

УДК 624.131.54 (075.8)

DOI: 10.17213/mgvgif/2026-5-544-554

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФУНДАМЕНТОВ КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

Н. А. Петракова

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры – филиал НИУ
МГСУ, г. Макеевка, Россия

Аннотация. Представлены результаты расчета фундаментов здания с каркасной конструктивной схемой в соответствии с требованиями нормативных документов Российской Федерации и Еврокода 7 «Геотехническое проектирование». В процессе проведения исследований расчеты выполнялись как по упрощенным методикам, так и из совместного расчета системы «основание-фундамент-верхнее строение». По результатам исследований проведен сопоставительный анализ конструктивных параметров фундаментов каркасного здания, представлены выводы, касающиеся особенностей проектирования оснований и фундаментов по региональным и используемым в странах-партнерах нормативным документам.

Ключевые слова: геотехнические расчеты, столбчатый фундамент, фундамент мелкозаложенного, осадка основания, основание

RESEARCH ON THE INTERACTION PARAMETERS OF THE FOUNDATIONS OF A FRAME BUILDING USING VARIOUS REGULATORY DOCUMENTS

N. A. Petrakova

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture – branch of Moscow State University of Civil Engineering (MGSU), Makeevka, DPR, Russia

Annotation. The results of the calculation of the foundations of a building with a frame structural scheme are presented in accordance with the requirements of the regulatory documents of the Russian Federation and Eurocode 7 "Geotechnical Design". During the research, the calculations were performed using both simplified methods and the joint calculation of the "base-foundation-superstructure" system. Based on the research results, a comparative analysis of the structural parameters of the foundations of a frame building was conducted, and conclusions were drawn regarding the design of bases and foundations based on regional and partner countries' regulatory documents.

Keywords: geotechnical calculations, columnar foundation, shallow foundation, foundation settlement, foundation

Введение

В процессе интеграции в Евразийский экономический союз, Шанхайскую организацию сотрудничества возникает необходимость корреляции региональных нормативных документов с международными стандартами расчета и проектирования оснований и фундаментов зданий и сооружений. В связи с чем актуальным является анализ результатов расчетов, проведенных с использованием региональных и принятых в практике проектирования.

Основная часть

В качестве объекта исследований рассматривалось здание 5-этажного жилого дома, расположенное в г. Донецке. Фундаменты устроены в виде монолитных железобетонных столбчатых фундаментов из бетона класса С20/25.

Геологический разрез представлен четырьмя инженерно-геологическими слоями с различными физико-механическими условиями. При инженерных изысканиях грунтовые воды встречены на глубине 7,0 м. Основание под фундаментами представлены глиной тугопластичной, мощность слоя 6 м.

Нагрузки, действующие на обрез фундаментов.

1. Фундамент Фм-1:

- вертикальная составляющая нагрузки $N = 1858,12$ кН;
- горизонтальная составляющая нагрузки $Q_z = 4,13$ кН;
- горизонтальная составляющая нагрузки $Q_y = 27,24$ кН;
- моментная нагрузка $M_z = 30,7$ кНм;
- моментная нагрузка $M_y = 4,25$ кНм.

2. Фундамент Фм-2:

- вертикальная составляющая нагрузки $N = 905,0$ кН;
- горизонтальная составляющая нагрузки $Q_z = 6,2$ кН;
- горизонтальная составляющая нагрузки $Q_y = 30,5$ кН;
- моментная нагрузка $M_z = 60,2$ кНм;
- моментная нагрузка $M_y = 6,0$ кНм.

Проектирование фундаментов по Европейским нормам [1–5] относится к геотехническому проектированию. Во всех случаях расчеты выполняются по предельным состояниям: *ULS* — несущей способностью грунта основания и материала тела фундамента и *SLS* — по эксплуатационной пригодности (по этому предельному состоянию рассчитывают осадку основания). Основным отличием от российских норм является то, что определение геометрических размеров фундамента выполняют расчетом по несущей способности основания, когда предельная несущая способность, уменьшенная на частичный коэффициент, используется как допустимая нагрузка на грунт несущего слоя. Необходимо отметить, что расчетное сопротивление грунта R , теоретическое обоснование которого было выполнено проф. Н. П. Пузыревским в 1923 г. [6] и со временем претерпело корректировку на практике, в большинстве стран мира, не используется в практике проектирования.

В рамках исследований столбчатые фундаменты были рассчитаны по нескольким схемам. Первая — прямым методом по *EN* [1] по группе предельных состояний несущей способности (*ULS*). Расчет выполнялся по предельному состоянию *STR/GEO* — несущая способность с учетом геотехнических воздействий [4]. Поскольку фундамент железобетонный, то удельный

вес железобетона принимаем $\gamma_{ck} = \gamma_m = 25 \text{ кН/м}^3$. Расчет фундамента производился с использованием трех проектных подходов. Каждый из подходов отличался сочетанием частичных коэффициентов, применяемых в процессе геотехнического проектирования. Они относятся к расчетным значениям нагрузок, обозначенных в *EN* [1–5] как набор множества коэффициентов с индексом *A*; грунта (материалов за *EN*) и множеств, обозначенных индексом *M*; сопротивления конструкции или основания – с множеством, обозначенных индексом *R*. Коэффициенты принимались по таблицам в приложении к *EN* (например, A3 и A4).

