

УДК 624.07

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МОНОЛИТНОГО КАРКАСА ЗДАНИЯ С СИСТЕМОЙ «DIAGRID»

С.В. Ли¹, О.С. Гамаюнова²

^{1,2} Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)

Аннотация. Строительство многоэтажных зданий уже давно перестало быть грандиозным событием. Назрела необходимость придания внешнему облику многоэтажных зданий уникальности и выразительности, которые контрастировали бы с невыразительной застройкой и диктовали архитектурный стиль улицам. Ввиду этого, одним из главных архитектурных вопросов при проектировании и строительстве зданий повышенной этажности является поиск способов достичь динамичности фасадных систем, придерживаясь как архитектурных и конструктивных требований, так и экономических. В статье представлен сравнительный анализ двух вариантов усиления конструкции многоэтажного здания: увеличение сечения стен ядра жесткости и включение в фасадную систему дополнительных металлических профилей, составляющих треугольную систему «Diagrid». Анализируются такие показатели как: экономичность, эффективность работы несущих конструкций и архитектурная составляющая. Объект исследования представляет собой односекционное многоэтажное здание научно-исследовательского института. В статье приведены результаты расчета усилий и деформаций модели с металлическим каркасом, результаты армирования и расчета усилий здания, дана оценка материалоемкости работ по устройству конструкций здания, а также стоимости производства работ для двух вариантов.

Ключевые слова: многоэтажные здания, уникальные здания, строительные конструкции, Diagrid, фасадные системы, сетчатая несущая конструкция, железобетонные конструкции, металлические конструкции, SCAD, Revit, предельные перемещения, колонны, балки, плиты перекрытия, ростверк, сваи, деформации, армирование.

Ссылка для цитирования: Ли С.В., Гамаюнова О.С. Напряженно-деформированное состояние монолитного каркаса здания с системой «Diagrid» // Инженерные исследования. 2022. №2 (7). С. 28-41. URL: <http://eng-res.ru/archive/2022/2/28-41.pdf>

STRESS-STRAIN STATE OF A MONOLITHIC BUILDING FRAME WITH THE «DIAGRID» SYSTEM

S.V. Li¹, O.S. Gamayunova²

^{1,2} Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. The construction of high-rise buildings has long ceased to be a grandiose event. There is a need to give the appearance of high-rise buildings uniqueness and expressiveness, which would contrast with the inexpressive buildings and dictate the architectural style of the streets. In view of this, one of the main architectural issues in the design and construction of high-rise buildings is to find ways to achieve the dynamism of facade systems, adhering to both architectural and structural requirements, as well as economic ones. The article presents a comparative analysis of two options for strengthening the structure of a high-rise building: an increase in the section of the walls of the core of rigidity and the inclusion of additional metal profiles in the facade system that make up the triangular Diagrid system. Such indicators as: profitability, efficiency of load-bearing structures and architectural component are analyzed. The object of study is a single-section high-rise building of a research institute. The article presents the results of calculating the forces and deformations of a model with a metal frame, the results of reinforcement and calculation of building forces, an assessment of the material consumption of work on the arrangement of building structures, as well as the cost of work for two options.

Keywords: high-rise buildings, unique buildings, building structures, Diagrid, facade systems, mesh load-bearing structure, reinforced concrete structures, metal structures, SCAD, Revit, limit displacements, columns, beams, floor slabs, grillage, piles, deformations, reinforcement.

For citation: Li S.V., Gamayunova O.S. Stress-strain state of a monolithic building frame with the «Diagrid» system // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2022. No.2 (7). Pp. 28-41. URL: <http://eng-res.ru/archive/2022/2/28-41.pdf>

ВВЕДЕНИЕ

Одной из современных тенденций формирования комфортной городской среды в настоящее время является возведение небоскребов [1-5]. На сегодняшний день город Санкт-Петербург является бурно растущим и развивающимся мегаполисом, несмотря на многие ограничения, связанные с высотой зданий, погодными, грунтовыми и архитектурными условиями. Вследствие этого исторический центр и новые районы города сильно отличаются своими архитектурными стилями: старая итальянская школа архитектуры сменяется на многоэтажную застройку жилыми кварталами, не отличающимися оригинальностью исполнения. Это является поводом для того, чтобы поменять подход к многоэтажному строительству Санкт-Петербурга в пользу лаконичных и уникальных фасадных решений, которые позволят придать новым улицам эстетическое своеобразие.

Новым строительным объектам присущи экологичность, многофункциональность, высотность и оригинальность исполнения, чему, в частности, способствует возведение высотных зданий с использованием диагональных сетчатых несущих конструкций - Diagrid structures [6-11,14-17] или диагонально-сетчатые оболочковые конструктивные системы [12,13,21]. В таких конструкциях привычные вертикальные несущие элементы, колонны, по периметру здания заменяются наклонными элементами, образующими структурную оболочку здания с характерным ромбовидным узором.

В своих работах Panchal N.B., Patel V.R., Pandya I.I., Srisangeerthan S., Hashemi M.J., Rajeev P., Gad E., Fernando S. описали различные особенности строительства высотных зданий с использованием системы «Diagrid» [18, 19]:

1. отсутствие ограничения по высотности для данной конструкции;
2. все элементы системы включены в работу и воспринимают нагрузки как горизонтальные, так и вертикальные, позволяя в некоторых ситуациях вовсе отказаться от ядер жесткости и дополнительных вертикальных диафрагм;
3. эффективность работы оболочки «Diagrid» обеспечена за счет работы конструкций межэтажных узлов, через которые и передается нагрузка на здание, даже при условиях сложной формы и конфигурации небоскреба;
4. устойчивость системы должна быть обеспечена наличием кольцевой балки (затяжки), выполненной в виде горизонтального стержня в уровне узлов соединения элементов; данная балка воспринимает растягивающие нагрузки, не давая ромбовидной оболочке потерять свою форму;
5. рекомендуемый наиболее экономичный и эффективный в плане восприятия нагрузок угол между наклонными элементами и горизонталью для здания высотой 24 этажа лежит в диапазоне 65° – 75° . При увеличении высотности проектируемого небоскреба угол увеличивается.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проектируемый объект - односекционное многоэтажное административное здание с подземной двухэтажной автостоянкой. Количество надземных этажей – 24, из которых 13 и 24 этажи – технические. Высота здания от уровня земли до верха кровли составляет 74,9 м.

В плане здание имеет сложную эллипсоидную форму. Размеры здания в осях 45,6х26,1 м. Подземная часть здания имеет прямоугольную форму с размерами в осях 40х24 м.

Характеристика здания:

- класс функциональной пожарной опасности многофункционального здания Ф4.3;
- класс функциональной пожарной опасности подземной автостоянки Ф5.2;
- класс конструктивной пожарной опасности –С0.

Несущие элементы:

- балки 400х400 мм;
- колонны 400х400 мм и 800х800 мм;
- стены ядра жесткости 200 мм;
- перекрытия 200 мм;
- ростверк 1200 мм;
- сваи D=750мм.

Первоначально запроектированный объект имел горизонтальные деформации недопустимые согласно СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия.

Предельное горизонтальное перемещение конструкции определяется как $h/500$. При высоте конструкций здания $h=74,9$ м, предельный крен равен: $h/500=74,9/500=0,150$ м=150 мм.

На рис.1 представлены предельные перемещения по направлениям X, Y, Z.

