

Худяков Александр Владимирович

кандидат технических наук,

Тамбовский государственный технический университет

Курочкина Марина Владимировна

магистрант 2-го курса обучения,

Тамбовский государственный технический университет

Артюхин Александр Михайлович

магистрант 2-го курса обучения,

Тамбовский государственный технический университет

Хаустов Сергей Валерьевич

магистрант 2-го курса обучения,

Тамбовский государственный технический университет

Зайцев Константин Владимирович

магистрант 2-го курса обучения,

Тамбовский государственный технический университет

**ВАРИАНТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНОГО РЕ-
ШЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОН-
НОГО СИЛОСА В ПРОГРАММЕ ЛИРА-САПР С ТЕХНИКО-
ЭКОНОМИЧЕСКИМ ОБОСНОВАНИЕМ**

Основными направлениями современного строительства специальных инженерных сооружений является реализация проектов на площадках со сложными инженерно-геологическими условиями.

Такие тенденции требуют решения разноплановых задач, связанных с проектированием конструктивно надежных и экономически обоснованных конструкций фундаментов, способных выдержать нагрузку от всех вышележащих конструкций сооружения и передавать ее на более

прочные слои основания, либо же равномерно распределять ее, перераспределяя усилия за счет конструктивного решения фундаментов.

Решение таких задач посредством компьютерного моделирования позволяет детально учесть взаимодействие фундамента с грунтом основания, а также учитывать фактор сложности инженерно-геологических условий строительной площадки.

The main focus of modern construction of specialized engineering structures is the implementation of projects on sites with complex engineering and geological conditions.

These trends require solutions to diverse problems related to the design of structurally reliable and cost-effective foundation structures capable of supporting the loads of all overlying building structures and transferring them to stronger foundation layers, or evenly distributing them by redistributing the forces through foundation design.

Solving such problems through computer modeling allows for a detailed consideration of the interaction between the foundation and the underlying soil, as well as the complexity of the engineering and geological conditions of the construction site.

Ключевые слова: расчет по методу конечных элементов, ростверк, несущая способность свай, осадка фундамента, программный комплекс «ЛИРА-САПР», плитный фундамент, сложные инженерно-геологические условия.

Key words: calculation using the finite element method, rosette, bearing capacity of piles, foundation settlement, LIRA-SAPR software package, slab foundation, complex engineering and geological conditions.

В данном исследовании произведен сравнительный анализ результатов расчета ростверка на свайном основании и плитного фундамента под силос для хранения сахара. Результаты расчета получены с использованием программного комплекса «ЛИРА-САПР».

В качестве объекта исследования выступает фундамент отдельно стоящего цилиндрического силоса высотой 56,20 метра и диаметром 46,80 метра с подсилосным этажом высотой 5,36 метра, проект которого реализуется на территории г. Тамбова.

Исследование производилось посредством программного комплекса «ЛИРА-САПР» при комплексном системы «основание – фундамент – сооружение». Для сравнительного анализа выбраны два варианта конструкции фундаментов, применимые в данных геологических условиях. В качестве основания фундамента выступает суглинок твердый. Инженерно-геологический разрез со схемой глубины заложения фундамента и расположением границ слоев грунта относительно подошвы фундамента представлены на рис. 1.

Для первого варианта рассматривалась аналитическая модель сооружения на податливом основании (взаимосвязь надземной части сооружения через плитный фундамент с основанием осуществляется посредством возможностей системы «ГРУНТ» программного комплекса «ЛИРА-САПР», которая с учетом грунтовых условий и физико-механических характеристик грунта и нагрузки, вычисляет коэффициенты постели C_1 и C_2). Фундаментная плита моделируется в виде пластинчатых элементов на упругом основании. Роль связей с основанием выполняют граничные условия в виде коэффициентов постели.

Для второго варианта рассматривался аналитическая модель сооружения на свайном основании (взаимосвязь надземной части сооружения посредством ростверка и свай с грунтом основания реализуется через одноузловые конечные элемент типа 57 программного комплекса «ЛИРА-САПР» жесткость которых рассчитывается с учетом грунтовых условий и физико-механических характеристик грунта). Ростверк сооружения моделируются в виде пластинчатых элементов, а свай –

цепочками стержней, связанных между собой одноузловыми элементами, которые выполняют роль связей с грунтом основания.

