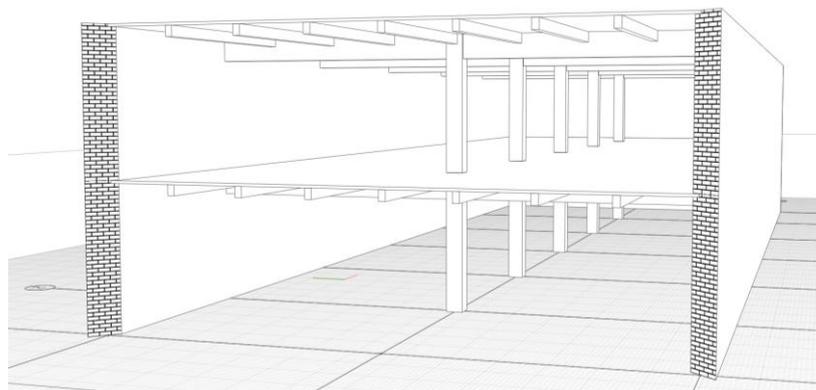


Рис. 1. –Общий вид информационной модели здания в ПК «Renga»

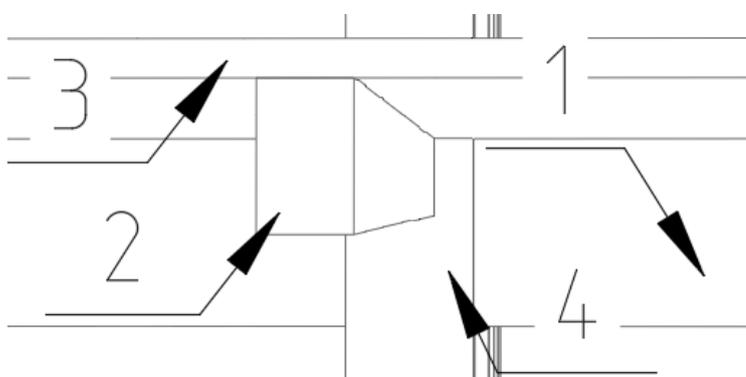


Рис. 2. – Фрагмент конструктивной модели первого варианта (1 - главная балка, 2 - второстепенная балка, 3 – плита перекрытия, 4 - колонна)

Во втором варианте перекрытие смоделировано следующим образом: верхние грани второстепенной и главной балок совмещены с гранью плиты перекрытия в одном уровне. Габариты балок остаются заданы по исходным значениям.

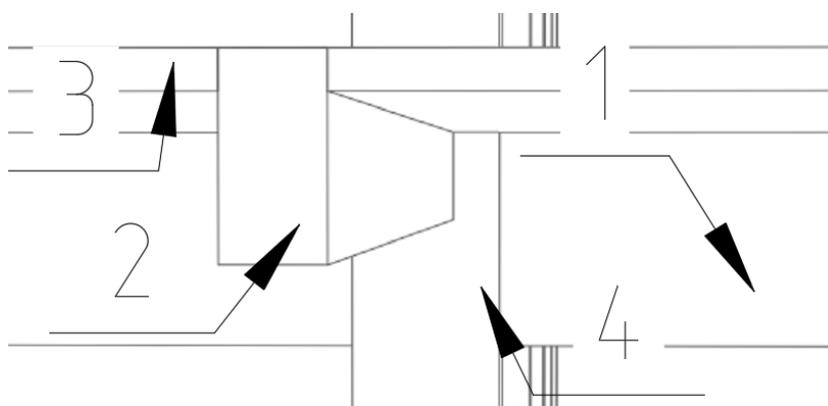


Рис. 3. – Фрагмент конструктивной модели второго варианта (1 - главная балка, 2 - второстепенная балка, 3 – плита перекрытия, 4 - колонна)

В третьем варианте конструирования принимаем главную и второстепенную балку тавровым сечением. Габаритные размеры полки: высота исходя из толщины плиты 60 мм, ширину полки равной $\frac{1}{4}$ пролёта в каждую сторону, в нашем случае для главной балки – 3000 мм, а для второстепенной – 750 мм.