Предварительные размеры фундамента в плане были приняты 2,3×2,3 м.

Осадка основания в соответствии с Еврокодом 7 [1–5] определялась, как сумма осадок моментальной осадки, осадки, которая вызвана консолидацией грунта осадки, вызванной ползучестью скелета грунта. При этом толщина сжатой зоны определялась условно, когда эффективные напряжения в грунтовом массиве не превышает 20 % нестатического значения (по СП [6] давления от собственного веса грунта σ_{zg}). Величина допустимой осадки S_{cd} в соответствии с *EN* 1997 [6] устанавливается проектировщиком с учетом конструктивного решения сооружения и требований к его эксплуатации (в СП [6] значение S_u , что есть аналогом S_{cd} , жестко заданные в таблицах [6] зависимо от конструкции сооружения как средние S_u или максимальные величины $S_{max,u}$ допустимой осадки). Расчеты выполнялись для различных «комбинаций действий» (терминология принята в соответствии с *EN* 1997 [4]).

Вторая схема — в соответствии с требованиями СП22 [6] с учетом предварительно вычисленных нагрузок на обресе фундамента для различных сочетаний нагрузок. Были определены размера подошвы фундаментов в плане, значения деформаций основания. Осадка основания определялась методом послойного суммирования для модели упругого полупространства.

Следующим этапом исследований было моделирование пространственной схемы здания с учетом совместной работы основания-фундамента — верхнее строение с использованием программного комплекса Лира-САПР [7–9]. Параметры фундаментов и оснований назначались в соответствии с предварительно выполненными расчетами по *EN* 1997 [1–5] и СП22 [6]. Фундаменты, плиты перекрытия и покрытия, диафрагмы жесткости моделировались с использованием плоских континуальных элементов. Упругие свойства основания учитывались при помощи переменного коэффициента жесткости основания, который определялся, как соотношение давлений под подошвой фундамента к значению осадки основания.

Коэффициенты жесткости основания для вычисления осадок представлены в табл. 1.

Таблица 1. Коэффициенты жесткости основания для вычисления осадок

Обозначения	Фундаменты по EN	Фундаменты по СП
	Столбчатый 2,5×2,5 м	Столбчатый 2,6×2,6 м
s , м	0,083	0,0564
P , кПа	419,7	304,9
C_z , кН/м ³	5057	5406
	Столбчатый 1,65×1,65 м	Столбчатый 1,85×1,85 м
s , м	0,047	0,04
P , кПа	354,2	294,4
C_z , кН/м ³	7536	7360

Колонны моделировались в виде стержневых элементов.
Расчетная схема представлена на рис. 1.