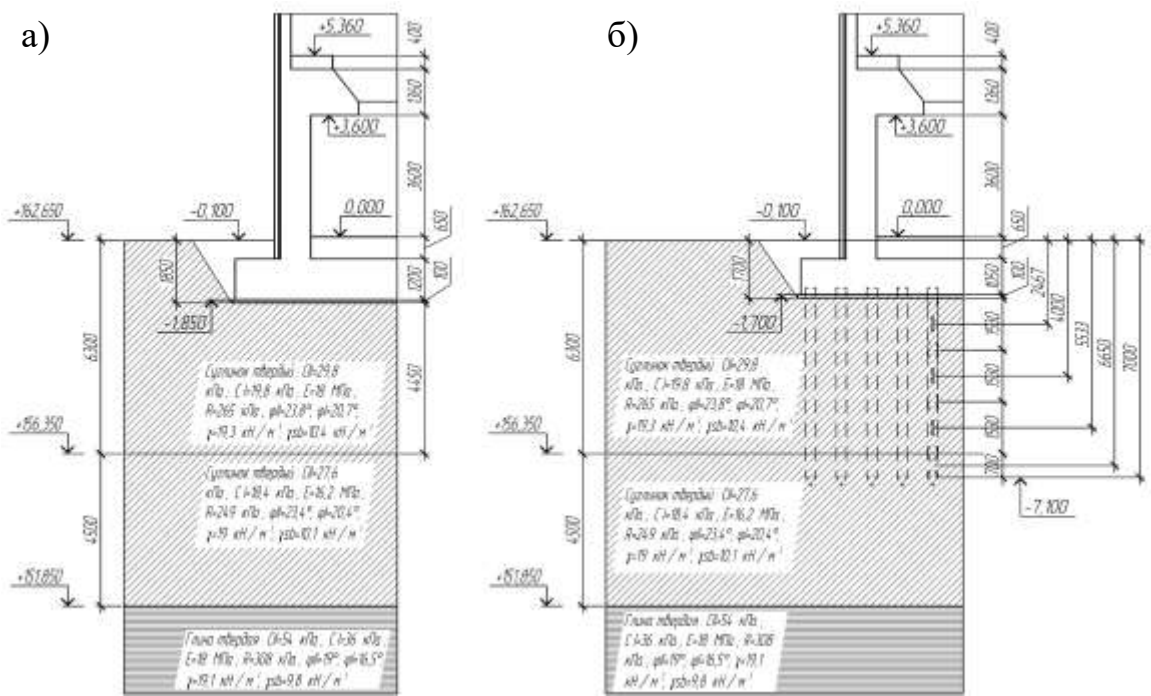


Рис. 1. Схема глубины заложения фундамента и расположение границ слоев грунта относительно подошвы фундамента
а – вариант 1; б – вариант 2

Статический расчет аналитической модели сооружения выполнялся в программном комплексе «ЛИРА-САПР». Нагрузки, действующие на модель, определялись на основе архитектурных решений состава ограждающих конструкций и нормативной документации [1, 2].

Создание архитектурной модели сооружения производилось в ПК «САПФИР», входящей в пакет программы «ЛИРА-САПР», и служащей для создания архитектурной модели сооружения, преобразованием ее в аналитическую модель и последующей передачей в «ЛИРА-САПР» для статического расчета. Архитектурная модель представляет собой совокупность элементов колонн, опорных колец, междуэтажных перекрытий

из монолитного железобетона и несущих стен, а также пластинчатых элементов фундаментов или ростверков [3]. В аналитической модели данные элементы задавались конечными элементами, представленными в табл. 1. Варианты конструктивного решения фундаментов силоса в ПК «ЛИРА-САПР» представлены на рисунке 2.