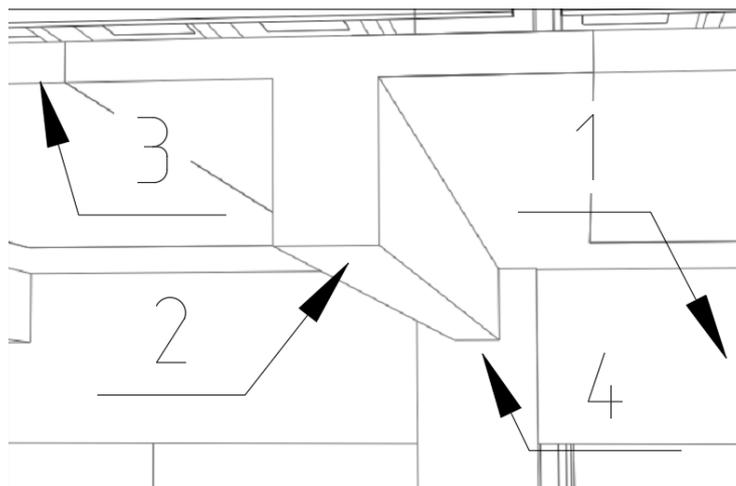


Рис. 4. – Фрагмент конструктивной модели третьего варианта (1 - главная балка, 2 - второстепенная балка, 3 – плита перекрытия, 4 - колонна)

Полученная информационная модель была импортирована в ПК «САПФИР-3D» с последующей глубокой проработкой «информационная модель – аналитическая модель – расчётная схема». Для достижения достоверных конечных результатов одним из главных условий является моделирование жёсткой вставки узлов сопряжений плиты с главными и второстепенными балками. Это связано прежде всего с «шероховатостями» при создании информационной модели. Жесткие вставки ориентируются вдоль осей, глобальной и местной системы координат, по линейным направлениям X, Y, Z. При этом нагрузки, задаваемые на стержень с жесткими вставками, привязываются к началу гибкой части. Заданный шарнир располагается между жесткой вставкой и гибкой частью стержня. Усилия вычисляются только в гибкой части стержня, поэтому при проверке равновесия в узле, где присутствует такой стержень, следует производить

перенос усилий из гибкой части стержня в узел, с учётом заданной нагрузки на жесткую вставку. Без данной операции главные и второстепенные балки теряли устойчивость, как показано на рис. 5.

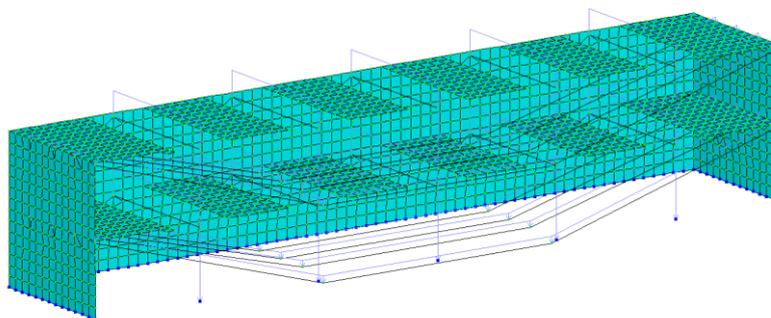


Рис. 5. – Расчётная схема без жёстких вставок

Также стоит отметить, что для получения рабочей схемы необходимо использовать функцию «дотягивание до опоры». Ниже на рисунках (рис.6-8) более подробно представлены основные этапы редактирования аналитической модели для дальнейшего её применения в ПК «ЛИРА-САПР».