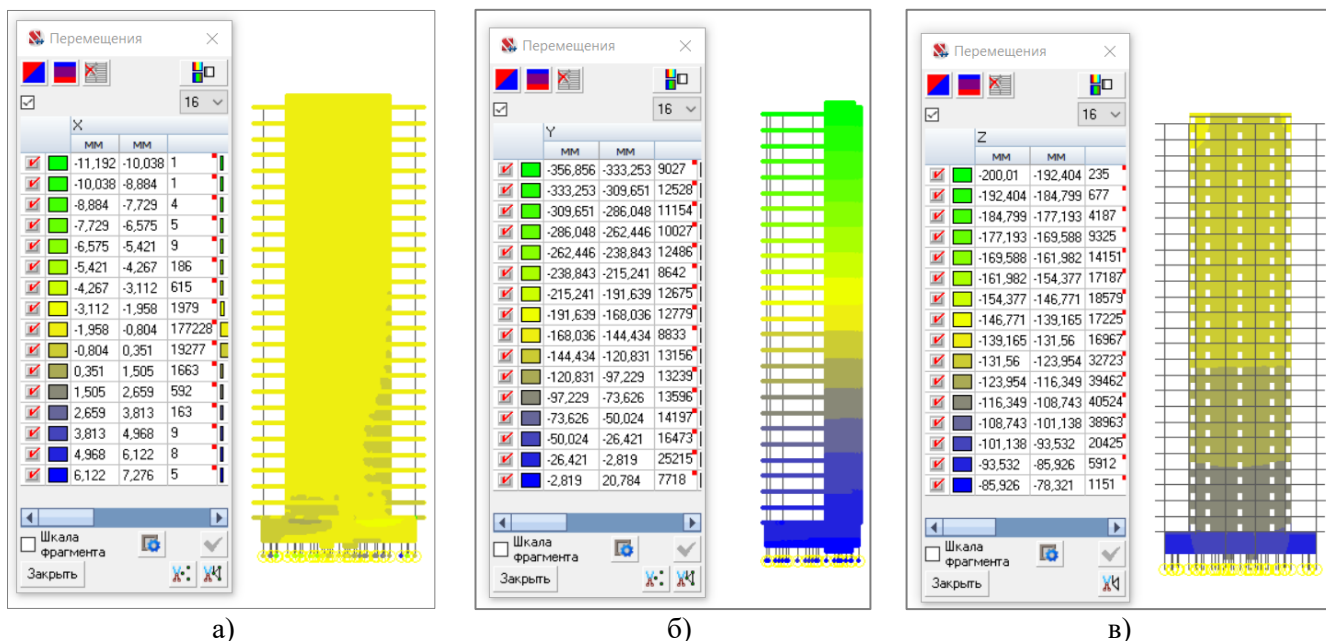


Рис. 1. Перемещения конструкции: а – по направлению X; б – по направлению Y; в – по направлению Z
Fig. 1. Movements of the structure: a - in the X direction; b - in the direction Y; c - in the Z direction

Для уменьшения горизонтальных деформаций многоэтажного здания было предложено введение дополнительных металлических конструкций по фасаду здания, которые будут представлять собой треугольную решетку. Схематическое изображение сетки типового этажа в ПК SCAD представлено на рис. 2, а на рис.3 представлены элементы системы на примере существующего здания.

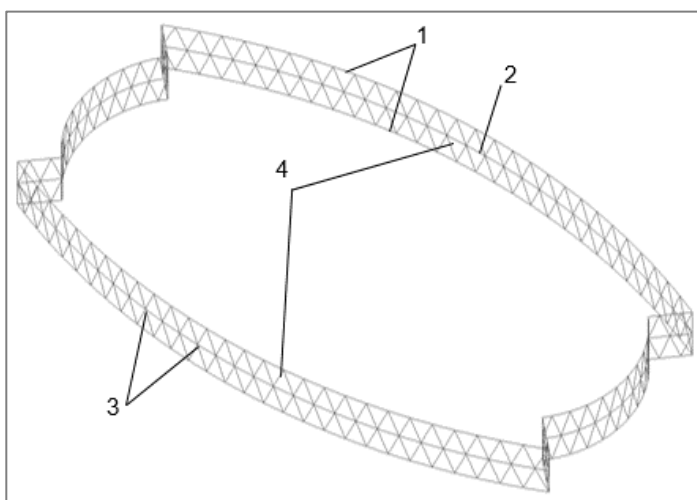


Рис. 2. Металлический каркас системы «Diagrid» в ПК SCAD: 1-кольцевые балки, соединенные с плитой перекрытия; 2-кольцевая балка межэтажная; 3-узлы; 4-наклонные элементы

Fig. 2. Metal frame of the "Diagrid" system in PC SCAD: 1-ring beams connected to the floor slab; 2-ring interfloor beam; 3-nodes; 4-inclined elements

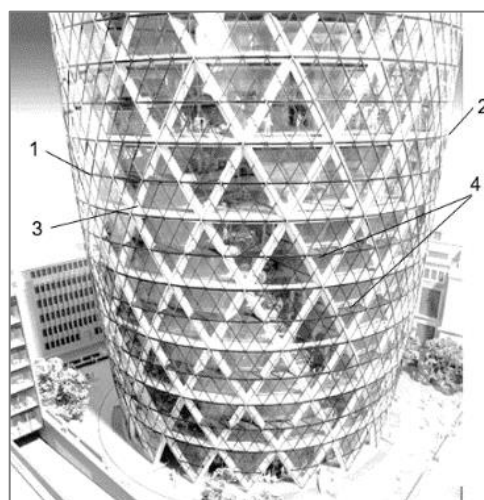


Рис. 3. Металлический каркас системы «Diagrid»: 1-кольцевые балки, соединенные с плитой перекрытия; 2-кольцевая балка межэтажная; 3-узлы; 4-наклонные элементы [6]

Fig. 3. Metal frame of the Diagrid system: 1-ring beams connected to the floor slab; 2-ring interfloor beam; 3-nodes; 4-inclined elements [6]

На первом этапе исследования была создана модель многоэтажного здания в ПК Revit (рис.4), а также собраны нагрузки с учетом назначения здания (здание научно-исследовательского института). Первоначальная модель содержала в себе только железобетонные несущие конструкции: ядро жесткости, колонны, балки, плиты перекрытия, ростверк и сваи.

Следующий этап включает перенос модели в ПК SCAD (рис.5.) и приложение нагрузок на здание. Также в проекте заданы характеристики грунтов основания и их взаимодействие со свайным фундаментом здания.

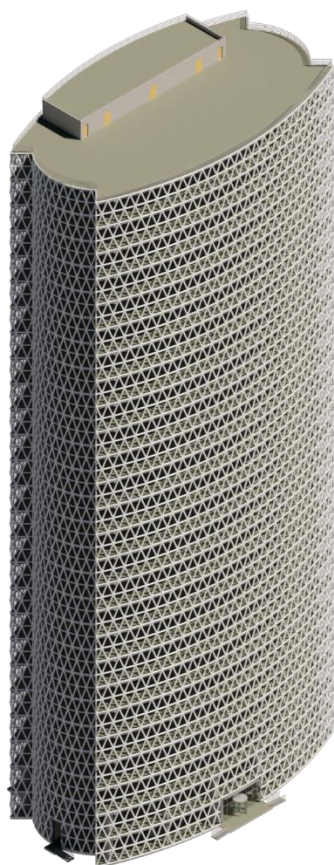


Рис. 4. Модель здания в ПК Revit
Fig. 4. Building model in PC Revit

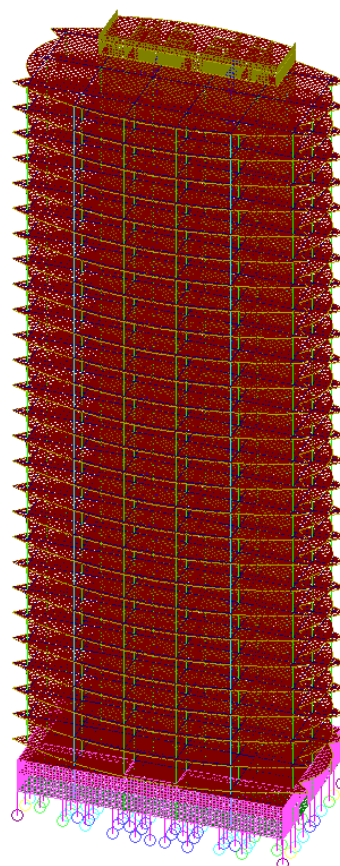


Рис. 5. Модель здания в ПК SCAD
Fig. 5. Building model in PC SCAD

После получения результатов расчета следует анализ усилий и деформаций конструкций. Усилия в несущих конструкциях позволяют зданию функционировать в нормальном режиме. Деформации продавливания и осадки не превышают предельно допустимых значений. Отклонение здания по оси Y имеет значения большие, чем критические (рис.1).