Таблица 1. Характеристика конечных элементов модели

Элемент модели	Элемент аналитической модели			
	Тип элемента	Жесткость элемента	Признак системы	Степени свободы
1	2	3	4	5
Колонна	Пространственный стержень	Сечение диаметром 1,2 м	КЭ 10	X, Y, Z, U _x , U _y , U _z
Несущая стена	4-х угольный КЭ оболочки	Толщина - 0,32 м	КЭ 44	X, Y, Z, U _x , U _y , U _z
Несущая стена	4-х угольный КЭ оболочки	Толщина - 0,9 м	КЭ 44	X, Y, Z, U _x , U _y , U _z
Опорная кольцо	Пространственный стержень	Сечения размером 0,8х0,9(h) м	КЭ 10	X, Y, Z, U _x , U _y , U _z
Плита перекрытия	4-х угольный КЭ оболочки	Толщина - 1,36 м	КЭ 44	X, Y, Z, U _x , U _y , U _z
Плита фундамента или ростверка	4-х угольный КЭ оболочки	Толщина - 1,2 или 1,05 м	КЭ 44	X, Y, Z, U _x , U _y , U _z
Свая	КЭ 57 и КЭ	Квадратного сечения размером 0,3х0,3 м	КЭ 10 и КЭ 57	X, Y, Z, U _x , U _y , U _z

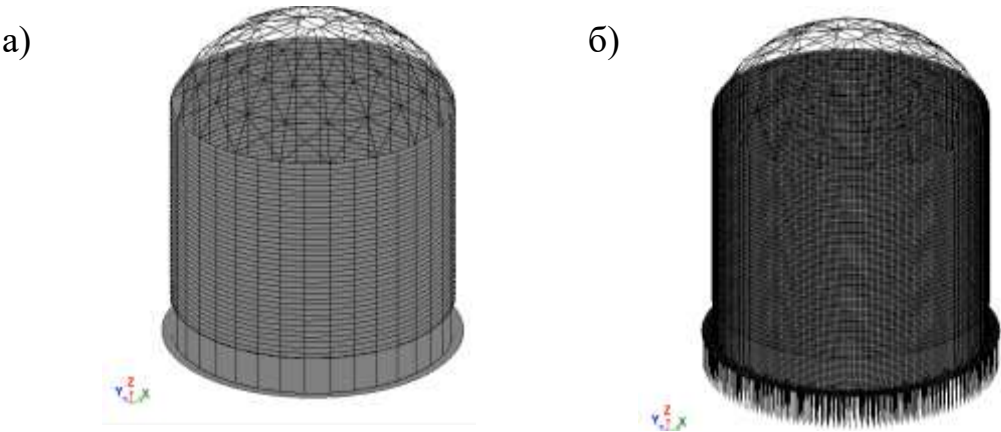


Рис. 2. Варианты конструктивного решения фундаментов силоса в ПК «ЛИРА-САПР»

а – вариант 1; *б* – вариант 2

На рисунках 3 и 4 представлено напряженное состояние фундаментной плиты и ростверка соответственно в виде мозаик изгибающих моментов.