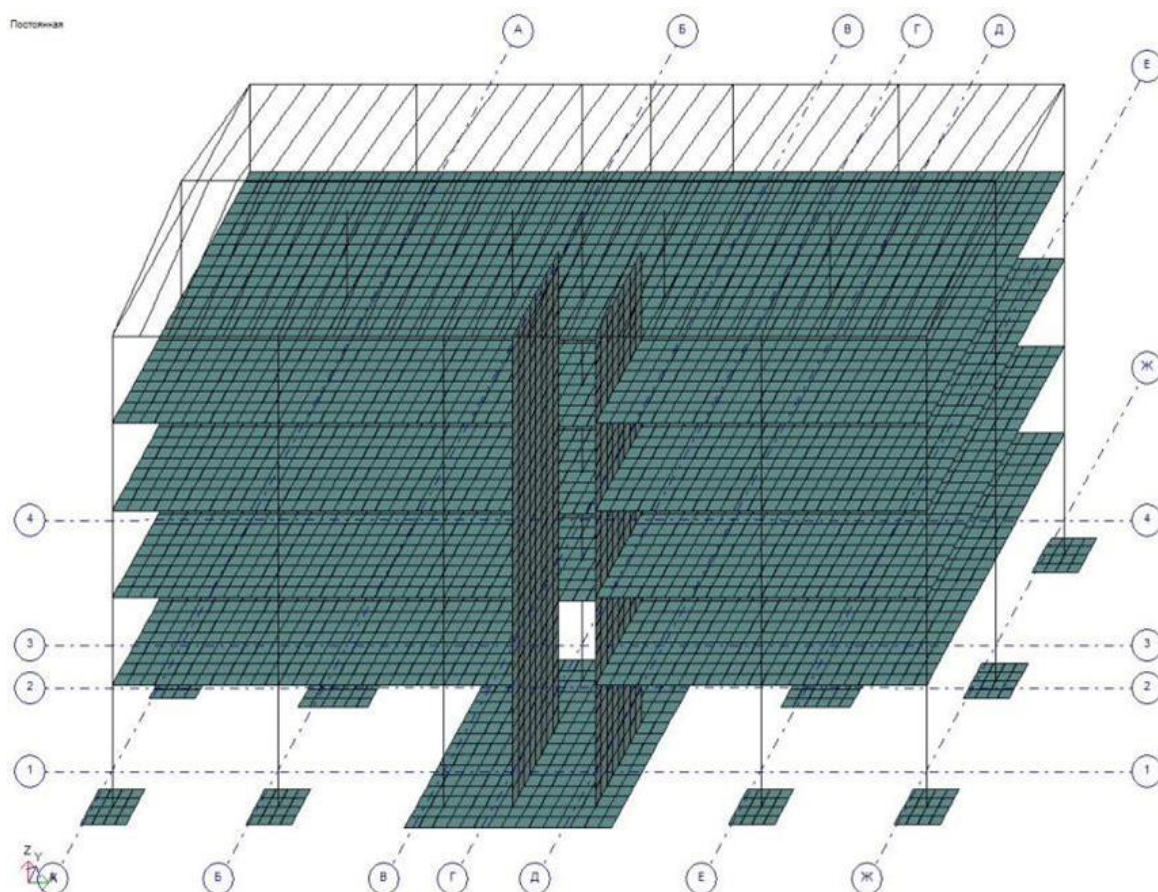


Рис. 1. Конечно-элементная модель здания

По результатам расчетов были получены следующие данные. Осадки, крены фундаментов, параметры которых вычислены в соответствии с EN 1997 [4], представлены на рис. 2 и 3.

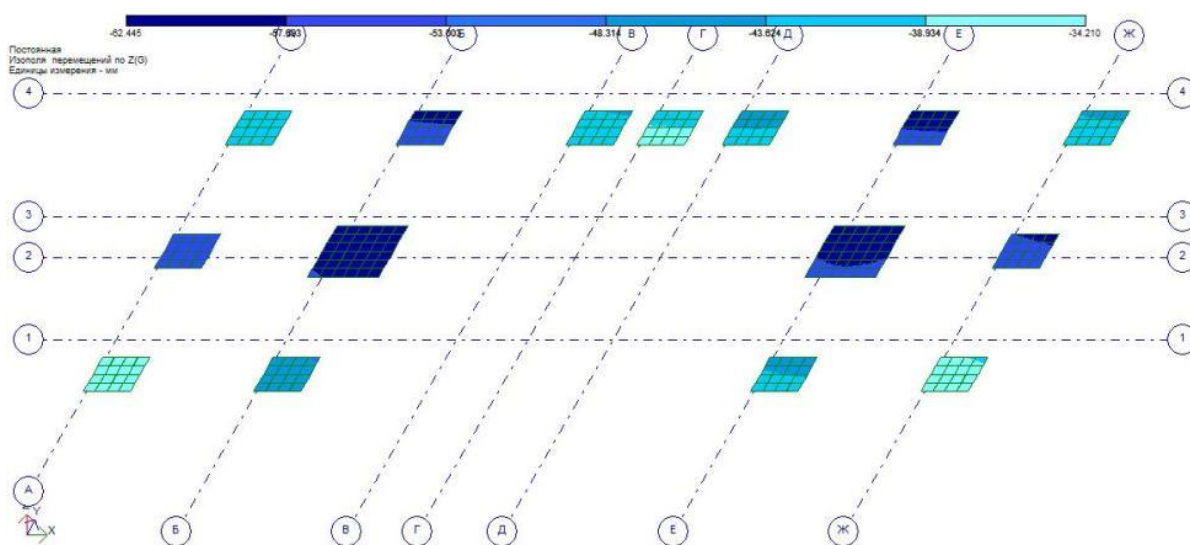


Рис. 2. Осадки основания по EN

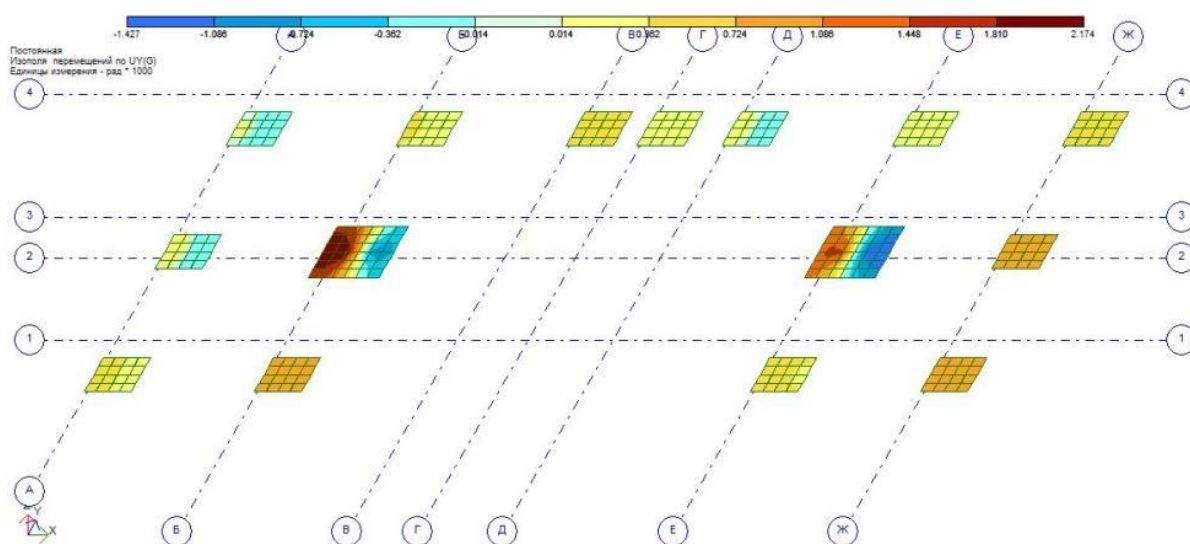


Рис. 3. Крены фундаментов по EN

Изгибающие моменты в фундаментах, параметры которых определены по *EN* 1997 [1–5], представлены на рис. 4.

