

УДК 624.012.45

**В. В. Габова^а, М. В. Быкодеров^б, Е. С. Кашина^а, К. А. Сухин^а, Ю. С. Вильгельм^а,
В. Н. Власов^а**

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *АУ ЯНАО «Управление ГЭПД»*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ УЧЕТА СТАДИЙНОГО ВОЗВЕДЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО КАРКАСА МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ РОСТВЕРКА

Представлен сравнительный анализ результатов расчетных схем монолитного железобетонного здания с заданным грунтовым основанием классическим методом и с учетом стадийного возведения в программном комплексе «Мономах». Приводится методика выполнения расчета с учетом его особенностей. Работа направлена на изучение и сравнение напряженно-деформированного состояния ростверка здания при различных вариантах расчетных схем.

Ключевые слова: нелинейность, стадийное возведение, напряженно-деформированное состояние, пространственная схема, монолитный железобетонный каркас, метод конечных элементов.

В настоящее время строительные программные комплексы стремительно развиваются в направлении решения нелинейных задач при проектировании зданий и сооружений [1, 2]. Выполняя такие расчеты, можно обоснованно оценить работу конструкций [3]. Одной из таких задач является учет стадийного возведения конструкций — это некая нелинейность [4, 5], которая направлена на изучение влияния поэтажного возведения здания и порядка возведения его конструкций на напряженно-деформированное состояние (НДС) [6].

На сегодняшний день в российской нормативной базе отсутствует четкая методика расчета, учитывающая данную нелинейность, при этом данной тематике достаточно времени уделяется за границей [7—12]. Актуальность расчета обусловлена требованием документов, в которых прописано, что необходимо моделировать расчетную схему максимально приближенной к реальному поведению здания на всех этапах жизненного цикла: в федеральном законе от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», в СП 420.1325800.2018 «Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования», СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные. Правила проектирования» и др. [13].

Основой расчета с учетом стадийного возведения железобетонного здания или сооружения является работа самого материала. Железобетон требует установки опалубки, нагрузку от которой временно будут нести нижерасположенные уже возведенные конструкции. Также главной спецификой бетона является набор проектной прочности, который проходит в течение 28 дней.

В статье предлагается алгоритм по расчету железобетонного монолитного каркаса многоэтажного жилого здания с учетом стадийного возведения в программном комплексе «Мономах» [14, 15], представлен анализ полученных результатов в сравнении с расчетной схемой в традиционном варианте.

В качестве объекта исследования выбран 24-этажный монолитный жилой дом. Пространственной схемой здания является монолитный железобетонный каркас, реализованный горизонтальным диском жесткости, вертикальными конструкциями в виде диафрагм в зонах лестнично-лифтовых узлов и колонн. Основание реализовано свайным по монолитному ростверку.

Для достижения поставленной задачи смоделированы две расчетные схемы. На рисунке 1 представлен общий вид для двух вариантов схем.

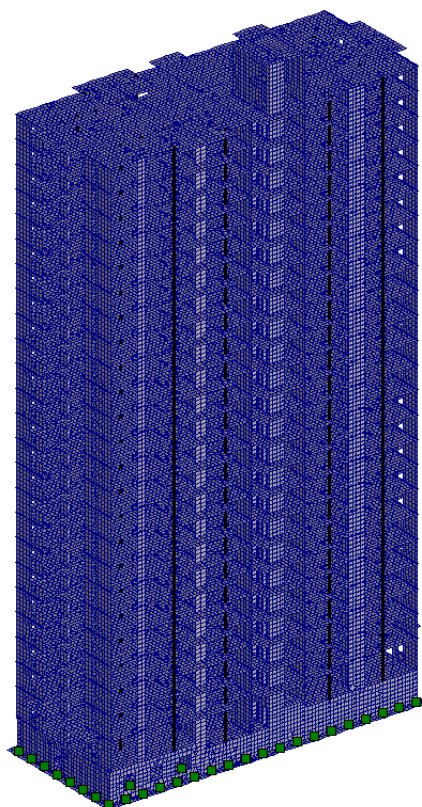


Рис. 1. Общий вид расчетной схемы здания

В первом варианте схемы выполнен традиционный расчет, т. е. здание сразу максимально «садится» на основание. Во втором случае произведен расчет с учетом стадийного возведения, в результате которого получен процесс постепенного нагружения основания.