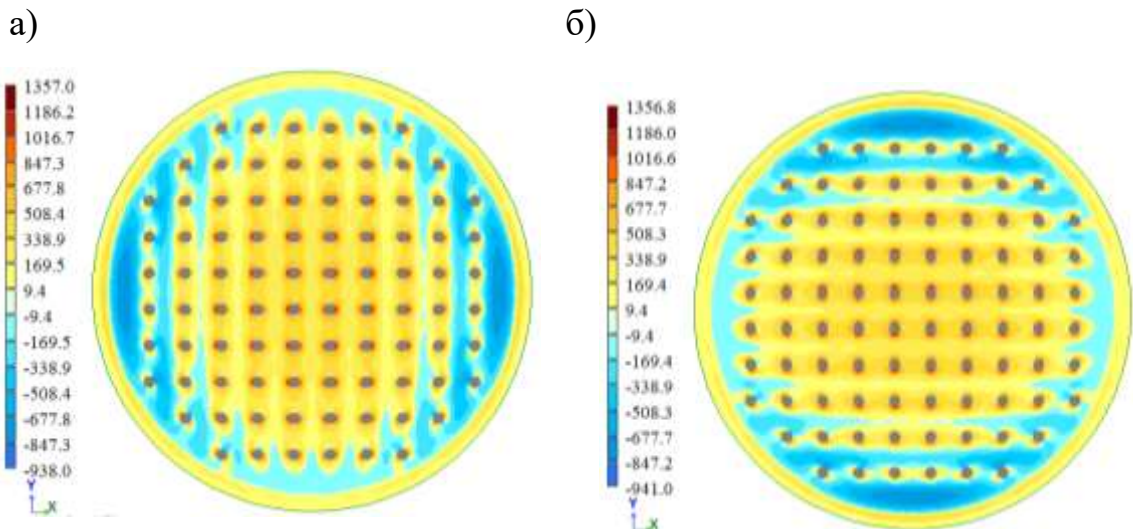


Рис. 3. Мозаики изгибающих моментов в элементах пластин плиты

фундамента ($\text{кН}\cdot\text{м/м}$)

$a - M_x$; $b - M_y$

Анализ результатов расчета, представленных на рисунке рис. 3 показал, что значения мозаик распределения изгибающих моментов в элементах пластин плиты фундамента варьируются в диапазоне – от минус 941 до положительного значения 1357 $\text{кН}\cdot\text{м/м}$ и имеют характер распределения больших отрицательных значений в пролетных частях плиты, в особенности между рядами крайних колонн и наружных стен, а зоны распределения положительных изгибающих моментов находятся в местах сопряжения фундаментной плиты с колоннами.

Как видно из рисунка 4, значения мозаик распределения изгибающих моментов в элементах пластин плиты ростверка варьируются в диапазоне – от минус 1756 до положительного значения 1783 $\text{кН}\cdot\text{м/м}$ и имеют характер распределения больших отрицательных значений в

пролетных частях плиты, в особенности между рядами крайних колонн и наружных стен, а зоны распределения положительных изгибающих моментов находятся в местах сопряжения фундаментной плиты с колоннами.

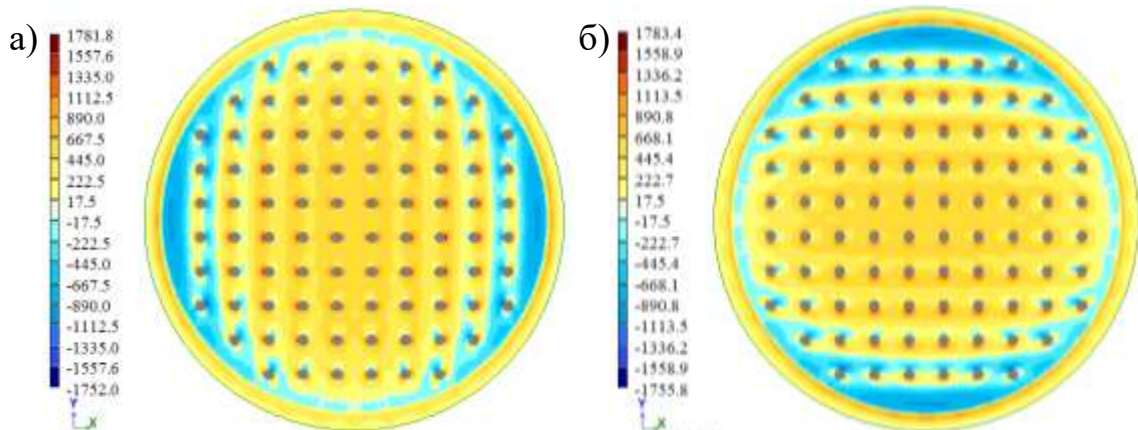


Рис. 4. Мозаики изгибающих моментов в элементах пластин плиты ростверка (кН·м/м)