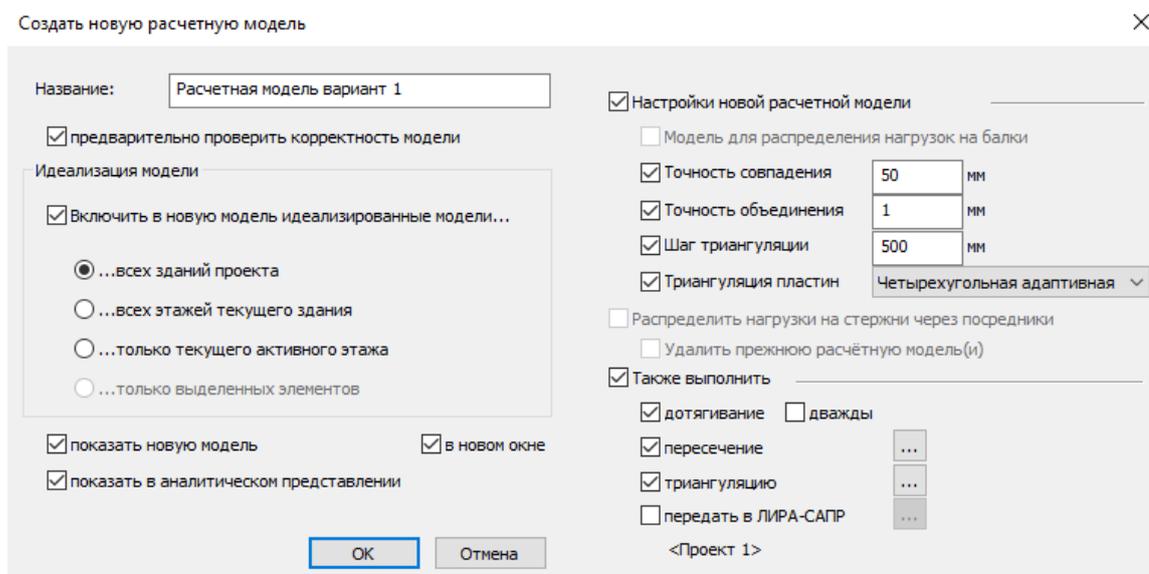


Рис. 6. – Настройки создания аналитической модели в ПК «САПФИР-3D»

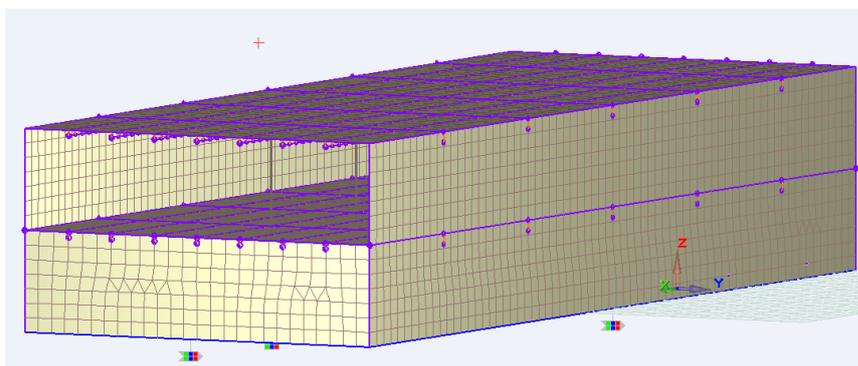


Рис. 7. – Аналитическая схема в ПК «САПФИР-3D»

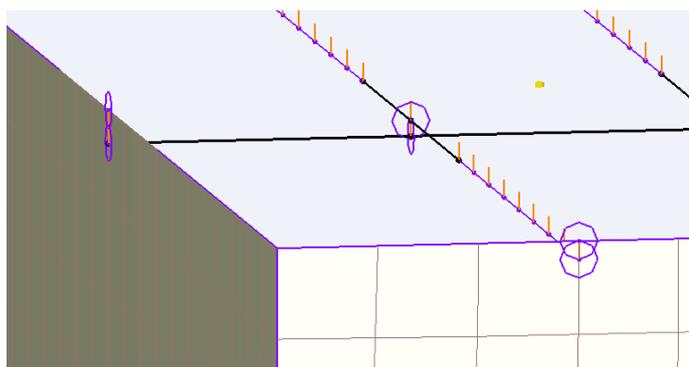


Рис. 8. – Жёсткая вставка главной и второстепенной балок в аналитической схеме

Для дальнейшего расчёта конструкции необходимо импортировать аналитические схемы из «Сапфир» в расчётный комплекс «ЛИРА-САПР». Проверяем заданные жёсткости, опорные связи, РСУ, РСН и начинаем полный расчёт МКЭ. После выполнения расчёта необходимо проанализировать полученные результаты, начиная с анализа напряженно-деформированного состояния и построенных эпюр изгибающих моментов (рис.9) НДС всех трёх вариантов схемы соответствует давно известной эпюре моментов для ребристого перекрытия промышленного здания.

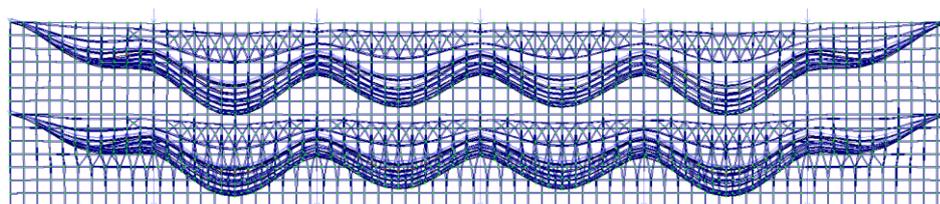


Рис. 9. – Напряжённо-деформированное состояние любой из схем

Для удобства анализа, формируем таблицу 1 с полученными результатами исследования.