Усилия в конструкциях надземной части здания (колоннах и плитах перекрытия) — на рис. 5, 6.

Данные по результатам расчетов совместного расчета системы «основание-фундамент-верхнее строение» с учетом параметров основания и фундаментов, определенных на основании СП [6] представлены на рис. 7–11.

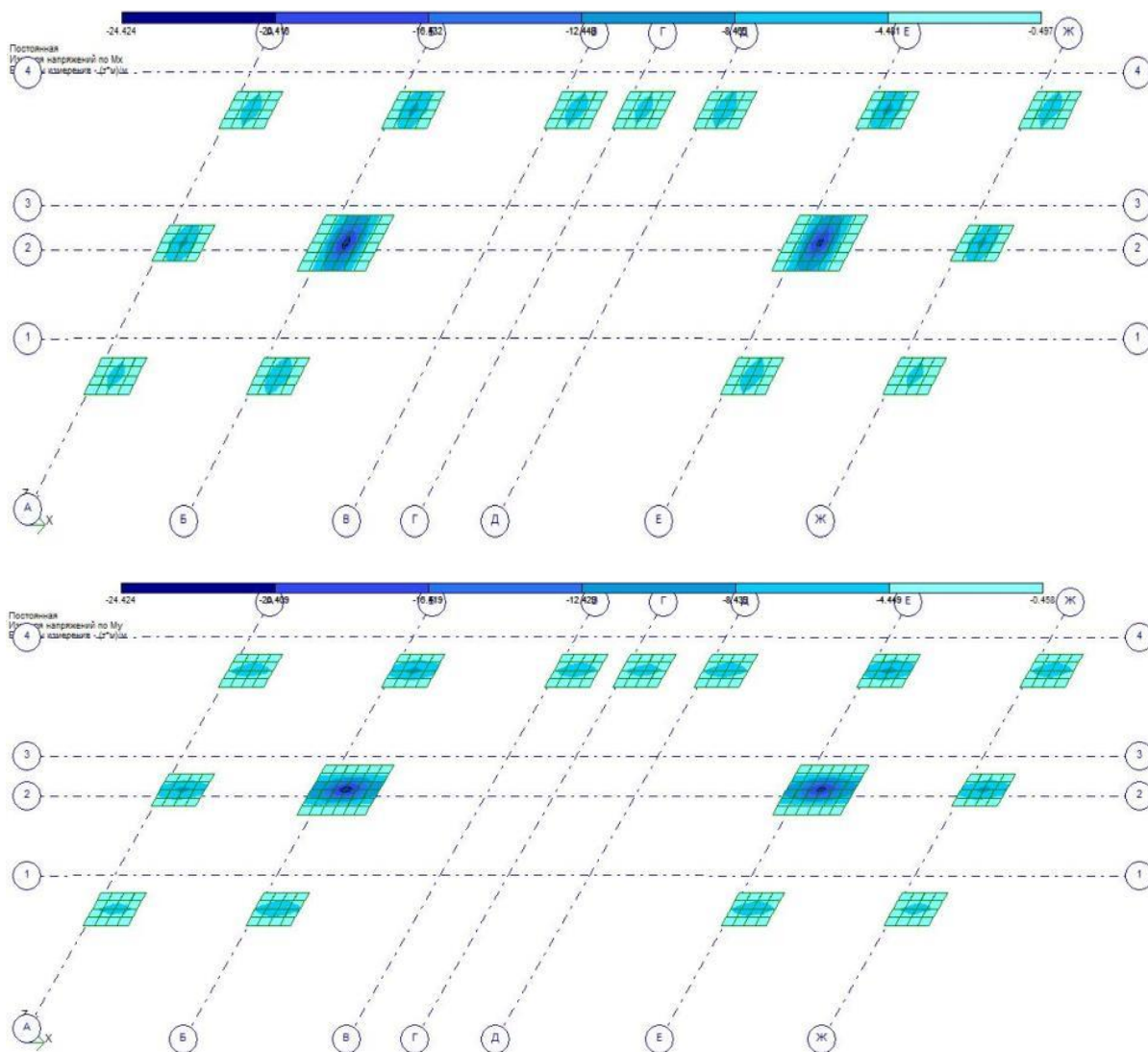


Рис. 4. Изгибающие моменты в фундаментах по осям X и Y (по EN)