Одним из обязательных требований к расчетным схемам является учет совместной работы системы «основание — здание», для реализации которого необходимо замоделировать грунты основания [16].

По полученным результатам инженерно-геологических изысканий применены данные о состоянии грунта в 5 скважинах: количество слоев, физико-механические свойства. Далее создано основание для расчетной схемы в подсистеме «Грунт», сформировано необходимое количество слоев и заданы все известные характеристики. Данные указаны в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства грунтов основания

Грунт	Модуль деформации, тс/м ²	Коэф. перехода ко 2-му модулю	Коэф. Пуассона	Объемный вес, т/м ³	Сцепление, тс/м ²	Угол внутр. трения, °	Водонасыщенность	Влажность, доли	Коэф. пористости
Насыпной	1000	5	0,3	1,91	0,001	11	—	0,16	0,68
Суглинки с прослоями супеси	1290	5	0,3	1,75	0,56	25	—	0,1	0,38
ПАП	2940	5	0,3	1,91	39,3	28,5	—	0,25	0,88
Глина	1520	5	0,42	1,86	36,75	26,5	—	0,31	0,9
Пески	2800	5	0,3	1,94	0,001	26	—	0,28	0,99
ПАП	1390	5	0,3	1,91	27,8	27,5	—	0,25	0,88

Следующим этапом выполнена стыковка схемы с моделью грунта. Абсолютная отметка, на которой располагается подошва ростверка здания — 70,50 м (рис. 2).

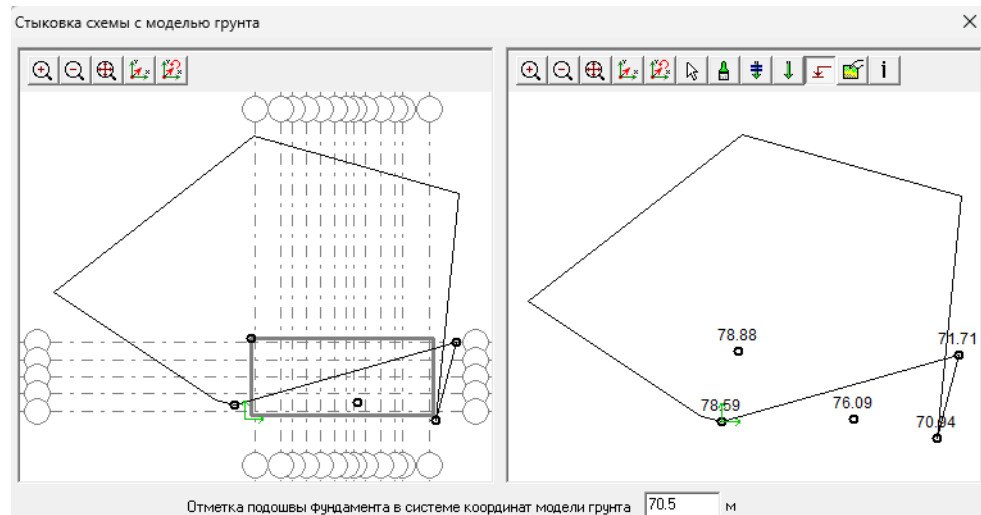


Рис. 2. Стыковка схемы с моделью грунта

Помимо выше описанных операций на здание собраны все виды необходимой нагрузки с учетом требований СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия», заданы расчетные сочетания усилий (PCY) для определения самых неблагоприятных сочетаний.

Готовая схема отправлена на расчет методом конечных элементов (МКЭ) [17—21] со следующими параметрами: шаг триангуляции 0,5 м, четырехконечные элементы.