Таблица № 1

Сравнительная таблица результатов исследования

| Размер и конструктив | Усилие M_u , т*м | | Перемещение по Z, мм |
|----------------------|--------------------|-------|----------------------|
| | min | max | |
| Главная балка | | | |
| 590 x 260 мм | -0,791 | 1,597 | 0,2393 |
| 650 x 260 мм | -1,241 | 2,408 | 0,2773 |
| Тавровое сечение | -4,16 | 6,16 | 0,4606 |
| Второстепенная балка | | | |
| 240 x 150 мм | -0,055 | 0,140 | 0,4177 |
| 300 x 150 мм | -1,241 | 2,204 | 0,4854 |
| Тавровое сечение | -0,304 | 0,770 | 0,8482 |

Первые два варианта конструирования отличаются примерно на ~13% по всем сравнительным характеристикам. Тавровый вариант показывает больше усилие и перемещение из-за участия его полки в расчётном сечении.

Вывод

Использование BIM-комплексом актуальная и важная тема в современном вопросе проектирования. С их помощью можно реализовать большие, сложные и интересные объекты. Изучение особенностей проектирования и работы в такой информационной среде поможет повысить эффективность, снизить риски ошибок, оптимизировать совместную работу

конструкторов. Таким образом, внедрение BIM-технологий уже скоро будет ключевым фактором в успешном выполнении поставленных задач и целей каждого объекта капитального строительства.

Литература

1. Петров К.С., Швец Ю.С., Корнилов Б.Д., Шелкоплясов А.О. Применение BIM-технологий при проектировании и реконструкции зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5255

2. Енуленко Н.В., Коробкова Т.А., Карманова М.М. Опыт обучения технологиям информационного моделирования на примере разработки информационной модели жилого комплекса с использованием BIM-системы Renga // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : Материалы VII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15–17 мая 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2024. – С. 252-259. – DOI 10.23968/VIMAC.2024.034. – EDN YTQRPR.

3. Конопацкий Е.В. Концепция разработки высокопроизводительных отечественных ТИМ нового поколения // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры: Материалы VII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15–17 мая 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2024. – С. 100-105. – DOI 10.23968/VIMAC.2024.014. – EDN CXKXSC.

4. Ледовских Л. И., Карпиняну Е. Нормативно-техническая база по применению BIM-технологии на начало 2021 года // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6964

5. Кашина Е.С. Сравнительный анализ расчётных схем монолитного ребристого перекрытия с использованием BIM-технологий // Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета (г. Волгоград, 22-26 апреля 2024 г.) : тез. докл. / редкол.: С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.] ; Волгогр. гос. техн. ун-т, Отд. координации науч. исследований мол. ученых УНиИ, Об-во мол. ученых. - Волгоград, 2024. - С. 310-311.

6. Лопухина В. П., Михалева Е.А. Концепция BIM-технологии при проектировании, или технологии в BIM-проектировании // XVI Ежегодная научная сессия аспирантов и молодых ученых : Материалы Всероссийской научной конференции. В 3-х томах, Вологда, 29 ноября 2022 года / Главный редактор М.М. Караганова. Том 1. – Вологда: Вологодский государственный университет, 2023. – С. 189-191. – EDN IZJDCK.

7. Жилин Д. А., Черских Д.Ю., Чуйко К.К. Переход на BIM проектирование на примере программ Revit и Renga // VIII Международный студенческий строительный форум - 2023: Сборник докладов VIII Международного студенческого строительного форума - 2023, Белгород, 28 ноября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 112-116. – EDN ASDTBO.

8. Елисеев Н. А., Елисеева Н.Н., Параскевопуло Е.Н. Renga - отечественная BIM-система для проектирования // Инновационные технологии в строительстве и геоэкологии: Материалы X Международной научно-практической интернет-конференции, Москва, 02–03 июня 2023 года. – Москва: ООО "Издательство "Спутник+", 2023. – С. 21-24. – EDN CUYKYX.

9. Пионкевич В. А., Середкин Д.А., Пузанов И.А. Информационное моделирование средствами программного комплекса Renga // Повышение

эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Иркутск, 19–23 апреля 2023 года. Том 1. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2023. – С. 359-363. – EDN DTRPVM.