На третьем этапе рассмотрены два варианта решения проблемы повышенных деформаций: увеличение сечения стен ядра жесткости и введение дополнительных металлоконструкций. Модель системы «Diagrid» построена согласно методике Анохина Н.Н. [20], что исключает появление моментов в узлах конструкции. Увеличение угла между наклонным элементом и горизонтальной плоскостью влечет за собой увеличение количества и общей длины наклонных элементов, что приведет к большим затратам металла, но уменьшает растягивающие и сжимающие усилия в конструкции треугольной решетки. Был подобран оптимальный угол наклонного элемента к горизонтальной плоскости для проектируемого объекта - $68,7^\circ$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Модель со стенами 300 мм

В этом случае увеличение сечения повлечет за собой изменения в архитектуре внутри здания, что приведет к уменьшению полезной площади. Также из-за увеличения жесткостных характеристик ядра распределение нагрузок на сваи будет более равномерным. Но вследствие значительного увеличения сечения возрастет собственный вес стен, что приведет к росту усилий в сваях (рис.6.), который спровоцирует повышение площади требуемого армирования. Увеличение нагрузок также приведет к изменениям полей армирования ростверка и к приросту требуемой площади армирования.

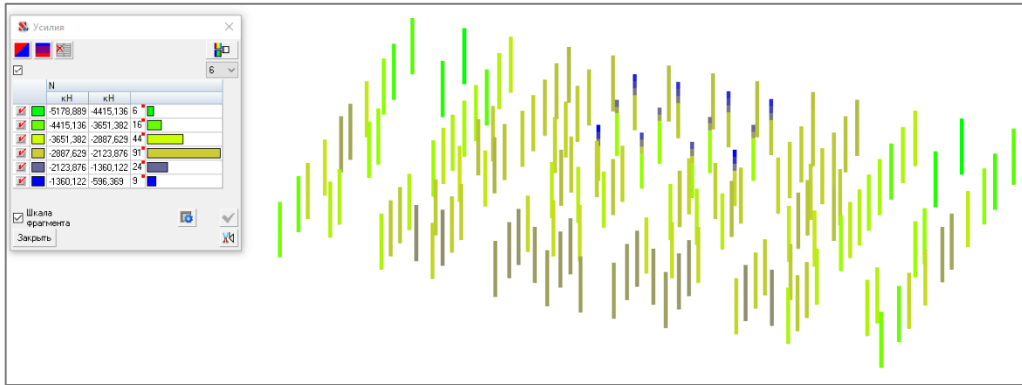


Рис.6. Усилия N в сваях модели со стенами 300 мм
Fig.6. Forces N in piles of the model with 300 mm walls

Перемещения конструкции при увеличении толщины стен ядра жесткости: по X - уменьшились на 10%; по Y - уменьшились на 45%. Деформации лежат в допустимых пределах. Перемещения по направлению Z в среднем увеличились на 4 % (рис.7).

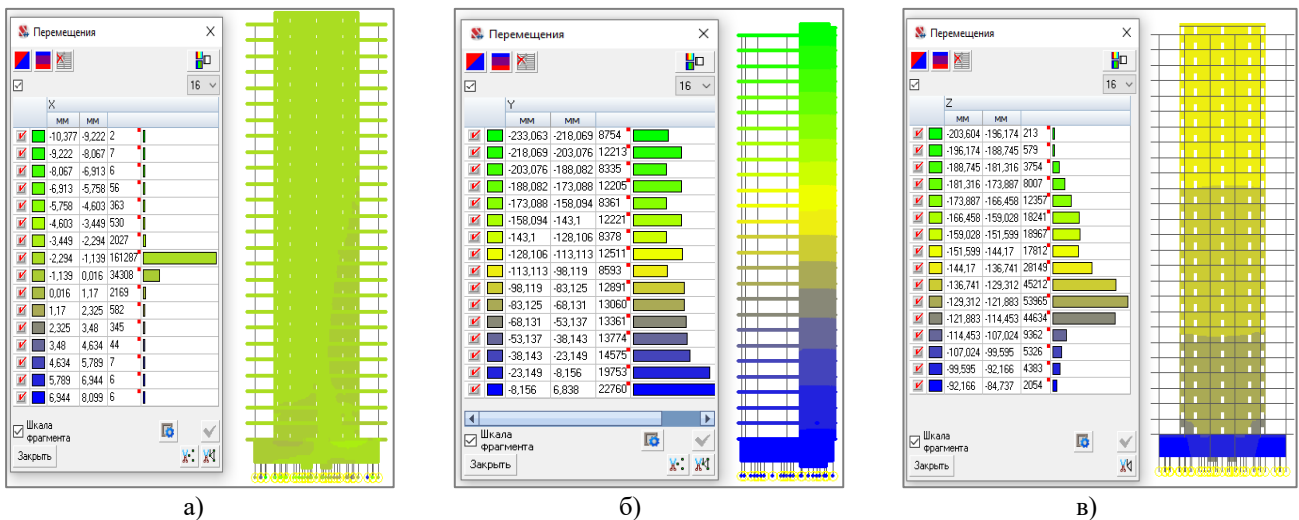


Рис.7. Перемещения конструкции: а - по направлению X; б – по направлению Y; в – по направлению Z
Fig.7. Movements of the structure: a - in the X direction; b - in the direction Y; c - in the Z direction

Модель с системой «Diagrid»

В этом случае значительно увеличится расход металла, но сохранится архитектура, так как фасадное остекление включает в себя металлические профили, которые могут менять свое сечение в зависимости от результатов расчета. Результаты армирования свай, ростверка и колонн показали значения, отличающиеся от первой модели на величину до 20% (рис.8).

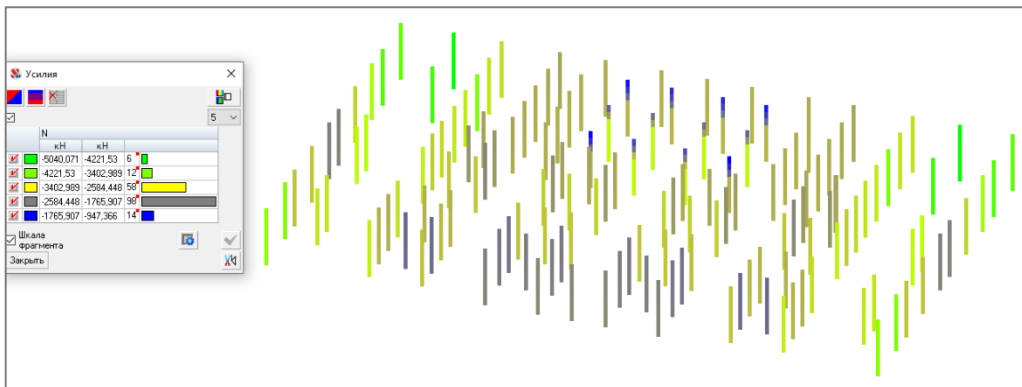


Рис.8. Усилия N в сваях модели с системой «Diagrid»
Fig.8. Forces N in piles of the model with the "Diagrid" system

Перемещения конструкции при введении системы «Diagrid»: по X - уменьшились на 30%; по Y - уменьшились на 85%. Деформации лежат в допустимых пределах. Перемещения по направлению Z в среднем не изменились (рис.9).