После любого расчета в программном комплексе необходимо проверить схему на адекватность по перемещениям X , Y , Z , посмотреть усилия, возникающие в колоннах и оценить все НДС схемы. В данном случае расчетная схема показала удовлетворительный результат, следовательно, можно приступить к дальнейшему анализу.

Второй расчетный случай отличается от первого учетом стадийного возведения. В нем участвуют несущие, а также ограждающие конструкции, которые задаются с помощью линейной нагрузки. Монтажные стадии разделяются между собой плитами перекрытия. Нагрузка от наружных стен прикладывается на n -м этаже при возведении несущих конструкций ($n + 3$) этажа (рис. 3). Схема также привязана к грунтовому основанию. Аналогично первому варианту выполняется расчет МКЭ и проверка схемы на адекватность.

Результаты расчета

Сравнительный анализ выполнен по результатам двух расчетных случаев. На рисунках 4—7 представлены мозаики моментов M_x , M_y и поперечных усилий Q_x и Q_y для схемы без учета нелинейности.

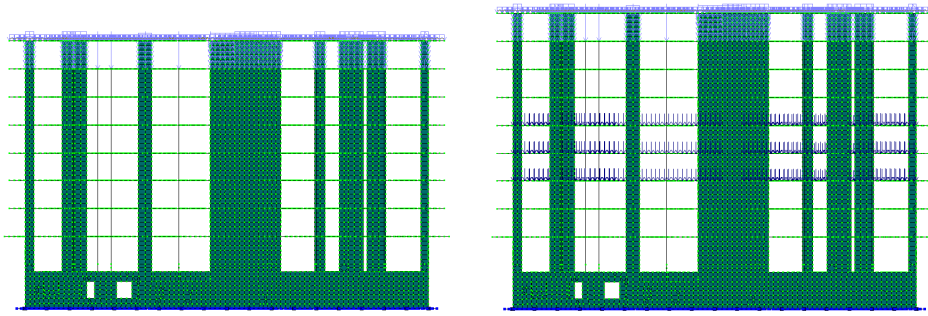


Рис. 3. Стадия возведения с учетом ограждающих конструкций

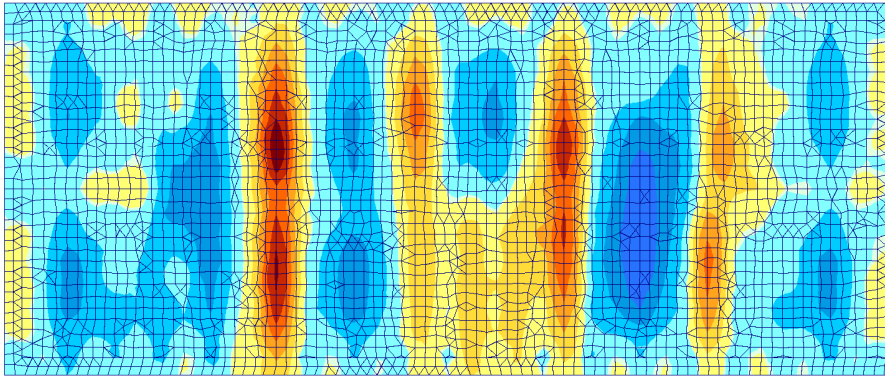
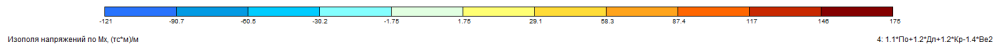