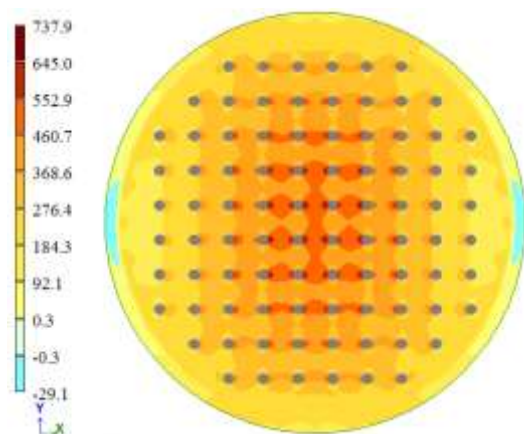
$a - M_x$; $b - M_y$

В целом, ввиду большей жесткости конструкции плитного ростверка совместно со сваями по 2-му варианту, сравнительно с жесткостью плиты фундамента 1-го, ведет к более высоким значениям внутренних усилий, в частности, изгибающих моментов, так значения максимальных изгибающих моментов по обоим направлениям силовых осей конечных элементов пластин по варианту 2 сравнительно с вариантом 1:

- на 87 % больше в отрицательных диапазонах измерения;
- на 32 % меньше в положительных диапазонах измерения.

На рисунках 5 и 6 представлено напряженное состояние фундаментной плиты и ростверка соответственно в виде мозаик нормальных усилий.

а)



б)

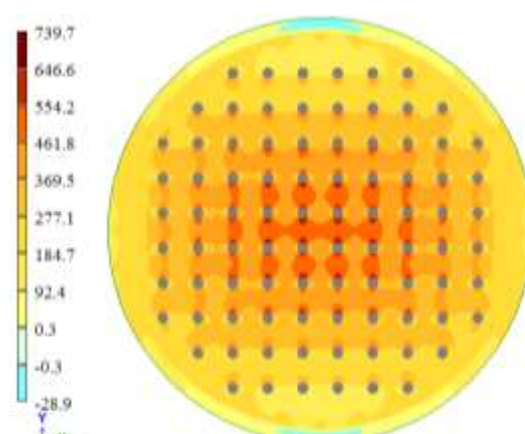


Рис. 5. Мозаики нормальных усилий в элементах пластин плиты фундамента (кН/м^2)

$a - N_x$; $b - N_y$

Анализ результатов расчета, представленных на рисунке рис. 3 показал, что значения мозаик распределения нормальных усилий в элементах пластин плиты фундамента варьируются в диапазоне – от минус 29,1 до положительного значения 740 кН/м^2 и имеют характер распределения больших положительных значений в местах сопряжения плиты фундамента с колоннами, в особенности в центральной части сооружения, куда приходится большая часть нагрузки.

Как видно из рисунка 6, значения мозаик распределения нормальных усилий в элементах пластин плиты ростверка варьируются в диапазоне – от минус 1050 до положительного значения 1560 кН/м^2 и имеют характер распределения больших положительных значений в пролетных частях ростверка, в особенности в центральной части ростверка.

На рисунке 7 для варианта 2 представлены результаты расчета свай: мозаики распределения нагрузок, относительной несущей способности и выборочные результаты по внутренним силовым факторам в теле свай.