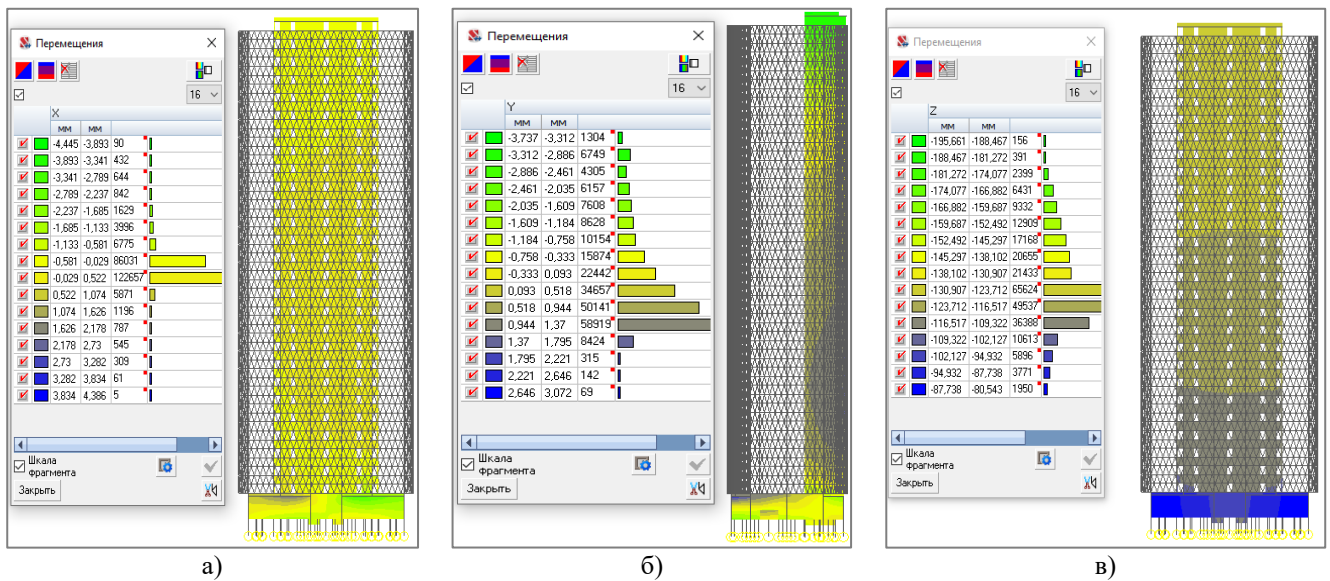


Рис.9. Перемещения конструкции: а - по направлению X; б – по направлению Y; в – по направлению Z
 Fig.9. Movements of the structure: a - in the X direction; b - in the direction Y; c - in the Z direction

Сравнение полей армирования конструкций

1. Армирование здания со стеной 300 мм. Стены ядра жесткости.

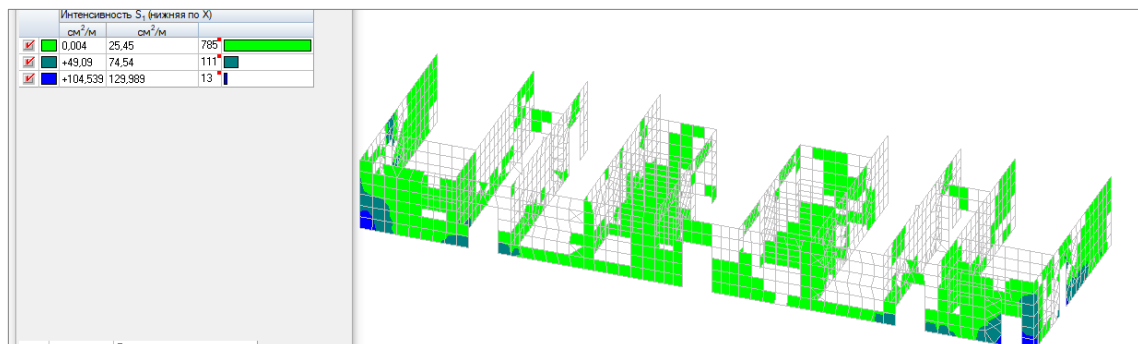


Рис.10. Армирование внутреннее по X
 Fig.10. Reinforcement internal along X

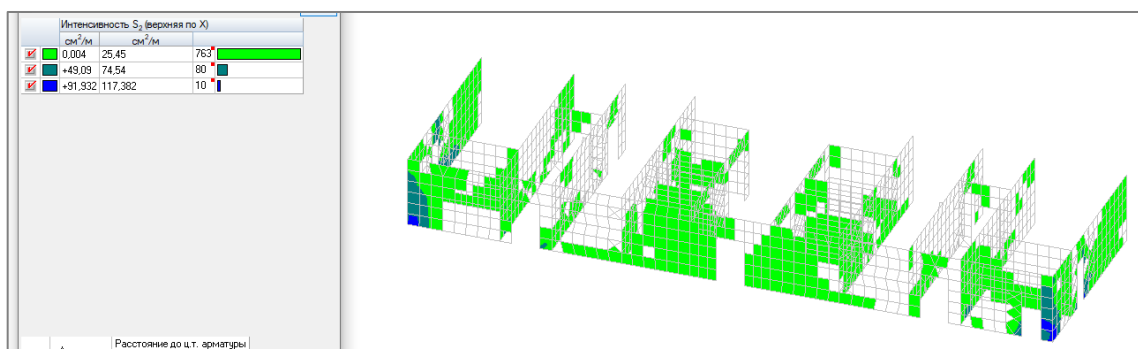


Рис.11. Армирование внешнее по X
 Fig.11. External reinforcement along X

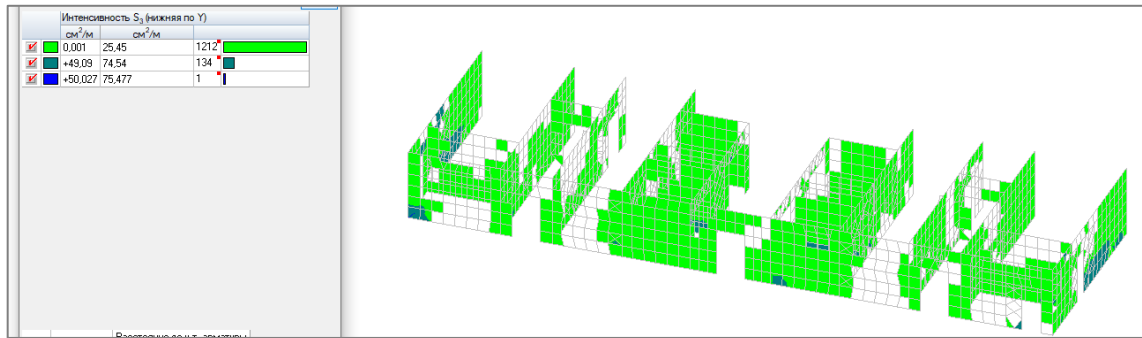


Рис.12. Армирование внутреннее по Y
Fig.12. Reinforcement internal along Y

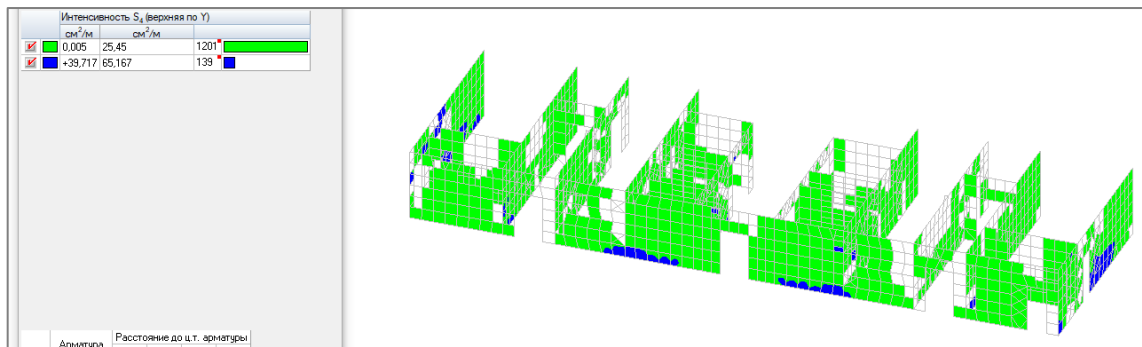


Рис.13. Армирование внешнее по Y
Fig.13. External reinforcement along Y

Таблица 1. Армирование стены
 Table 1. Wall reinforcement

| - | $A_{Фон}$ | $A_{усилен.1}$ | $A_{усилен.2}$ |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Внутренняя в направлении X (S_1) | Ø18 A500 – 100 мм | Ø25 A500 – 100 мм | Ø36 A500 – 100 мм |
| Внешняя в направлении X (S_2) | Ø18 A500 – 100 мм | Ø25 A500 – 100 мм | Ø36 A500 – 100 мм |
| Внутренняя в направлении Y (S_3) | Ø18 A500 – 100 мм | Ø25 A500 – 100 мм | Ø36 A500 – 200 мм |
| Внешняя в направлении Y (S_4) | Ø18 A500 – 100 мм | Ø25 A500 – 100 мм | - |