Рис. 4. Мозаика моментов M_x , тм

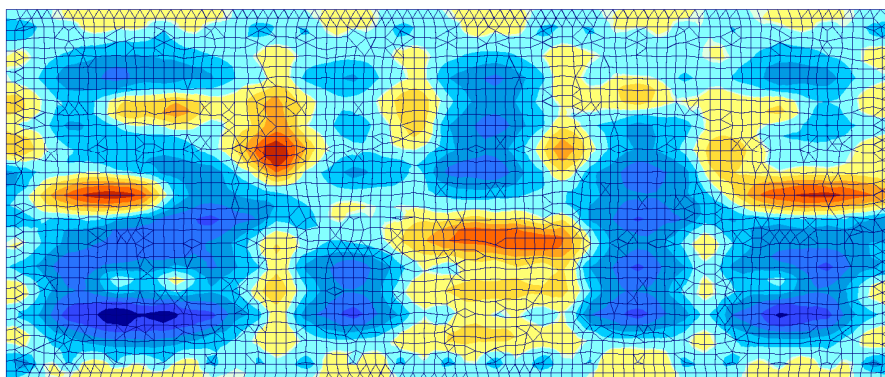
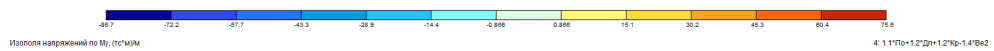


Рис. 5. Мозаика моментов M_y , тм

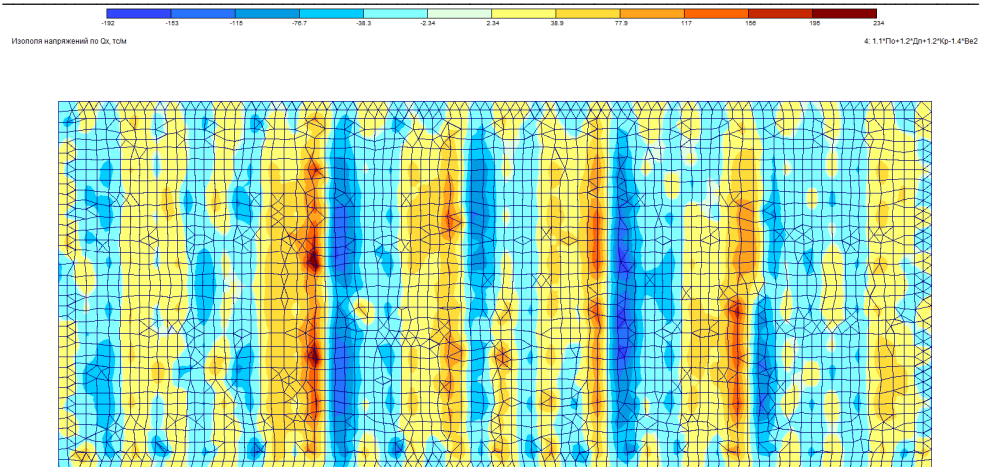


Рис. 6. Мозаика поперечных усилий Q_x , т

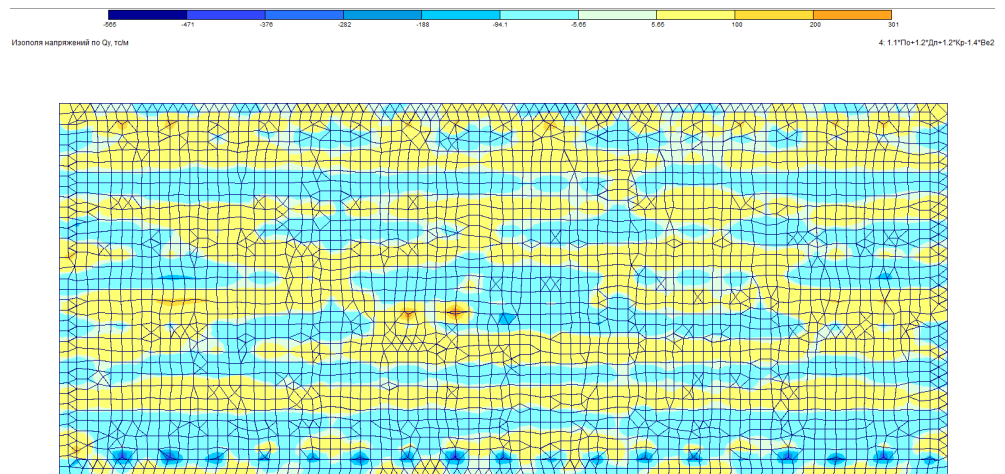


Рис. 7. Мозаика поперечных усилий Q_y , т

Во втором случае мозаики усилий внешне имеют незначительные изменения, однако имеют другие числовые показатели. Сравнение усилий приведено в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительные характеристики