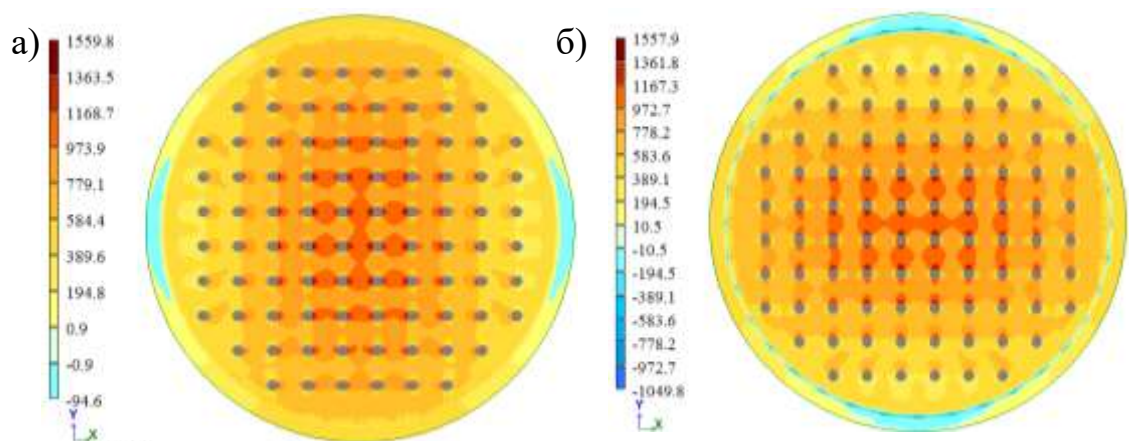


Рис. 6. Мозаики нормальных усилий в элементах пластин плиты роста-
верка (кН/м^2)
 $a - N_x$; $b - N_y$

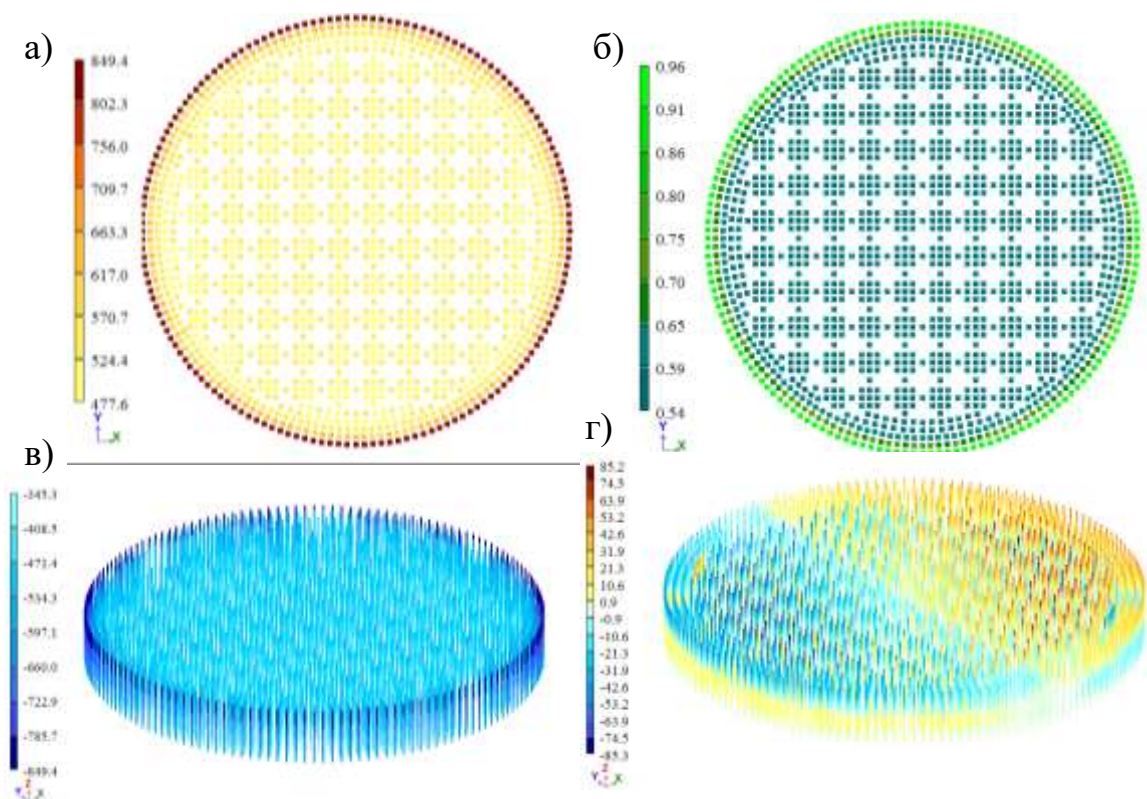


Рис. 7. Результаты расчета свай

a – мозаика распределения нагрузок на сваи, кН ; b – мозаика относи-
тельной несущей способности свай; v – мозаика продольных
усилий, кН ; $г$ – мозаика изгибающих моментов усилий M_z , $\text{кН}\cdot\text{м}$;

Мозаика относительной несущей способности показывает, что нагрузка, действующая на каждую из свай не превосходит несущей способности свай с учетом коэффициента надежности 1,4 [5, 6].