2. Армирование здания со стеной 300 мм. Колонны

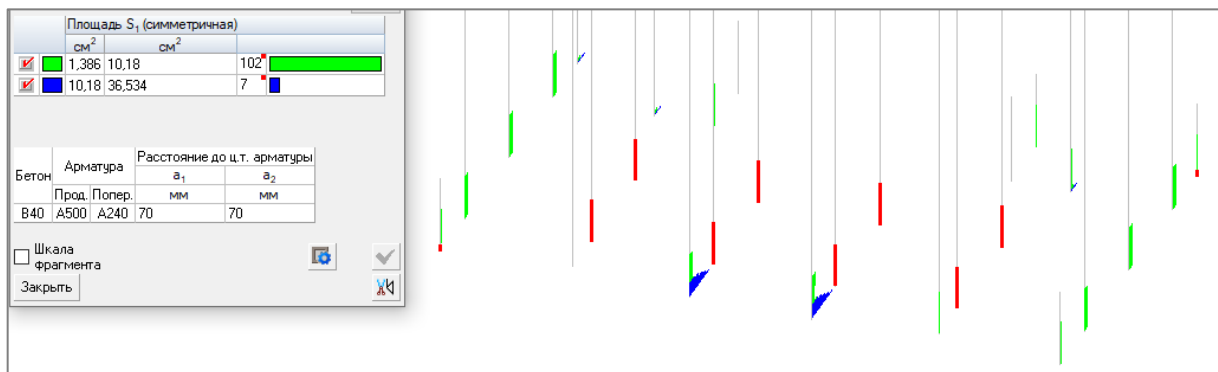


Рис.14. Армирование продольное
Fig.14. Longitudinal reinforcement

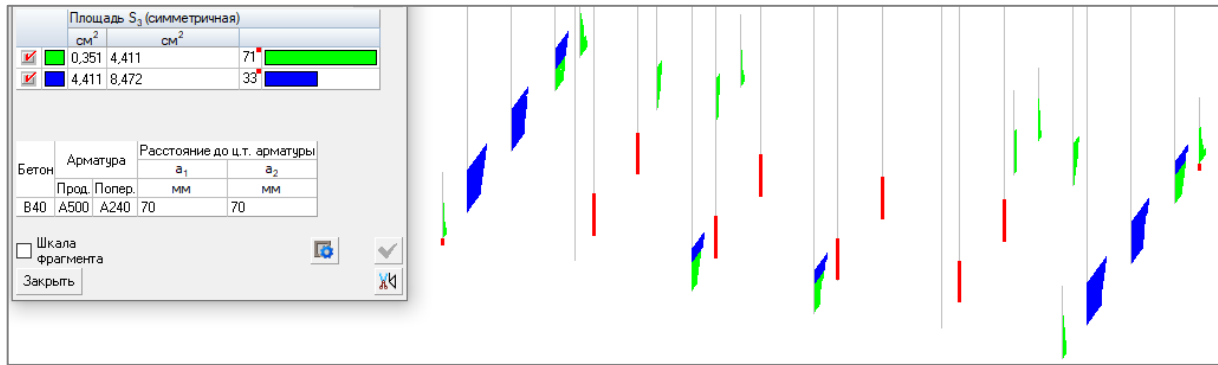


Рис.15. Армирование поперечное
Fig.15. Transverse reinforcement

Таблица 2. Армирование колонн
 Table 2. Column reinforcement

| | $A_{Фон}$ | $A_{усилен.1}$ |
|----------------------|-----------|----------------|
| Продольное (S_1) | 4Ø18 A500 | 4Ø32 A500 |
| Поперечное (S_3) | Ø12 A500 | - |

3. Армирование здания со стеной 300 мм. Балки

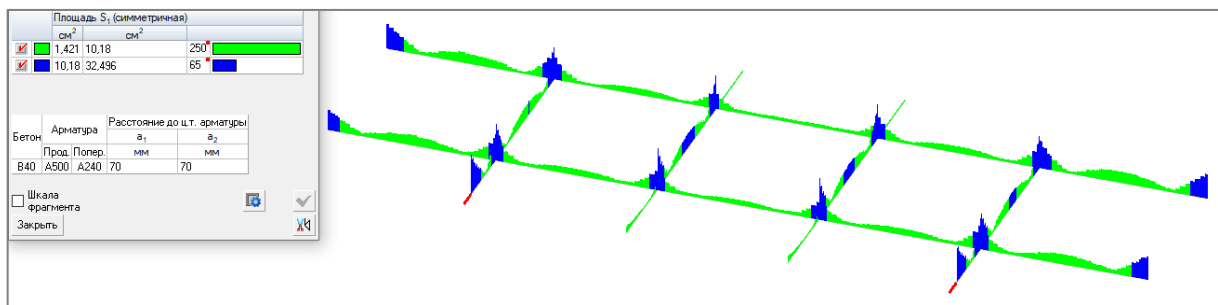


Рис.16. Армирование продольное
Fig.16. Longitudinal reinforcement

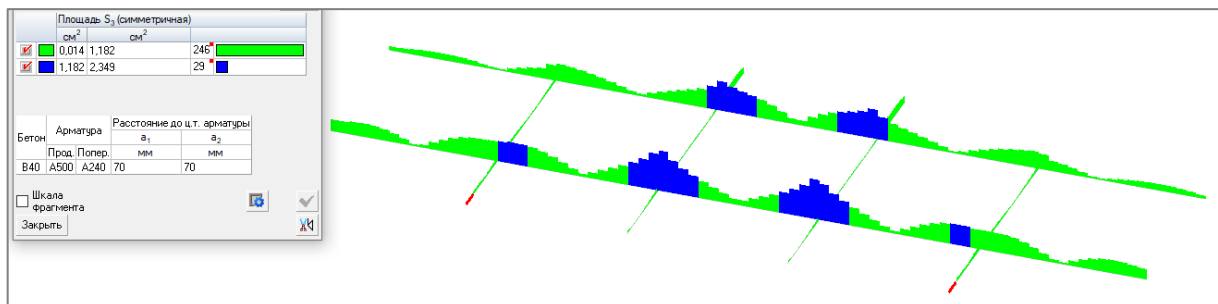


Рис.17. Армирование поперечное
Fig.17. Transverse reinforcement

Таблица 3. Армирование балок
 Table 3. Beam reinforcement

| | $A_{Фон}$ | $A_{усилен.1}$ |
|----------------------|-----------|----------------|
| Продольное (S_1) | 4Ø18 A500 | 4Ø32 A500 |
| Поперечное (S_3) | Ø12 A500 | - |