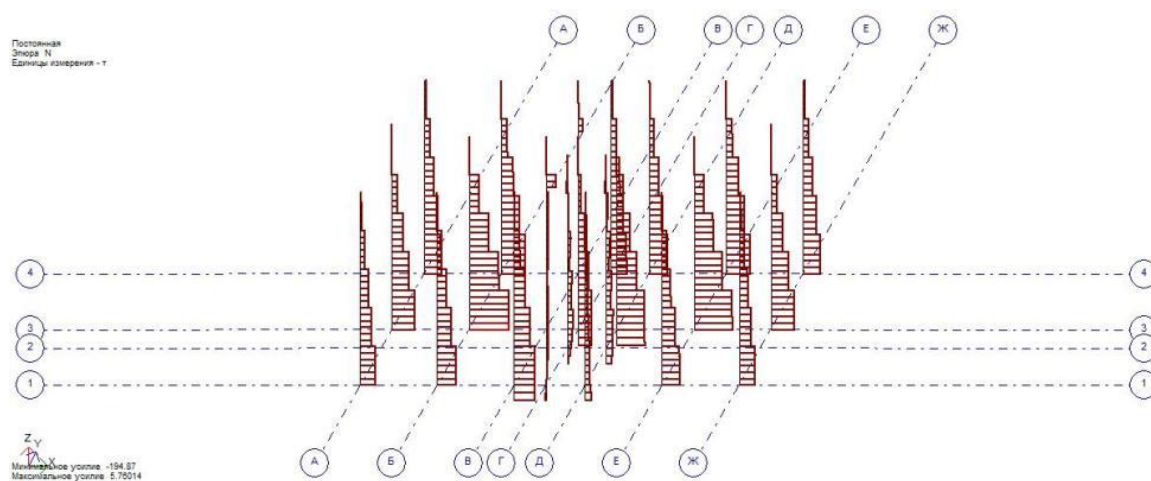


Рис. 5. Усилия в колоннах здания (параметры фундаментов определены с учетом требований EN)

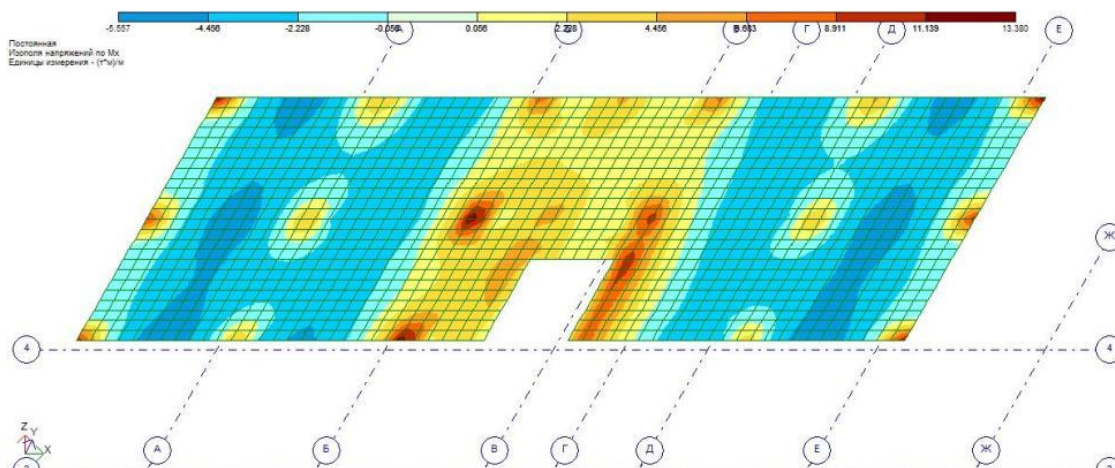


Рис. 6. Усилия в плитах перекрытия (параметры фундаментов определены с учетом требований EN)