На основании результатов расчета, представленных на рисунке 7, максимальные значения осадок у плит обоих вариантов не превышают значения предельно допустимой осадки, регламентируемой [7] и равной для силовос 15 см.

Данные по осадкам плит фундамента и ростверка представлены на рисунке 8.

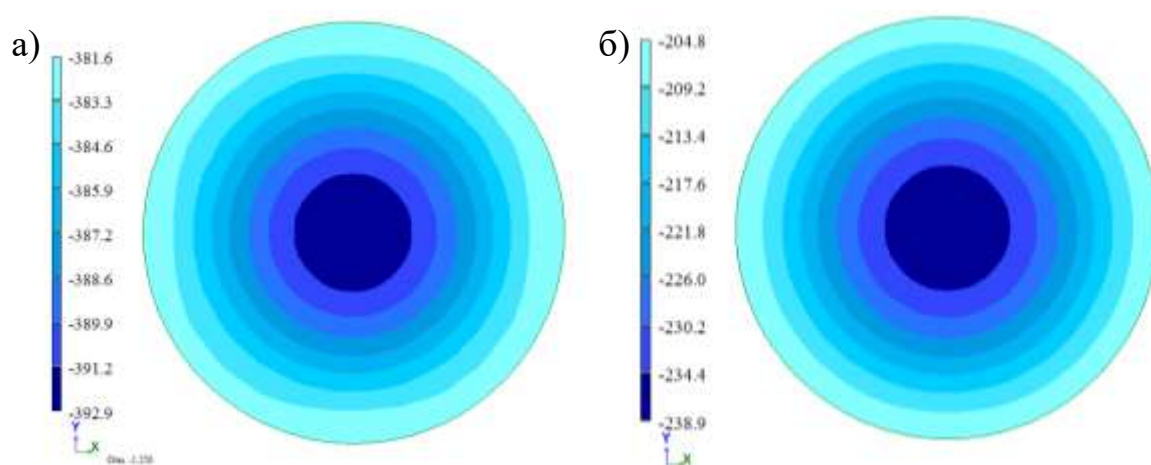


Рис. 8. Относительные вертикальные деформации плиты (мм)

а – вариант 1; *б* – вариант 2

На основании статического расчета и полученных результатов внутренних силовых факторов в конструкциях фундаментов ростверков и свай произведен расчет по материалу, после чего результаты данного расчета передавались в программу «САПФИР-Конструкции» для формирования спецификаций расхода материалов [6, 7] на требуемые несущие конструкции по каждому из вариантов

На основании данных по расходу материалов была рассчитана сметная стоимость на основании ФЕР с учетом коэффициентов пересчета на цены 2026 года базисно-индексным методом [8]. Результаты

технико-экономического сравнения в виде гистограмм представлены на рисунке 9.