4. Армирование здания со стеной 300 мм. Плиты перекрытий

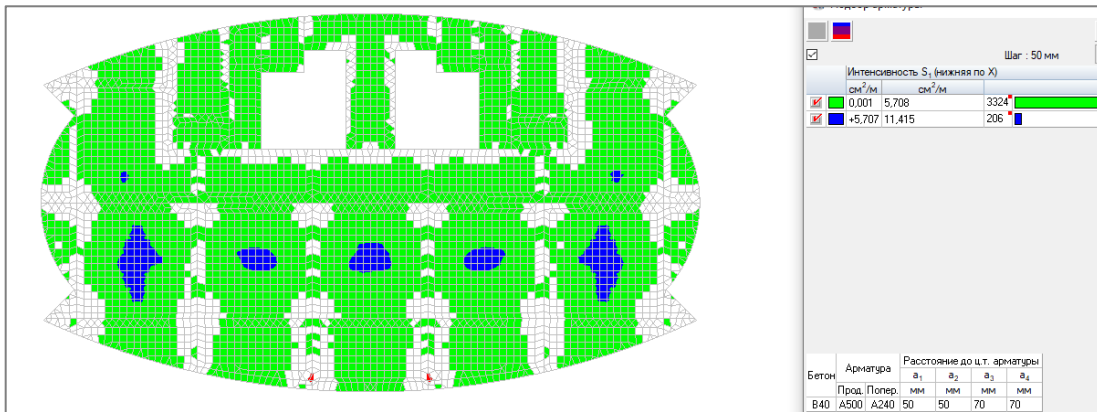


Рис.18. Армирование внутреннее по X
 Fig.18. Reinforcement internal along X

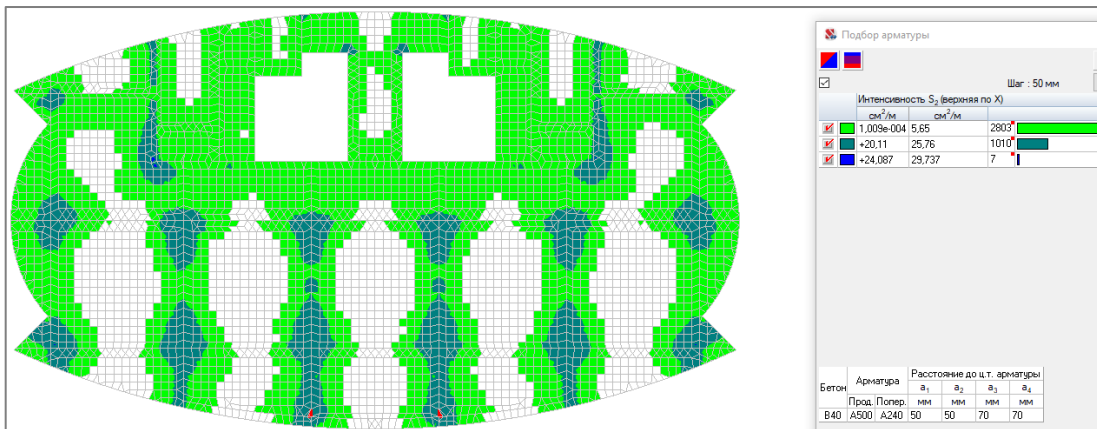


Рис.19. Армирование внешнее по X
 Fig.19. External reinforcement along X

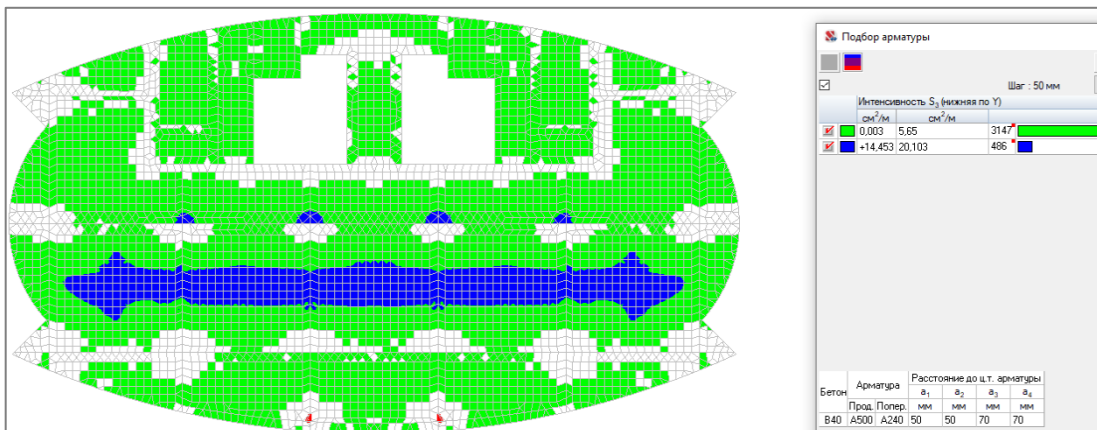


Рис.20. Армирование внутреннее по Y
 Fig.20. Reinforcement internal along Y

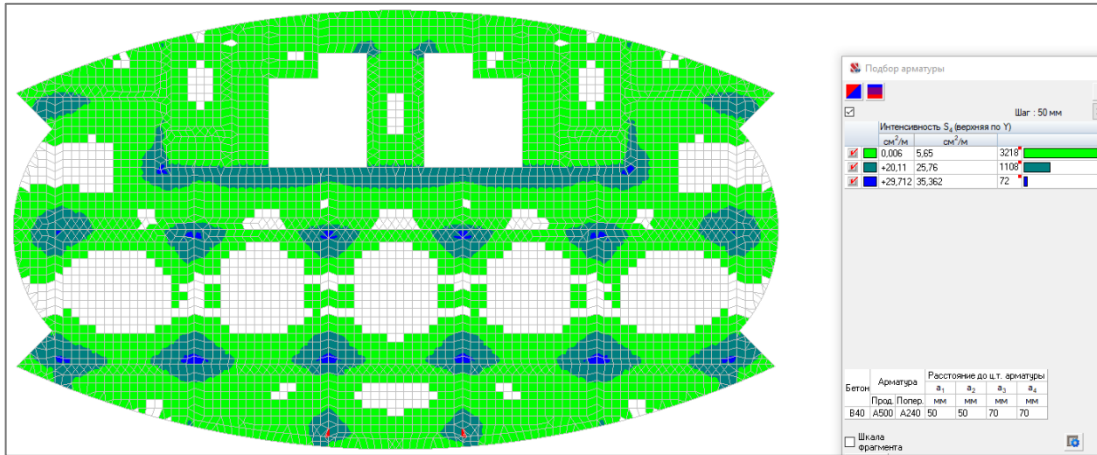


Рис.21. Армирование внешнее по Y
 Fig.21. External reinforcement along Y

Таблица 4. Армирование плиты перекрытия
 Table 4. Floor slab reinforcement

| | $A_{Фон}$ | $A_{усилен.1}$ |
|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Нижняя в направлении X (S_1) | $\varnothing 16$ A500 – 100 мм | $\varnothing 25$ A500 – 100 мм |
| Нижняя в направлении X (S_2) | $\varnothing 16$ A500 – 100 мм | $\varnothing 25$ A500 – 100 мм |
| Внутренняя в направлении Y (S_3) | $\varnothing 16$ A500 – 100 мм | $\varnothing 25$ A500 – 100 мм |
| Верхняя в направлении Y (S_4) | $\varnothing 16$ A500 – 100 мм | $\varnothing 25$ A500 – 100 мм |