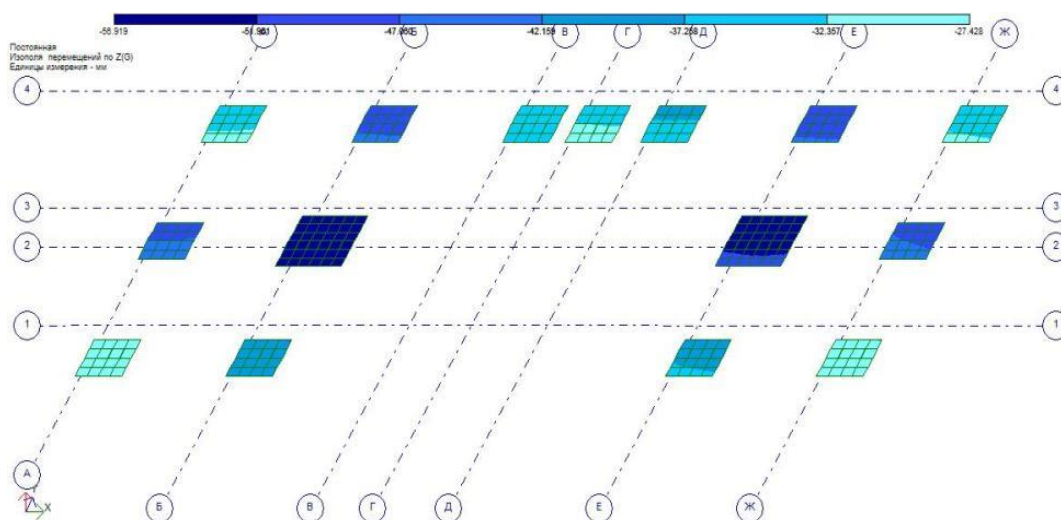


Рис. 7. Осадки основания по СП

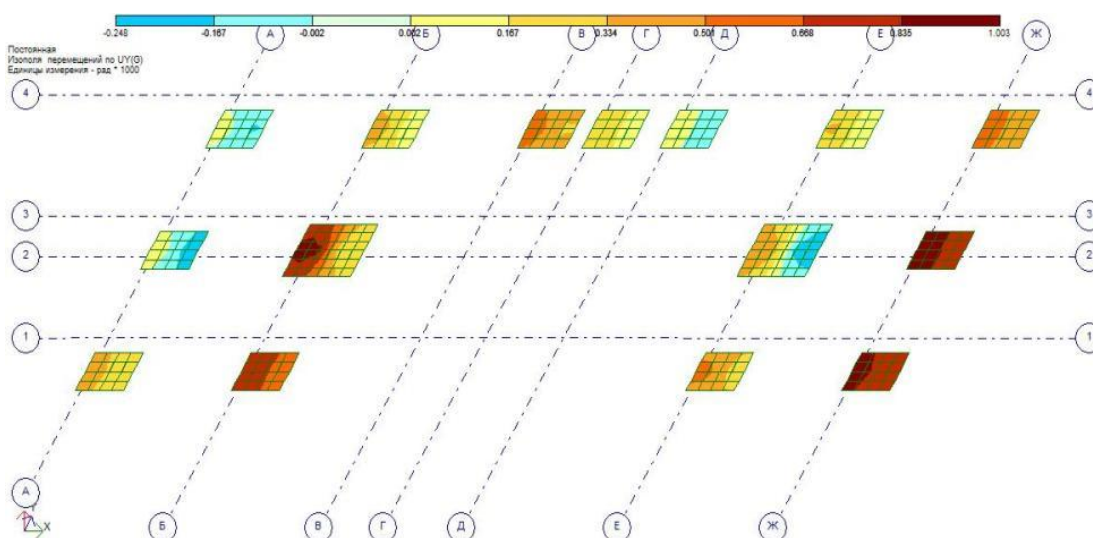


Рис. 8. Крены фундаментов (по СП)

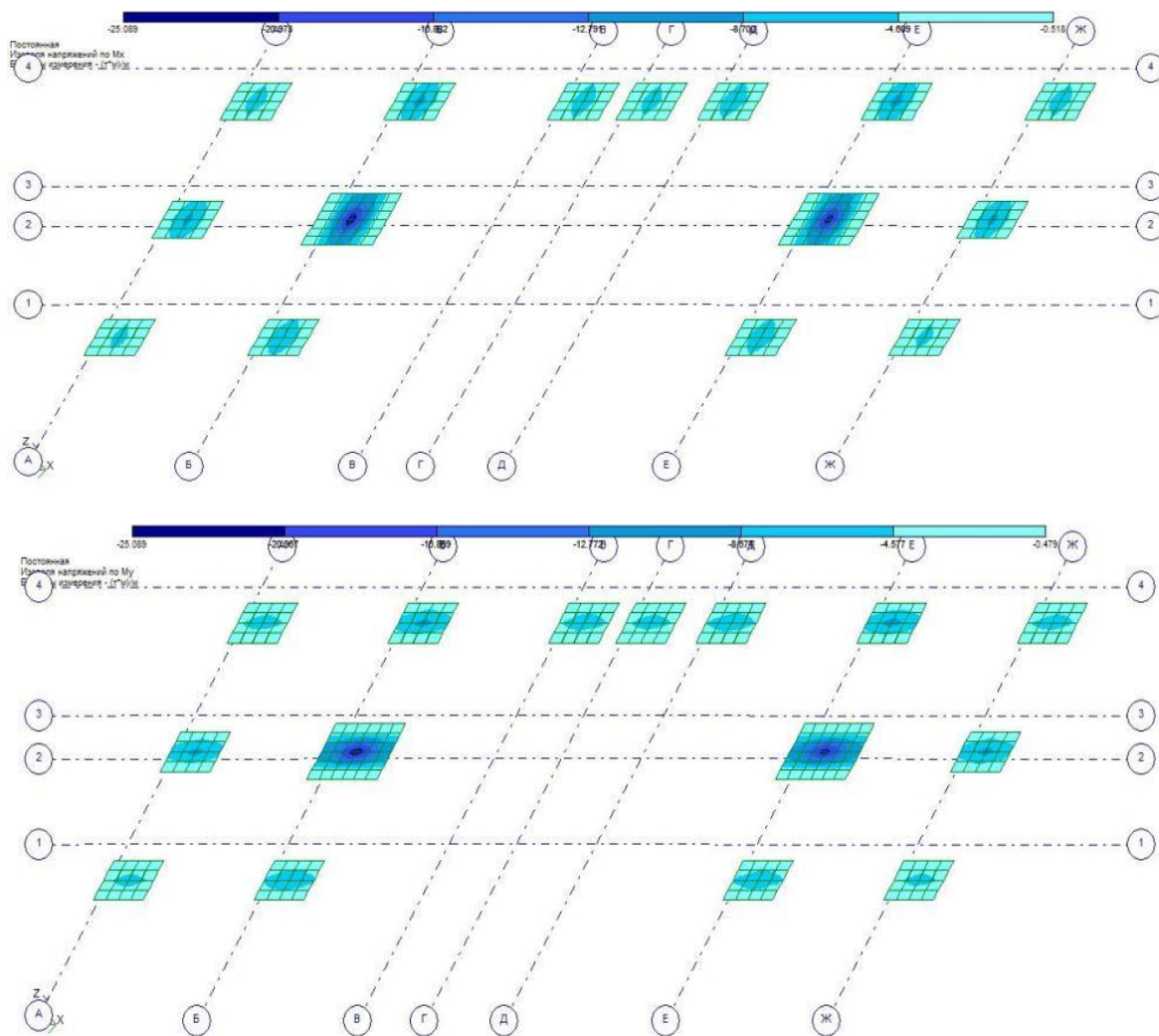


Рис. 9. Изгибающие моменты в фундаментах по осям X и Y (по СП)