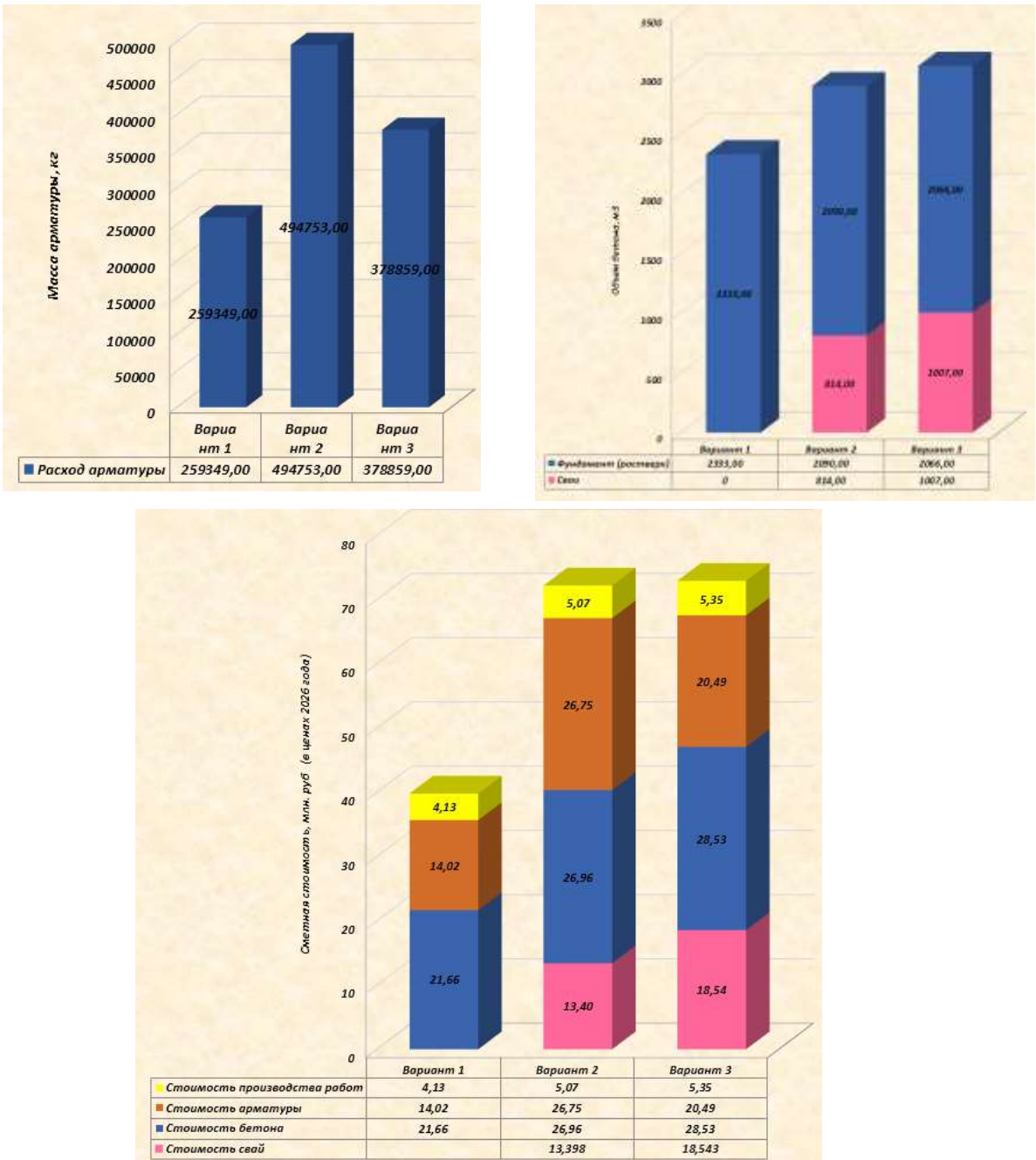


Рис. 9. Гистограммы расхода материалов и сметной стоимости

Как видно из рисунка 11, вариант 1 экономичнее варианта 2 как по расходу бетона и арматуры, так и по стоимости производства работ:

– по расходу бетона экономия составляет 19,7 %;

- по расходу арматуры экономия составляет 47,6 %;
- по сметной стоимости экономия составляет 44,8 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 430.1325800.2018. Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования.
2. СП 20.13330.2017 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*/Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций им. В.А. Кучеренко, 2017.
3. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения/ НИИЖБ им. А. А. Гвоздева. – М.: ФГУП ЦПП, 2019.
4. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. М.: (НИИОСП им. Н. М. Герсенова), 2016
5. Леденев В.В. Несущая способность и деформативность оснований и фундаментов при сложных силовых воздействиях: монография. Тамбов: ТГТУ, 2015. 324с.
6. Мангушев Р.А. Ершов А.В. Основания и фундаменты / Р.А. Мангушев, А.В. Ершов // Методические указания. - СПб.: СПбГАСУ, 2014. - 90 с.
7. Основания и фундаменты / Мангушев, Карлов, Сахаров, Осокин, под ред. Мангушева Р.А. - СПб.: АСВ, 2011. - 394 с. - С. 107-108.
8. Логутин В.В. Оптимизация проектных решений оснований и фундаментов / В.В. Логутин // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». - Институт Государственного управления, права и инновационных технологий (ИГУПИТ). -2012. - № 4.