5. Армирование здания со стеной 300 мм. Плита ростверка

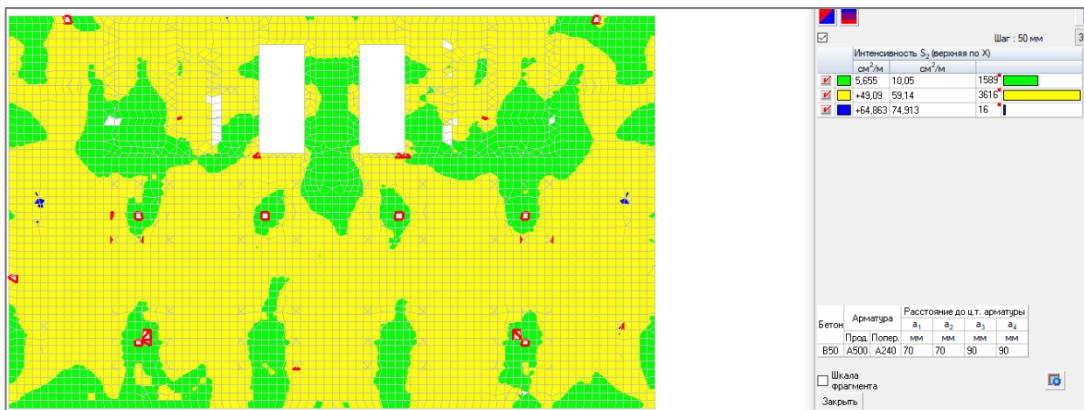


Рис.22. Армирование внутреннее по X
 Fig.22. Reinforcement internal along X

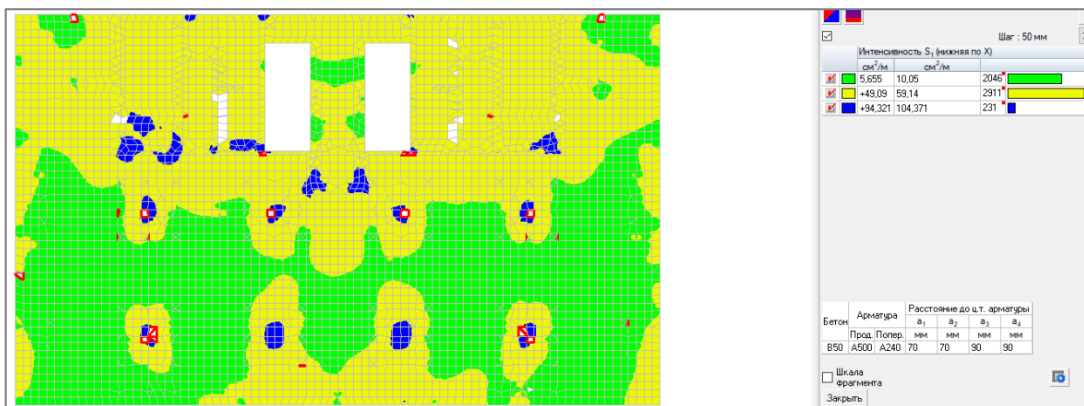


Рис.23. Армирование внешнее по X
 Fig.23. External reinforcement along X

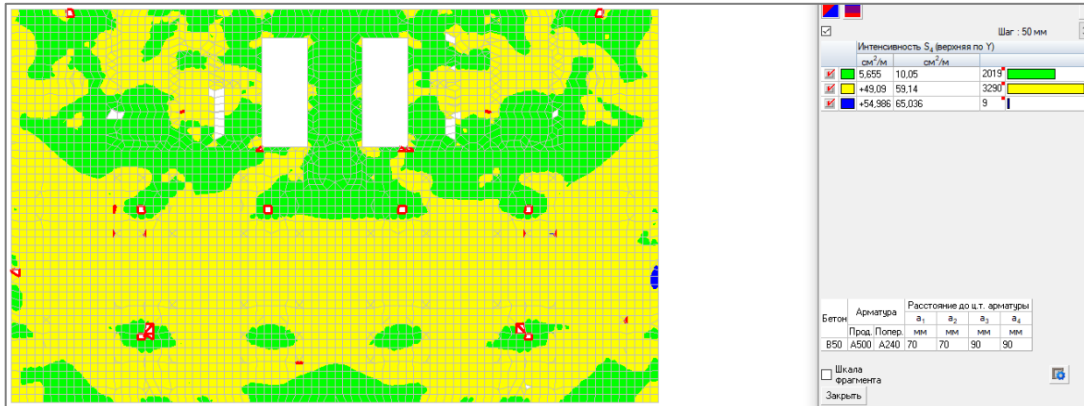


Рис.24. Армирование внутреннее по Y
 Fig.24. Reinforcement internal along Y

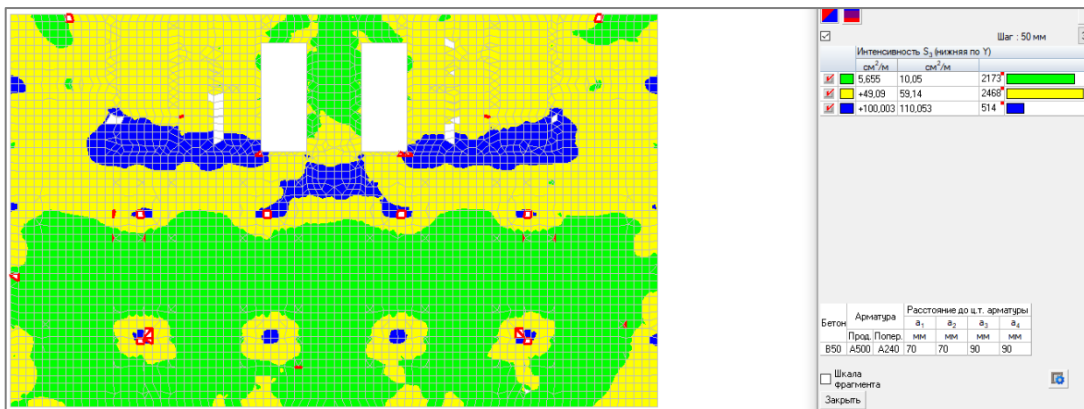


Рис.25. Армирование внешнее по Y
 Fig.25. External reinforcement along Y

Таблица 5. Армирование плиты ростверка
 Table 5. Reinforcement of grillage plate

| | $A_{Фон}$ | $A_{усилен.1}$ | $A_{усилен.2}$ |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Нижняя в направлении X (S_1) | Ø16 A500 – 100 мм | Ø25 A500 – 100 мм | Ø36 A500 – 100 мм |
| Нижняя в направлении X (S_2) | Ø16 A500 – 100 мм | Ø25 A500 – 100 мм | Ø36 A500 – 100 мм |
| Внутренняя в направлении Y (S_3) | Ø16 A500 – 100 мм | Ø25 A500 – 100 мм | Ø36 A500 – 200 мм |
| Верхняя в направлении Y (S_4) | Ø16 A500 – 100 мм | Ø25 A500 – 100 мм | Ø36 A500 – 200 мм |

6. Армирование здания со стеной 300 мм. Сваи

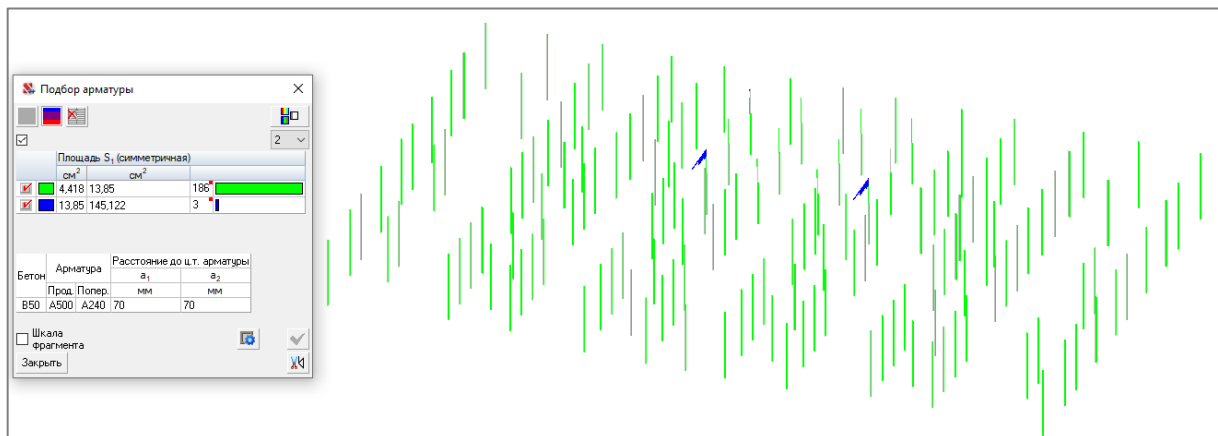


Рис.26. Армирование продольное свай
 Fig.26. Reinforcement longitudinal piles

Таблица 5. Армирование свай
 Table 5. Pile reinforcement

| | |
|-----------------|-----------|
| | АФон |
| Продольное (S1) | 9Ø14 A500 |
| Поперечное (S3) | Ø12 A500 |

Ведомость объемов материала

Таблица 6. Ведомость объемов материала
 Table 6. Material Quantity List

| Система «Diagrid» | | | Стены толщиной 0,3 м | | |
|------------------------|-----------|-----------------------|----------------------|-----------|-----------------------|
| D, мм | Металл, т | Бетон, м ³ | D, мм | Металл, т | Бетон, м ³ |
| Надземная часть здания | | | | | |
| Стена | | | | | |
| 12 | 469,71 | 2531,49 | 18 | 1991,52 | 3797,24 |
| 32 | 236,76 | | 25 | 39,40 | |
| - | - | | 36 | 348,49 | |
| Перекрытие | | | | | |
| 12 | 518,70 | 4931,2744 | 12 | 520,11 | 4931,27 |
| 16 | 142,94 | | 16 | 520,11 | |
| Балки | | | | | |
| 12 | 91,99 | 482,98 | 12 | 91,99476 | 482,98 |
| 18 | 62,70 | | 18 | 62,70327 | |
| 32 | 101,51 | | 40 | 236,4961 | |
| Колонны | | | | | |
| 12 | 2,96 | 1168,96 | 40 | 3,29 | 1168,96 |
| 28 | 2,03 | | 28 | 2,03 | |
| | | | 12 | 2,67 | |
| Металлоконструкции | | | | | |
| 80x70x4 | 178,90 | - | | | |
| 14Б1 | 109,51 | | | | |
| Подземная часть здания | | | | | |
| Балки | | | | | |
| 12 | 5,57 | 29,264 | 12 | 5,57 | 29,264 |
| 18 | 3,80 | | 18 | 3,8 | |
| 32 | 6,15 | | 40 | 14,33 | |
| Колонны | | | | | |
| 12 | 6,80 | 68,864 | 40 | 6,58 | 68,864 |
| 28 | 5,68 | | 28 | 5,68 | |
| | | | 12 | 6,2 | |
| Стены внутренние | | | | | |
| 12 | 29,74 | 160,256 | 18 | 126,07 | 240,384 |
| 32 | 14,99 | | 25 | 2,49 | |
| | | | 36 | 22,06 | |
| Стена внешние | | | | | |
| 12 | 24,36 | 131,296 | 18 | 103,29 | 196,944 |
| 32 | 12,28 | | 25 | 2,04 | |
| | | | 36 | 18,07 | |