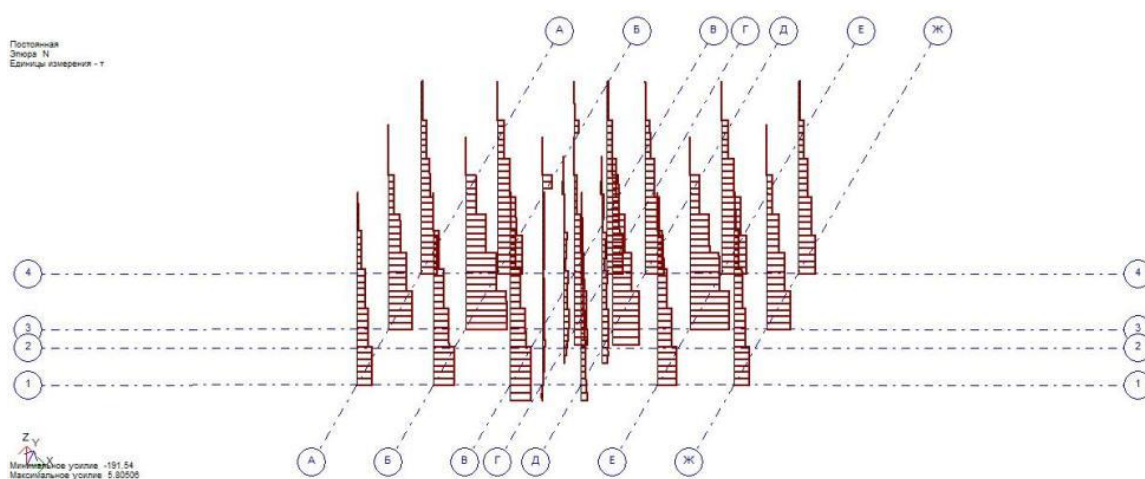


Рис. 10. Усилия в колоннах здания (пар 1 здания
(параметры фундаментов определены с учетом требований СП)

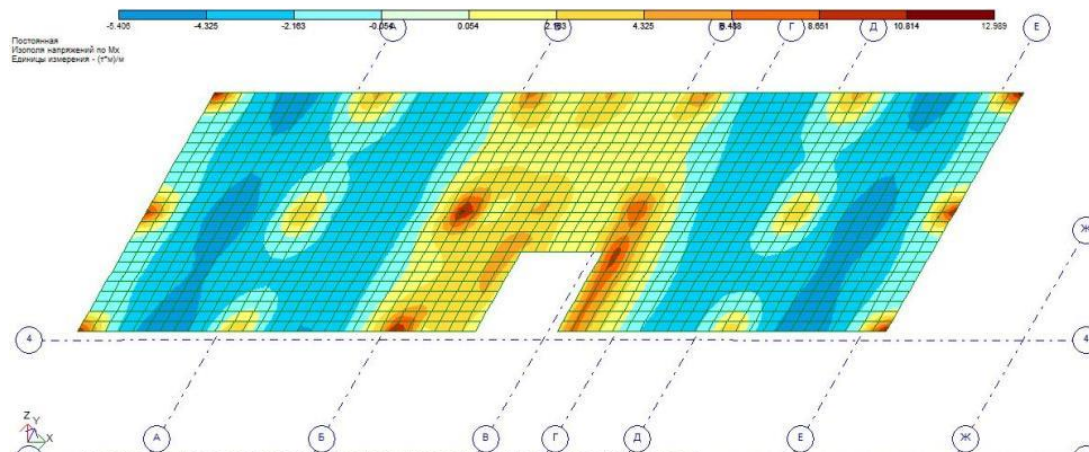


Рис. 11. Усилия в плитах перекрытия (параметры фундаментов определены с учетом требований СП)

Сводная таблица по всем анализируемым схемам представлена в табл. 2.

Таблица 2. Сводная таблица по всем анализируемым схемам

Обозначения	Расчет фундаментов по EN-1997-1		Расчет фундаментов по СП	
Фундаменты столбчатые $b = l$, м	$1,65 \times 1,65$ м, $h_f = 0,5$ м	$2,5 \times 2,5$ м, $h_f = 0,3$ м	$1,85 \times 1,85$ м, $h_f = 0,6$ м	$2,6 \times 2,6$ м, $h_f = 0,6$ м
Z, см	5,7	6,2	4,8	5,6
M_x , (Т·м)/м	-10,3	-24,1	-11,4	-23,0
M_y , (Т·м)/м	-10,7	-24,8	-11,9	-25,6

Армирование фундаментов на один погонный метр (см. табл. 3). Расчеты выполнялись в соответствии с [10]. Арматура подобрана по ГОСТ 34028-2016.