10. Ignatiev A. V., Ignatiev V. A. Specific features and advantages of the finite element method in the form of classical mixed method as an alternative for the traditional finite element method // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2014. Vol. 10. No. 4. Pp. 121—124.

11. Ignatiev A. V., Ignatiev V. A. Modified Algorithm for the Analysis of Thin Plates by the Finite Element Method in the Form of the Classical Mixed Method // Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. Pp. 1766—1770.

12. Пшеничкина В.А., Сидорова Н.Ю., Глухов А.В. Анализ технического состояния железобетонных конструкций одноэтажного промышленного здания // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф., 1-2 декабря 2020 г., Волгоград: в 2-х ч. / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Волгогр. гос. техн. ун-т. - Волгоград, 2020. - Ч. 1. - С. 48-53.

References

1. Petrov K.S., Shvec Ju.S., Kornilov B.D., Shelkopljasov A.O. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5255

2. Enulenko N.V., Korobkova T.A., Karmanova M.M. Informacionnoe modelirovanie v zadachah stroitel'stva i arhitektury: Materialy VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Sankt-Peterburg, 15–17 maja 2024 goda. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, 2024. pp. 252-259.

3. Konopackij E.V. Informacionnoe modelirovanie v zadachah stroitel'stva i arhitektury: Materialy VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii,



Sankt-Peterburg, 15–17 maja 2024 goda. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, 2024. pp. 100-105.

4. Ledovskih L. I., Karpinjanu E. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6964

5. Kashina E.S. Konkurs nauchno-issledovatel'skih rabot studentov Volgogradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta (g. Volgograd, 22-26 aprelja 2024 g.) : tez. dokl. redkol.: S. V. Kuz'min (otv. red.) [i dr.] ; Volgogr. gos. tehn. un-t, Otd. koordinacii nauch. issledovanij mol. uchenyh UNiI, Ob-vo mol. uchenyh. - Volgograd, 2024. pp. 310-311.

6. Lopuhina V. P., Mihaleva E.A. HVI Ezhegodnaja nauchnaja sessija aspirantov i molodyh uchenyh: Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii. V 3-h tomah, Vologda, 29 nojabrja 2022 goda. Glavnyj redaktor M.M. Karaganova. Tom 1. Vologda: Vologodskij gosudarstvennyj universitet, 2023. pp. 189-191.

7. Zhilin D. A., Cherskih D.Ju., Chujko K.K. VIII Mezhdunarodnyj studencheskij stroitel'nyj forum - 2023: Sbornik dokladov VIII Mezhdunarodnogo studencheskogo stroitel'nogo foruma - 2023, Belgorod, 28 nojabrja 2023 goda. Belgorod: Belgorodskij gosudarstvennyj tehnologičeskij universitet im. V.G. Shuhova, 2023. pp. 112-116.

8. Eliseev N. A., Eliseeva N.N., Paraskevopulo E.N. Innovacionnye tehnologii v stroitel'stve i geojekologii: Materialy X Mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj internet-konferencii, Moskva, 02–03 ijunja 2023 goda. Moskva: OOO "Izdatel'stvo "Sputnik+", 2023. pp. 21-24.

9. Pionkevich V. A., Seredkin D.A., Puzanov I.A. Povyšenie jeffektivnosti proizvodstva i ispol'zovanija jenerгии v uslovijah Sibiri: Materialy Vserossijskoj nauchno-praktičeskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, Irkutsk, 19–23 aprelja 2023 goda. Tom 1. Irkutsk: Irkutskij nacional'nyj issledovatel'skij tehničeskij universitet, 2023. pp. 359-363.



10. Ignatiev A. V., Ignatiev V. A. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2014. Vol. 10. No. 4. Pp. 121—124.

11. Ignatiev A. V., Ignatiev V. A. Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. Pp. 1766—1770.

12. Pshenichkina V.A., Sidorova N.Ju., Gluhov A.V. Aktual'nye problemy i perspektivy razvitija stroitel'nogo kompleksa: sb. st. mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 1-2 dekabrya 2020 g., Volgograd: v 2-h ch. M-vo nauki i vyssh. obrazovaniya Ros. Federacii, Volgogr. gos. tehn. un-t. - Volgograd, 2020. Ch. 1. pp. 48-53.

Дата поступления: 11.08.2024

Дата публикации: 20.09.2024