| Система «Diagrid» | | | Стены толщиной 0,3 м | | |
|--------------------|-----------|-----------------------|----------------------|-----------|-----------------------|
| D, мм | Металл, т | Бетон, м ³ | D, мм | Металл, т | Бетон, м ³ |
| Перекрытие | | | | | |
| 12 | 20,07 | 190,84 | 12 | 20,13 | 190,84 |
| 16 | 5,53 | | 16 | 8,2 | |
| Ростверк | | | | | |
| 14 | 73,98 | 1171,44 | 16 | 80,31 | 1171,44 |
| 25 | 128,34 | | 25 | 114,65 | |
| 36 | 23,77 | | 36 | 65,87 | |
| Сваи | | | | | |
| 10 | 2,92 | 2659,09 | 10 | 2,92 | 2659,09 |
| 12 | 88,53 | | 12 | 88,53 | |
| 14 | 76,43 | | 14 | 76,43 | |
| Суммарные затраты: | 2446,65 | 13525,76 | Суммарные затраты: | 4592,04 | 14937,28 |

Сравнение стоимости возведения конструкций

Краткие результаты расчета стоимости работ по устройству подземного паркинга и типового надземного этажа для двух вариантов конструкций представлены в табл.7.

Таблица 7. Результаты расчета локальных смет
 Table 7. The results of the calculation of local estimates

| № | Вариант конструкции | Наименование работ | Стоимость, тыс.руб. |
|---|----------------------|--------------------------------|---------------------|
| 1 | Стены толщиной 0,3 м | Подземный этаж | 579 090,796 |
| | | Надземный этаж | 1 001 028,501 |
| | | Полная стоимость строительства | 4 147 289,48 |
| 2 | Система «Diagrid» | Нулевой цикл | 566 864,263 |
| | | Надземный этаж | 895 442,985 |
| | | Полная стоимость строительства | 3 788 101,84 |

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Таким образом, можно сделать вывод о том, что использование системы «Diagrid» в фасадном остеклении в качестве дополнительных конструкций усиления рациональней и экономичней по сравнению с вариантом использования стен с увеличенным сечением: подземный этаж дешевле на 2,11%; надземный типовой этаж - на 10,55%. Стоимость возведения при использовании системы «Diagrid» уменьшилась на 8,66%. Материалоемкость варианта с системой «Diagrid» также оказалась ниже (бетон – 9,45%, металл – 46,72%).

Таким образом, при выборе дополнительных конструкций усиления фасадной системы особое внимание стоит обращать на экономическую целесообразность проектирования сетчатых оболочек, так как их конструктивные особенности требуют больших затрат всевозможных ресурсов как на разработку каркаса в целом, так и на его отдельные элементы, узлы [12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ли С.В., Гамаюнова О.С. Фасадные системы в высотном строительстве // Инженерные исследования. 2021. № 4(4). С. 3-14. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/4/3-14.pdf>
2. Баранов А.О. Конструктивные решения высотных зданий // AlfaBuild. 2018. № 3 (5). С. 33-51.
3. Корсунцева А.А. Мировые тенденции строительства высотных зданий // Инженерные исследования. 2022. № 1(6). С. 27-32. URL: <http://eng-res.ru/archive/2022/1/27-32.pdf>
4. Lalin V., Galyamichev A., Zdanuch E., Mutovkin A., Dogru S. Wind loads on a high-rise building // Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Т. 70. С. 551-562.
5. Puhina I., Spiridonova T., Musorina T., Kanyukova S., Rezvaia A. Efficiency of urban development under high-rise construction of districts // В сборнике: MATEC Web of Conferences. Editor V. Murgul. 2016. С. 01049.

6. Ли С.В., Гамаюнова О.С. Использование системы «Diagrid» в фасадном остеклении // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Сборник материалов Всероссийской конференции. 2022. С. 192-193.
7. Космодемьянов В.А., Родимов А.А. Обзор сетчатой несущей конструкции - системы Diagrid // Инженерный вестник Дона. 2021. № 4 (76). С. 13-24.
8. Родимов А.А. Система Diagrid - концепция, узлы, моделирование. Обзор // В сборнике: Дни студенческой науки. Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов филиала НИУ МГСУ в г. Мытищи. Москва, 2021. С. 21-25.
9. Каминская М.Д., Чеснокова О.Г. Структурная система Diagrid // В сборнике: Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса. сборник трудов Международной научно-практической конференции, в 2 ч.. Волгоград, 2021. С. 84-91.
10. Laghi V., Palermo M., Gasparini G., Trombetti T. Computational design and manufacturing of a half-scaled 3D-printed stainless steel diagrid column // Additive Manufacturing. 2020. Т. 36. С. 101505.
11. Asadi E., Li Y., Salman A.M. Multi-criteria decision-making for seismic resilience and sustainability assessment of diagrid buildings // Engineering Structures (incorporating Structural Engineering Review). 2019. Т. 191. С. 229-246.
12. Семашкина Д.О., Назмеева Т.В. Диагонально-сетчатые оболочки в качестве несущих систем зданий // AlfaBuild. 2019. № 2 (9). С. 40-61.
13. Семашкина Д.О. Сетчатые оболочки в качестве каркаса невысоких зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 1 (64). С. 36-49.
14. Космодемьянов В.А., Родимов А.А. Опыт моделирования несущей конструкции – системы Diagrid // Инженерный вестник Дона. 2021. № 6 (78). С. 364-376.
15. Семенова Ю.А. Пространство высотных зданий с сетчатой несущей оболочкой // В книге: Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ. Тезисы докладов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. 2019. С. 437-438.
16. Ashtari P., Karami R., Farahmand-Tabar S. Optimum geometrical pattern and design of real-size diagrid structures using accelerated fuzzy-genetic algorithm with bilinear membership function // Applied Soft Computing. 2021. Т. 110. С. 107646.
17. Amritha G.S., Kurian J.S. Model analysis of rhombic grid hyperboloid latticed shell structures // Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Т. 46. С. 945-960.
18. Panchal N.B., Patel V.R., Pandya I.I. Optimum Angle of Diagrid Structural System // International Journal of Engineering and Technical Research. Vol. 2. No. 6. 2014. 157 с.
19. Srisangeerthan S., Hashemi M.J., Rajeev P., Gad E., Fernando S. Review of performance requirements for inter-module connections in multi-story modular buildings // Journal of Building Engineering. P. 101087.
20. Анохин Н.Н. Строительная механика в примерах и задачах. Часть 1. 4-е изд. М: Издательство АСВ. 2016. 335 с.
21. Проектирование металлических конструкций. Часть 2: «Металлические конструкции. Специальный курс». Учебник для ВУЗов / А. Р. Туснин, В. А. Рыбаков, Т. В. Назмеева и др.; под общей ред. А. Р. Туснина. М.: Перо, 2020. 436 с.

ОБ АВТОРАХ

Софья Витальевна Ли – студентка бакалавриата. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: li.sv@edu.spbstu.ru

Ольга Сергеевна Гамаюнова – к.т.н., доцент Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: gamayunova_os@spbstu.ru

ABOUT THE AUTHORS

Sofya V. Li – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: li.sv@edu.spbstu.ru

Olga S. Gamayunova – Ph.D., Associate Professor of the Higher School of Industrial, Civil and Road Construction. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: gamayunova_os@spbstu.ru