Расчет фундаментов по EN				Расчет фундаментов по СП			
A_s , см ²	$1,65 \times 1,65$ м, $h_f = 0,5$ м	A_s , см ²	$2,5 \times 2,5$ м, $h_f = 0,6$ м	A_s , см ²	$1,85 \times 1,85$ м, $h_f = 0,6$ м	A_s , см ²	$2,6 \times 2,6$ м, $h_f = 0,6$ м
7,04	5Ф 14 A-400C	29,4	5Ф 28 A-400C	7,27	5Ф 14 A-400C	10,05	5Ф 16 A400C
A_s , см ²	1,4 м, $h_f = 0,5$ м	A_s , см ²	2,7 м, $h_f = 0,5$ м	A_s , см ²	1,6 м, $h_f = 0,5$ м	A_s , см ²	2,4 м, $h_f = 0,5$ м
7,8	5Ф 16 A400C	19,3	5Ф 25 A-400C	8,6	5Ф 16 A-400C	16,1	5Ф 22 A-400C

Заключение

По результатам исследований могут быть сформулированы следующие выводы.

1. Показателем, который указывает на уровень реализации несущей способности основания и достаточность принятых геометрических размеров фундамента, является коэффициент использования Δ_{GEO} , который почти во всех случаях значительно ниже 100 %. Были случаи превышения пре-

дельного состояния, вследствие чего был выполнен перерасчет фундаментов с изменением геометрических характеристик подошвы фундамента и перерасчеты несущей способности основания. Основные выводы неоднозначны в связи с тем, что при расчете по *EN* или СП мы получили различные конструктивные параметры фундаментов мелкого заложения.

2. При расчете столбчатых фундаментов по *EN* размеры фундаментов получились меньше, за счет чего сокращается расход бетона на 11 % по сравнению с фундаментами, рассчитанные по СП.

3. При анализе полученных геометрических параметров фундаментов в ПК Лира было установлено, что экономия бетона за счет меньшей толщины плит влияет на объем требуемой площади арматуры на погонный метр.

4. По результатам расчетов установлено, что площадь арматуры увеличивается при расчете фундаментов по региональным нормам.

5. Уменьшение размеров фундаментов при расчете по Европейским нормативным документам можно объяснить более гибким подходом к проектированию строительных конструкций. В основе трех основных подходов расчета оснований и фундаментов по *EN* [5] заложен принцип вариативности коэффициентов надежности по нагрузке и по грунту, что не предусматривается региональными нормативными документами.

Список источников

1. Франк Р. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 7: Геотехническое проектирование. Руководство для проектировщиков к EN 1997-1. Еврокод 7: Геотехническое проектирование – общие правила / Пер. с англ. Р. Франк и др.; ред. серии Х. Гульванесян; науч. ред. пер. А. З. Тер-Мартirosян, А. Ю. Мирный, В. В. Сидоров. – М.: МГСУ, 2013. – 360 с.

2. Кравцов, В. Н. Практика применения Еврокода 7 в Республике Беларусь и сравнительный анализ расчетов фундаментов по европейским и национальным нормам / В. Н. Кравцов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2019. – № 8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/praktika-primeneniya-evrokoda-7-v-respublike-belarus-i-sravnitelnyy-analiz-raschetov-fundamentov-po-evropeyskim-i-natsionalnym> (дата обращения: 30.04.2026).

3. Modern Geotechnical Design codes of practice. Implementation, application, and development / P. Arnold et al. – Amsterdam: IOS press, 2013. – 331 p.

4. Шевляков В. Ф. Строительные конструкции (лекции по нормам Республики Казахстан расчёта конструкций, идентичным Еврокодам): учеб. пособие / В. Ф. Шевляков. – Усть-Каменогорск, «ВКПК АРГО», 2021. – 111 с.

5. Адаптация Еврокода «Геотехника-7» в строительных нормах Республики Казахстан / А. Абдыгалиев, А. Жакулина, С. Жаутикова, А. Есентаев // Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University Technical Science and Technology Series, 132(3). <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2020-132-3-%p>

6. Петраков, А. А. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Фундаменты мелкого заложения: учеб.-метод. пособие по дисциплине "Основания и фундаменты зданий и сооружений" для выполнения курсового проекта по дисциплине «Основания и фундаменты зданий и сооружений» для студентов, обучающихся по направлению

08.03.01 «Строительство», профиль "Промышленное и гражданское строительство", квалификация «бакалавр» / А. А.Петраков, Н. А.Петракова, М. Д. Панасюк; ФГБОУ ВО «ДОННАСА». – Макеевка, 2024. – 85 с.

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. – Изд-во LIRALAND, 2019. – 154 с.

8. Филиппов, А. Н. Модели грунта, представленные в программном комплексе «Лира-САПР» и «Midas GTX NX» / А. Н. Филиппов // Научные исследования XXI века. – 2021. – № 2 (10). – С. 153–157.

9. Нагрузова, Л. П. Железобетонные и каменные конструкции: учебник / Л. П. Нагрузова, Р. С. Федюк. – М., Вологда: Инфра-Инженерия. – 2025. – 288 с. – Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/154420.html> (дата обращения: 17.09.2025).

© Петракова Н. А., 2026