Расчетный случай	Сравнительные характеристики							
	M_x , тм		M_y , тм		Q_x , т		Q_y , т	
	min	max	min	max	min	max	min	max
1 — без учета стадийного возведения	-121	175	-86,7	75,6	-192	234	-567	301
2 — с учетом нелинейности	-114	164	-81,5	70,8	-182,8	218,7	-539,4	284
Расхождение, %	5,78	6,29	6,0	6,35	4,79	6,54	4,87	5,65

Фактором изменения усилий является их перераспределение на каждом новом этапе монтажа, на котором они будут иным образом действовать на конструктивную систему здания. Из-за этого появляются и пропадают временные усилия, которые влияют на деформации всего каркаса на каждом новом этапе возведения. Рассмотрим одну из стен подвального этажа на изменение передаваемых усилий от вертикальных конструкций на ростверк. Для удобства сравнения стена разбита на метровые участки (рис. 8, 9), на которых уже видна визуализация изменений по действующим усилиям (поперечное и продольное усилие, изгибающий момент).

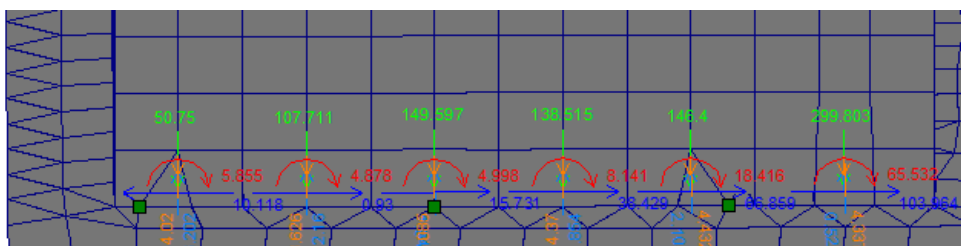


Рис. 8. Фрагмент стены в с усилиями на 1 п. м традиционного расчета

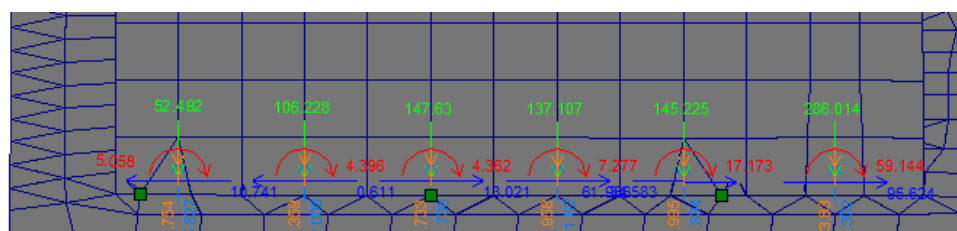


Рис. 9. Фрагмент стены в с усилиями на 1 п. м с учетом стадий монтажа

Суммарная вертикальная нагрузка в первом варианте схемы подвальной стены составила 2028,258 кН, во втором — 2004,69 кН, что экспериментально доказывает уменьшение усилий в несущих конструкциях.

Заключение

Создание и анализ расчетной схемы с учетом возможной нелинейной работы здания и сооружения — актуальная и важная тема строительной механики. Любая нелинейность раскрывает работу материала и конструкции с другой, неизученной стороны, а значит дальнейшая разработка данной тематики исследования может привести к появлению новых расчетных случаев и оптимизировать общий подход к расчету рассмотренного типа зданий и сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дроздов В. В., Пишеничкина В. А., Строк С. И. Расчет несущих строительных конструкций уникальных высотных и большепролетных зданий с учетом физической и геометрической нелинейности: учеб. пособие. Волгоград : Изд-во ВолгГТУ, 2020. 100 с.
2. Евсеев Н. А. Метод расчета зданий из монолитного железобетона во взаимодействии с основанием при учете физически нелинейной работы железобетонных конструкций // Жилищное строительство. 2019. № 11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-rascheta-zdaniy-iz-monolitnogo-zhelezobetona-vo-vzaimodeystvii-s-osnovaniem-pri-uchete-fizicheski-nelineynoy-raboty>.

3. *Мкртычев О. В., Андреев М. И., Сидоров Д. С.* Анализ изменения тенденции в конструкциях с учетом стадийности возведения // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2018. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-izmeneniya-usiliy-v-konstruktsiyah-pri-uchete-stadiynosti-vozvedeniya>.
4. *Блохина Н. С.* Проблема учета физической нелинейности при расчете строительных конструкций // *Вестник МГСУ*. 2011. № 6. С. 384—387.
5. *Кашина Е. С.* Анализ влияния последовательного возведения железобетонного каркаса многоэтажного жилого дома // *Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета: тез. докл. Волгоград : Изд-во ВолгГТУ, 2024. С. 297—298.*
6. *Рудых О. Л.* Нелинейный расчет напряженно-деформированного состояния сооружений при учете последовательности возведения // *Вестник ИргТУ*. 2010. № 1(41). С. 239—244.
7. *Buitrago M., Adam J. M., Calderón P. A., Moragues J. J.* On the use of experimental testing in RC building structures under construction // *Proceedings of the Ninth International Structural Engineering and Construction Conference*. 2017. Valencia, Spain : ISEC Press, 2017.
8. *Duan M. Z., Chen W. F.* Effects of creep and shrinkage on slab-shore loads and deflections during construction. Project Report CE-STR-95-24. West Lafayette, IN: Purdue University, 1995.
9. *Boiadjieva R.* Influence of the construction stages analysis on the distribution of displacement and forces in columns of reinforced columns tall buildings // *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2022. Vol.1222. P. 5.
10. *Karabinis A. I., Kioussis P. D.* Strength and Ductility of Rectangular Concrete Columns a Plasticity Approach // *Journal of Structural Engineering*. 1996. Vol. 122. Iss. 3. Pp. 267—274.
11. *Xi H. F., Fang D. P., Zhang C. M., Geng C. D.* Creep effects on load distribution of reinforced concrete structures during construction // *Gongcheng Lixue/Eng Mech*. 2007. Vol. 24. Iss. 3. Pp. 91—96.
12. *Alvarado Y. A., Calderón P. A., Gasch I., Adam J. M.* A numerical study into the evolution of loads on shores and slabs during construction of multistorey buildings. Comparison of partial striking with other techniques // *Eng. Struct.* 2010. Vol. 32. Iss. 10. Pp. 3093—3102.
13. *Уткина В. Н., Безрукова Е. С.* Моделирование процесса возведения высотного каркасно-монолитного здания // *Эксперт: теория и практика*. 2020. № 4(7). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-protsessa-vozvedeniya-vysotnogo-karkasno-monolitnogo-zdaniya>.
14. *Городецкий А. С., Лазарев А. А.* «Мономах-САПР» — программный комплекс для автоматизированного проектирования железобетонных и армокаменных конструкций многоэтажных каркасных зданий // *Новые компьютерные технологии*. 2011. № 1(9). С. 38—41.
15. *Бабушкина Д. Р., Грязнов С. Ю., Уткина В. Н.* Проектирование монолитных железобетонных плит перекрытий высотного жилого комплекса с применением ПК «Мономах-САПР» // *Огарев-Online*. 2020. № 3(140). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-monolitnyh-zhelezobetonnyh-plit-perekrytiy-vysotnogo-zhilogo-kompleksa-s-primeneniem-pk-monomah-sapr>.
16. Сравнительный анализ результатов расчета системы «здание — основание», представленной в виде слоистой модели / В. А. Пшеничкина, С. С. Рекунов, С. Ю. Иванов, А. С. Жиденко, М. Чанчан, С. Хамиси // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2023. Вып. 1(90). С. 43—53.
17. *Габова В. В., Быкодеров М. В., Кашина Е. С.* Анализ взаимного влияния многоэтажного жилого дома и близкорасположенного подземного автопаркинга // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2024. Вып. 2(95). С. 90—98.
18. *Игнатьев А. В.* Метод конечных элементов в форме классического смешанного метода (особенности и возможности применения) // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2015. № 3(260). С. 55—60.
19. *Liu X. L., Chen W. F.* Effect of creep on load distribution in multistory reinforced concrete buildings during construction // *Struct. J.* 1987. Vol. 84. Iss. 3. Pp. 192—200.
20. *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. Iss. 4. Pp. 121—124.

21. Ухов С. Б. Расчет сооружений и оснований методом конечных элементов. М. : МИСИ, 1973. 118 с.

© Габова В. В., Быкодеров М. В., Кашина Е. С., Сухин К. А., Вильгельм Ю. С., Власов В. Н., 2024

Поступила в редакцию
в сентябре 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Сравнительный анализ влияния учета стадийного возведения железобетонного каркаса многоэтажного здания на напряженно-деформированное состояние ростверка / В. В. Габова, М. В. Быкодеров, Е. С. Кашина, К. А. Сухин, Ю. С. Вильгельм, В. Н. Власов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 4(97). С. 31–40. DOI: 10.35211/18154360_2024_4_31.

Об авторах:

Габова Виктория Викторовна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; gabovavv@yandex.ru

Быкодеров Максим Викторович — канд. техн. наук, эксперт по разделу «Конструктивные решения», Автономное учреждение Ямало-Ненецкого автономного округа «Управление государственной экспертизы проектной документации» (АУ ЯНАО «Управление ГЭПД»); bmvwww@gmail.com

Кашина Екатерина Сергеевна — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; keit_cat08@mail.ru

Сухин Кирилл Александрович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; suhin.kirill@mail.ru

Вильгельм Юрий Степанович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Власов Владимир Николаевич — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Victoria V. Gabova^a, Maksim V. Bykoderov^b, Ekaterina S. Kashina^a, Kirill A. Suhin^a,
Yurij S. Wilgelm^a, Vladimir N. Vlasov^a**

^a *Volgograd State Technical University*

^b *AU YANAO "GEPD Management"*

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE IMPACT OF THE CONSTRUCTION OF REINFORCED CONCRETE OF A MULTISTORY BUILDING ON THE STRESS-DEFORMED STATE OF GRILLAGE

A comparative analysis of the results of the calculation schemes of a monolithic reinforced concrete building with a given soil base using the classical method and taking into account the stage-by-stage construction in the MONOMAKH software package is presented. The method of performing the calculation is given, taking into account its features. The study is aimed at studying and comparing the stress-strain state of the grillage of a building with various variants of design schemes.

Key words: non-linearity, stadional construction, stress-deformed state, spatial scheme, monolithic concrete frame, finite element method.

For citation:

Gabova V. V., Bykoderov M. V., Kashina E. S., Suhin K. A., Wilgelm Yu. S., Vlasov V. N. [Comparative analysis of the impact of the construction of reinforced concrete of a multistory building on the stress-deformed state of grillage]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2024, iss. 4, pp. 31—40. DOI: 10.35211/18154360_2024_4_31.

About authors:

Victoria V. Gabova — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; gabovavv@yandex.ru

Maksim V. Bykoderov — Candidate of Engineering Sciences, Autonomous institution of the Yamal-Nenets autonomous district "Management of state expertise of project documentation" (AU YANAO "GEPD Management"); bmvwww@gmail.com

Ekaterina S. Kashina — Master's Degreee student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; keit_cat08@mail.ru

Kirill A. Suhin — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; suhin.kirill@mail.ru

Yurij S. Wilgelm — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Vladimir N. Vlasov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation