

УДК 624

УЧЕТ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ МОНОЛИТНОГО КАРКАСА ЗДАНИЯ С ГРУНТОВЫМ ОСНОВАНИЕМ

Викторова Ольга Леонидовна,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

кандидат технических наук, доцент кафедры «Городское строительство и архитектура».

Жилева Виктория Владимировна,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

студент.

Доронина Анна Александровна,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

студент.

Аннотация

Оценить совместную работу конструктивных элементов монолитного каркасного здания с грунтовым основанием возможно с помощью программного комплекса SKAD, составив расчетную модель здания, определив все действующие нагрузки, характеристики грунтовых слоев и рассчитав коэффициент постели, задавшись различными вариантами загрузений. Сравнивая результаты расчета перемещений монолитного каркаса здания без учета работы грунтового основания, а затем при их совместной работе, получен результат более точного распределения усилий в элементах каркаса здания. Благодаря чему возможно рационально распределить рабочую арматуру при конструировании фундаментной плиты и междуэтажных перекрытий.

Ключевые слова: грунтовое основание, монолитный каркас здания, расчетная модель, конструирование, распределение усилий, перемещения.

ACCOUNTING FOR THE JOINT WORK OF A MONOLITHIC FRAME OF A BUILDING WITH A SOIL BASE

Viktorova Olga Leonidovna,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Candidate of Science, Associate Professor of the department “Urban development and architecture”.

Zhilyaeva Victoria Vladimirovna

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

student.

Doronina Anna Alexandrovna

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

student.

Abstract

It is possible to evaluate the joint work of the structural elements of a monolithic frame building with a soil foundation using the STARK software package, by compiling a design model of the building, determining all the operating loads, characteristics of the soil layers and calculating the bed coefficient by setting various loading options. Comparing the results of calculating the displacements of the monolithic frame of the building without taking into account the work of the ground foundation, and then with the joint work, the result of a more accurate distribution of forces in the elements of the frame of the building was obtained. Thanks to this, it is possible to rationally distribute the working fittings when designing the foundation plate and floor-to-floor ceilings.

Keywords: ground foundation, monolithic frame of the building, design model, construction, distribution of forces, displacement.

Оптимальным при расчете монолитного каркасного здания является моделирование системы «здание – фундамент - грунт», в которой податливые свойства грунта можно учитывать с помощью коэффициентов постели. Расчет

такой системы проводился с использованием расчетного программного комплекса SKAD и метода конечных элементов (МКД). В автоматизированном режиме выполнялись расчеты напряженно-деформированного состояния и устойчивости конструкций с учетом различных видов нагрузений и особенностей взаимодействия отдельных элементов каркаса и грунтового основания.

Влияние основания на работу конструкций монолитного каркасного здания заключается в возникновении неравномерных линейных и угловых перемещений фундаментов, при расчете обращалось на это особое внимание.

Проектируемое здание поликлиники сложной конфигурации в плане четырехэтажное с цокольным этажом. Основными несущими конструкциями здания являются элементы монолитного железобетонного рамно-связевого каркаса, состоящего из вертикальных и горизонтальных несущих конструкций. Вертикальные конструкции - монолитные железобетонные колонны, стены подвала, диафрагмы, стены лестничных клеток и лифтовых шахт, образующие ядра жесткости. Горизонтальные конструкции - монолитные плиты перекрытий и покрытия, образующие при пространственной работе здания жесткие диски. Шаг колонн в продольном и поперечном направлении переменный составляет от 2,6 до 6,0 м. Колонны, объединенные в уровне этажей жесткими дисками перекрытий, образуют продольные и поперечные рамы. В поперечном направлении рамы трехпролетные. Ширина крайних пролетов 5,60 м и 5,30 м ширина средних пролетов 3,60 м, высота здания 19,370 м от уровня обреза фундамента.

Сопряжение железобетонных стен между собой принято жестким. Сопряжение вертикальных несущих конструкций и плит перекрытий и покрытия принято жестким. Сопряжение колонн и стен с фундаментами принято жестким. Пространственная жесткость здания обеспечивается совместной пространственной работой всех элементов каркаса - колоннами, диафрагмами, ядрами жесткости, жестким диском покрытия, жесткими узлами

сопряжения с вертикальных конструкций с плитами перекрытий и с фундаментами.

Исходя из гидрогеологических условий площадки строительства, основанием здания является слой глины мягко-пластичной. Рассматриваемые грунты практически непучинистые, ненабухающие, незасоленные, непросадочные.

При устройстве под подошвой здания сплошной фундаментной плиты можно добиться значения среднего давления на основание меньшего, чем расчетное сопротивление грунта. Принимается фундамент в виде плиты на естественном основании.

На здание действуют постоянные и временные нагрузки. Постоянные нагрузки включают в себя: собственный вес несущих конструкций; ненесущих стен; вес полов, кровли, лестниц; вес перегородок; технологического оборудования; нагрузка от бокового давления грунта на стенки подвала. Временные нагрузки включают: полезную нагрузку на перекрытие, снеговую и ветровую.

Здание поликлиники имеет вторую категорию ответственности, поэтому все нагрузки определялись с коэффициентом надежности:

$$\gamma_n = 1,00$$

Определение усилий в несущих элементах здания от постоянных и временных нагрузок производилось с использованием расчетного программного комплекса SKAD, при этом была создана пространственная модель. Расчетная схема для расчета составлена из стержневых и оболочечных конечных элементов. Расчетная модель каркаса показана на рис. 1.

Для расчета необходимо выполнить схему распределения жесткостных характеристик конечных элементов. Данная схема представлена на рис.2.

Для учета постоянных и временных нагрузок были созданы статические и динамические загрузки:

- 1) Нагрузка от собственного веса конструкций;
- 2) Постоянная вертикальная нагрузка от веса стен;

- 3) Постоянная нагрузка от веса полов и кровли;
- 4) Постоянная нагрузка от веса перегородок;
- 5) Постоянная нагрузка от веса лестничных маршей;
- 6) Полезная нагрузка 1 - кратковременная полезная нагрузка;
- 7) Полезная нагрузка 2 - кратковременная полезная нагрузка;
- 8) Полезная нагрузка на лестничные марши;
- 9) Кратковременная снеговая нагрузка;
- 10) Постоянная нагрузка от бокового давления грунта снеговая нагрузка;
- 11) Ветер слева - статическая ветровая нагрузка от ветра слева;
- 12) Ветер справа- статическая ветровая нагрузка от ветра справа;
- 13) Ветер спереди - статическая ветровая нагрузка от ветра спереди;
- 14) Ветер сзади- статическая ветровая нагрузка от ветра сзади;

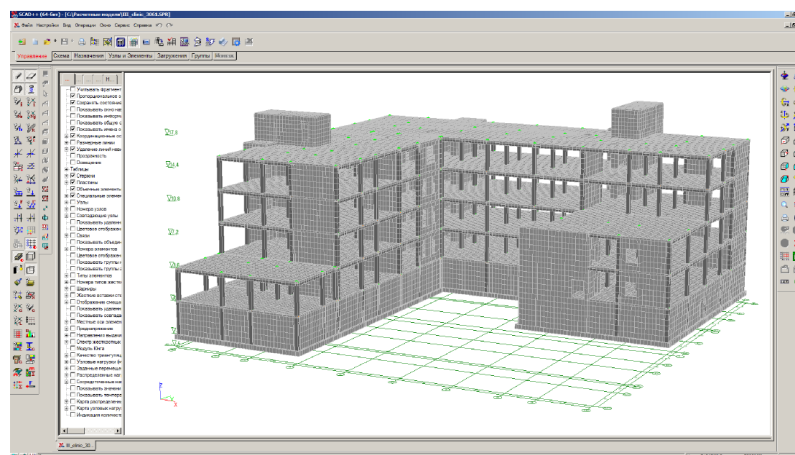


Рисунок 1 - Расчетная схема здания

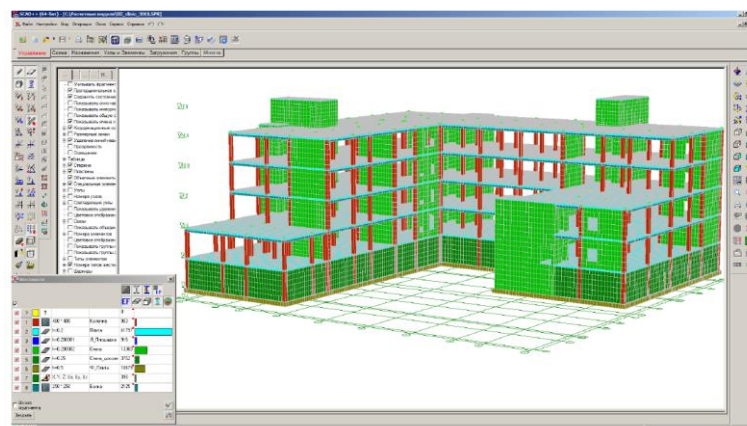


Рисунок 2 - Схема распределения жесткостных характеристик конечных элементов

Исходные данные для определения расчетных сочетаний усилий приведены на рис.3, а для расчета комбинаций нагрузок - на рис. 4.

Активное нагружение	Активное нагружение в РСУ	Наименование	Тип нагружения	Вид нагрузки	Эквивалентное ренение	Участие в групповых операциях	Объединение	Зависимое сочетание	Сопутствие	Коэф. надсеко	Доля длительности	К _г
1	✓	Свой_вес	Постоянные на	Вес бетона	✓	✓	✓	✓	✓	1,1	1	1
2	✓	Стены	Постоянные на	Вес бетона	✓	✓	✓	✓	✓	1,1	1	1
3	✓	Полы	Постоянные на	Вес металлик	✓	✓	✓	✓	✓	1,05	1	1
4	✓	Перегородки	Постоянные на	Вес бетона	✓	✓	✓	✓	✓	1,1	1	1
5	✓	Лестницы пост	Постоянные на	Вес бетона	✓	✓	✓	✓	✓	1,1	1	1
6	✓	Полезная_1	Постоянные на	Вес металлик	✓	✓	✓	✓	✓	1,05	1	1
7	✓	Полезная_2	Постоянные на	Вес металлик	✓	✓	✓	✓	✓	1,05	1	1
8	✓	Лестница ползн	Кратковремен	Полные нагру	✓	✓	✓	✓	✓	1,2	0,35	1
9	✓	Снег	Кратковремен	Полные нагру	✓	✓	✓	✓	✓	1,4	0,7	1
10	✓	Грунт	Постоянные на	Грунты надат	✓	✓	✓	✓	✓	1,15	1	1
11	✓	Ветер_слева	Кратковремен	Ветровые нагр	✓	✓	✓	✓	✓	1,4	0	1
12	✓	Ветер_справа	Кратковремен	Ветровые нагр	✓	✓	✓	✓	✓	1,4	0	1
13	✓	Ветер_спереди	Кратковремен	Ветровые нагр	✓	✓	✓	✓	✓	1,4	0	1
14	✓	Ветер_сзади	Кратковремен	Ветровые нагр	✓	✓	✓	✓	✓	1,4	0	1

Рисунок 3 - Исходные данные для вычисления расчетных сочетаний усилий

Загружения/Комбинации	Коэффициент	
1	Свой_вес	1
2	Стены	1
3	Полы	1
4	Перегородки	1
5	Лестницы пост	1
6	Полезная_1	0
7	Полезная_2	0
8	Лестница ползн	0
9	Снег	0
10	Грунт	1
11	Ветер_слева	0
12	Ветер_справа	0
13	Ветер_спереди	0
14	Ветер_сзади	0

Рисунок 4 - Исходные данные для вычисления комбинаций нагрузок

В результате расчета с использованием комплекса SKAD получены значения вертикальных и горизонтальных перемещений от всех видов нагрузок и их сочетаний.

Относительное перемещение в направлении оси X от нормативных нагрузок для каркаса высотой 19,370 м (с учетом отметки фундамента) составило:

$$\delta = \frac{1,360}{19,37 \cdot 10^3} = 0,000069 = \frac{1}{14286}, \text{ что меньше допустимого равного } [\delta] = \frac{1}{150}.$$

Коэффициент запаса $K = (0,000 - \text{!Синтаксическая ошибка, ,}) / 0,000 \cdot 100\% = \text{!Синтаксическая ошибка, ,}\%$.

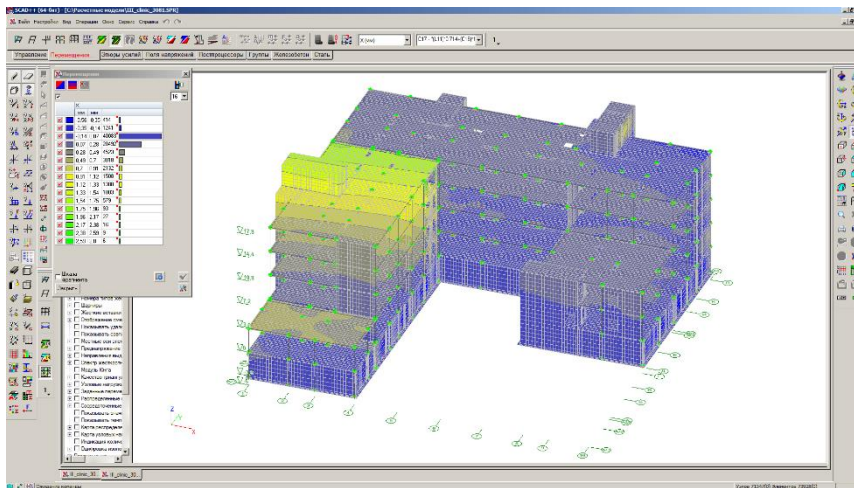


Рисунок 6 - Схема деформаций и значения горизонтальных перемещений в направлении оси "X" от 7 комбинации нагрузок. Вертикальные нагрузки + ветер слева (нагрузки нормативные)

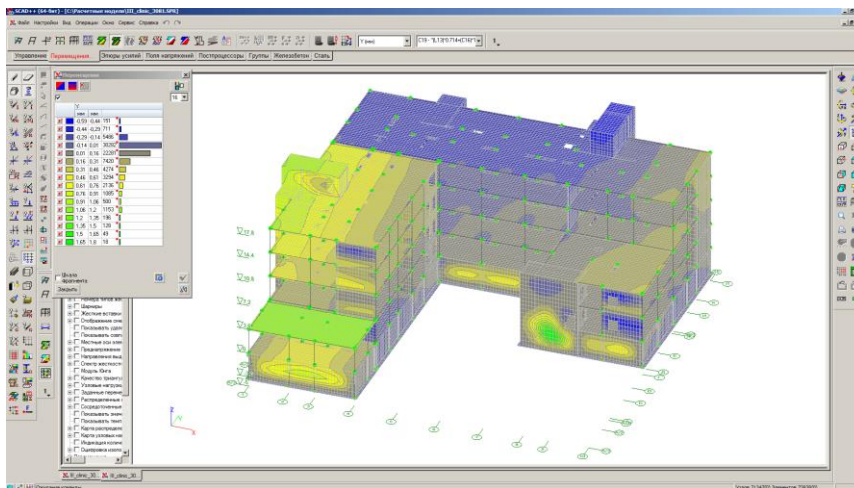


Рисунок 7 - Схема деформаций и значения горизонтальных перемещений в направлении оси "Y" от 9 комбинации нагрузок. Вертикальные нагрузки + ветер спереди (нагрузки нормативные)

В результате расчета получены значения вертикальных и горизонтальных перемещений для всех узлов расчетной схемы без учета совместной работы с грунтовым основанием. Максимальные горизонтальные перемещения каркаса составили 1,360 мм и не превышают предельных, а коэффициент запаса $K =$ **!Синтаксическая ошибка, %**.. Максимальные вертикальные перемещения покрытия каркаса составили 7,01 мм и не превышают предельных, а коэффициент запаса $K =$ **!Синтаксическая ошибка, %**.

Рассмотрим совместную работу монолитного каркаса здания поликлиники с грунтовым основанием. Расчетная схема здания с фундаментной плитой на упругом основании с указанием опорных закреплений по осям X и Y приведена на рис. 8

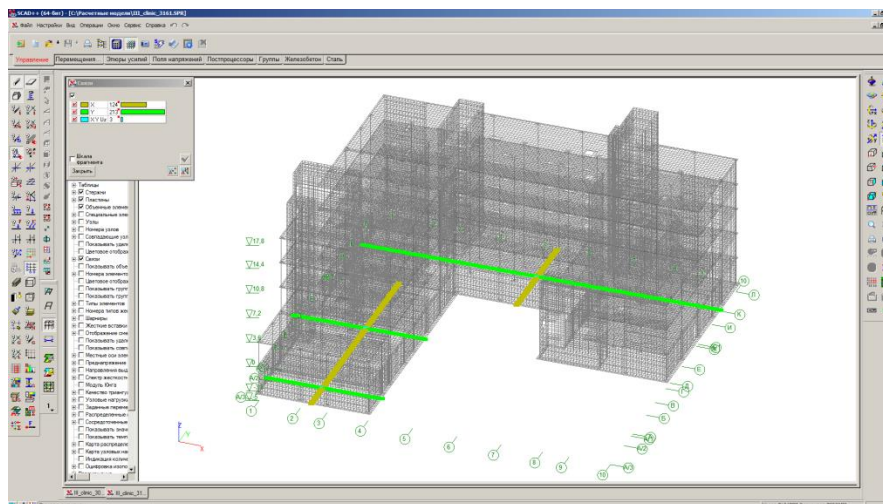


Рисунок 8 - Задание опорных закреплений по осям X и Y

При учете совместной работы каркаса здания с грунтовым основанием необходимо учитывать податливые свойства этого основания. Для этого необходимо рассчитать коэффициенты постели. Коэффициент постели фундаментной плиты определяем при помощи программы "Кросс", входящей в состав программного комплекса "SCAD Office".

Предварительно выполняем посадку здания на участке застройки (рис.9) и увязываем с существующим грунтовым основанием, состав которого показан на рис.10

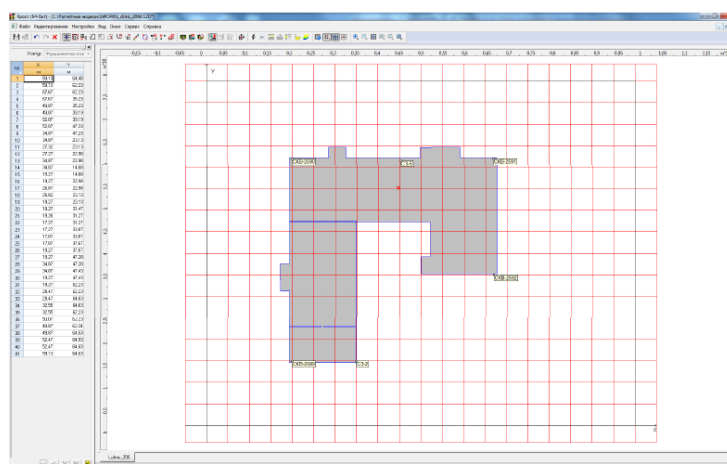


Рисунок 9 - Посадка здания на участке застройки по программе «Кросс»

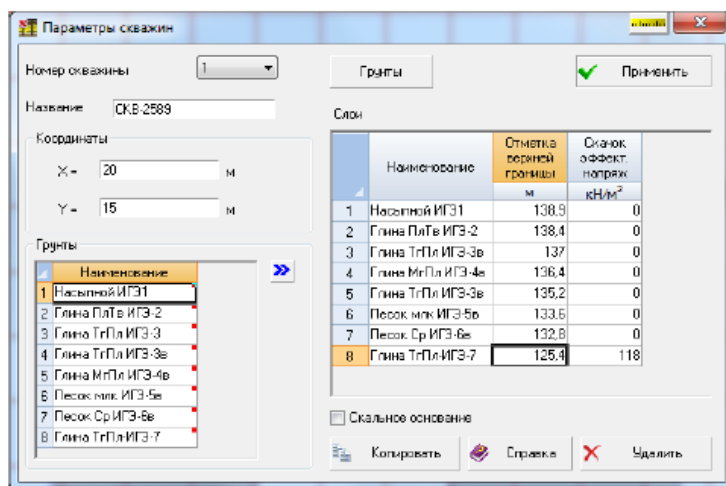


Рисунок 10 - Разрез по скважине

Результат расчета коэффициентов постели по программе "Кросс" приведен на рис. 11.

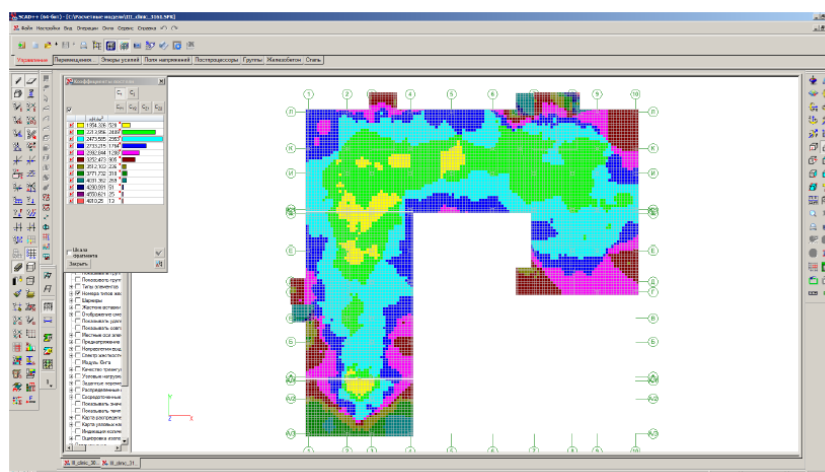


Рисунок 11 - Результат расчета коэффициента постели

Расчетное сопротивление грунта при наиболее неблагоприятных условиях работы сооружения совместно с основанием (в запас прочности) равно при следующих характеристиках:

$$\gamma_{c1} = 1,10;$$

$$\gamma_{c2} = 1,00;$$

$$k = 1,00;$$

$$k_z = 8 / 14,2 + 0,2 = 0,763;$$

$$c_{II} = 14,3 \text{ кПа}$$

$$\text{для } \varphi = 13,5^\circ$$

$$M_{\gamma} = 0,275; \quad M_q = 2,11; \quad M_c = 4,62;$$

$$b = 14,200 \text{ м};$$

$$\gamma_{II} = 10,72 \text{ кН/м}^3; \quad \gamma'_{II} = 13,78 \text{ кН/м}^3;$$

$$d_l = 3,400 \text{ м}; \quad d_b = 0,000 \text{ м};$$

$$R = \frac{1,10 \cdot 1,00}{1,00} \cdot [0,275 \cdot 0,763 \cdot 14,200 \cdot 10,72 + 2,11 \cdot 3,400 \cdot 13,78 + (2,11 - 1) \cdot$$

$$\cdot 0,000 \cdot 13,78 + 4,62 \cdot 14,3] = \text{!Синтаксическая ошибка, , кПа} =$$

$$\text{!Синтаксическая ошибка, , т/м}^2.$$

Среднее давление под подошвой $\sigma = 0,906$ кПа, что меньше допустимого $R = \text{!Синтаксическая ошибка, , кПа}$ – несущая способность основания под подошвой обеспечена. Коэффициент запаса составил $K = (R - \sigma) / R \cdot 100 \% = (464,554 - 103,516) / \text{!Синтаксическая ошибка, ,} \cdot 100 = 77,717\%$

В результате расчета с использованием комплекса "SCAD Office" получены значения вертикальных и горизонтальных перемещений от всех нагрузок и от всех сочетаний нагрузок. Суммарная нагрузка на основание от здания получена из расчета и составила 190418,7 кН.

При площади фундамента $A_f = 1430,0$ кв. м. и коэффициенте надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,15$ среднее давление под подошвой составило

$$\sigma = \frac{190418,7}{1430,0 \cdot 1,15} = 115,791 \text{ кПа.}$$

Это значение меньше расчетного сопротивления грунта равного $\sigma_{np} = 216,5$ кПа. Несущая способность основания будет обеспечена. Коэффициент

$$\text{запаса } K = \frac{s_{np} - s}{s_{np}} \cdot 100\% = \frac{22,1 - 0,906}{22,1} \times 100\% = \text{!Синтаксическая ошибка, ,\%}.$$

На рис.12. показана схема распределения давлений от 6 комбинаций нагрузок.

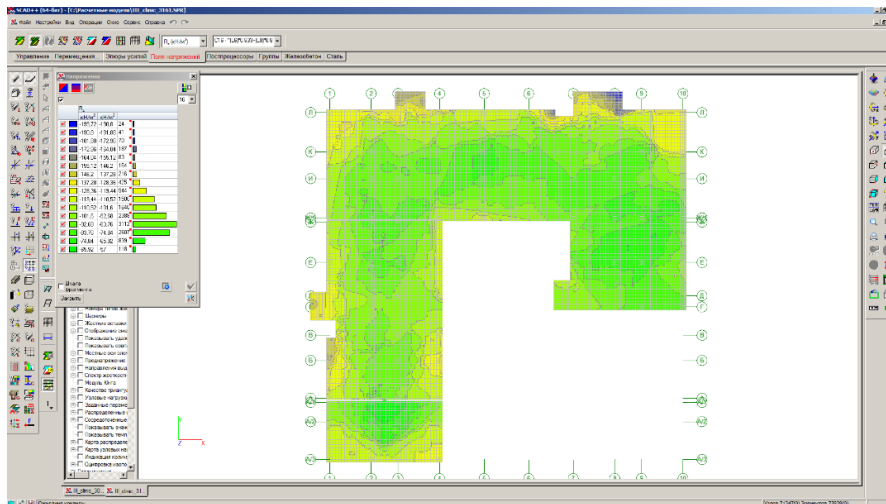


Рисунок 12 - Давление под подошвой от 6 комбинаций нагрузок (вертикальные нагрузки, нагрузки нормативные)

Максимальное давление составило 199,72 кПа, что меньше расчетного сопротивления грунта.

В результате расчета с использованием комплекса "SCAD Office" получены значения вертикальных и горизонтальных перемещений от всех нагрузок и от всех сочетаний нагрузок с учетом совместной работы с грунтовым основанием.

На рис. 13 приведены значения вертикальных перемещений расчетной схемы от второй комбинации нагрузок. На рис.13-14 приведены значения горизонтальных перемещений расчетной схемы от различных комбинаций нагрузок. Максимальное перемещение составило 9,34 мм от 19 комбинации нагрузок на отметке 19,370м. Относительное перемещение от нормативных нагрузок для каркаса высотой 19,370 м составило:

$$\delta = \frac{9,34}{19,370 \times 10^3} = \text{!Синтаксическая ошибка, ,} = \frac{1}{\text{!Синтаксическая ошибка, !}}$$

что меньше допустимого равного $[\delta] = 1 / 500$.

$$\text{Коэффициент запаса } K = \frac{0,002 - \text{!Синтаксическая ошибка, ,}}{0,002} \cdot 100\% =$$

!Синтаксическая ошибка, ,%.

На рис.15 приведены значения вертикальных перемещений фундаментов от различных комбинаций нагрузок, дающих максимальные значения перемещений опорных узлов. Так максимальное абсолютное вертикальное перемещение от принятых комбинаций нагрузок составило $s_{max} = 47,49$ мм. Это значение не превысило предельного равного $[s_{max}] = 150$ мм согласно таблицы Д.1 [4].

$$\text{Коэффициент запаса составил } K = \frac{150 - 47,49}{150} \cdot 100\% =$$

!Синтаксическая ошибка, , %.

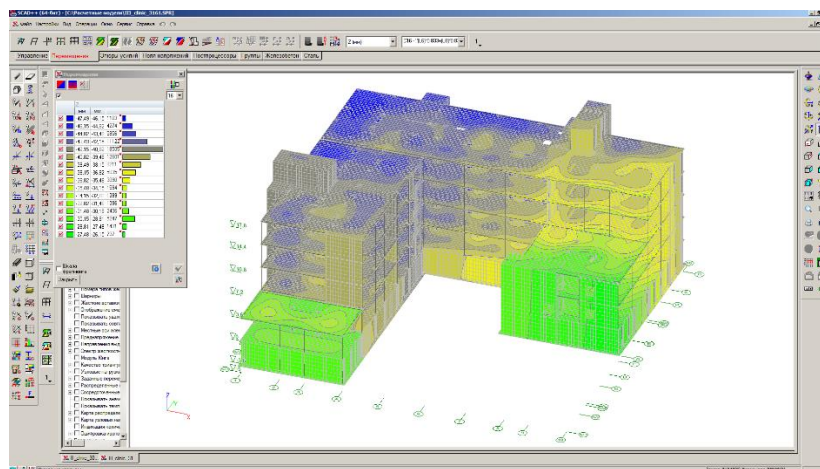


Рисунок 13 - Вертикальные перемещения узлов расчетной схемы от 16 комбинаций нагрузок

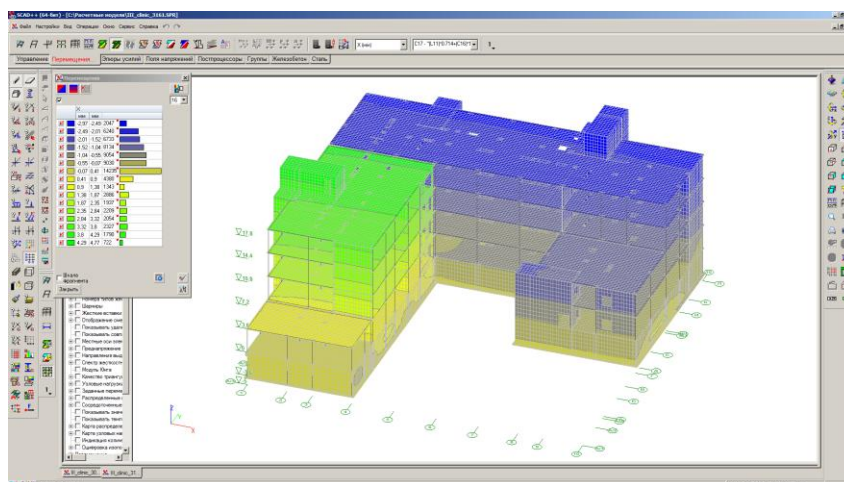


Рисунок 14 - Горизонтальные перемещения узлов расчетной схемы в направлении оси X от восьмой комбинации нагрузок (все вертикальные нагрузки; нагрузки нормативные)

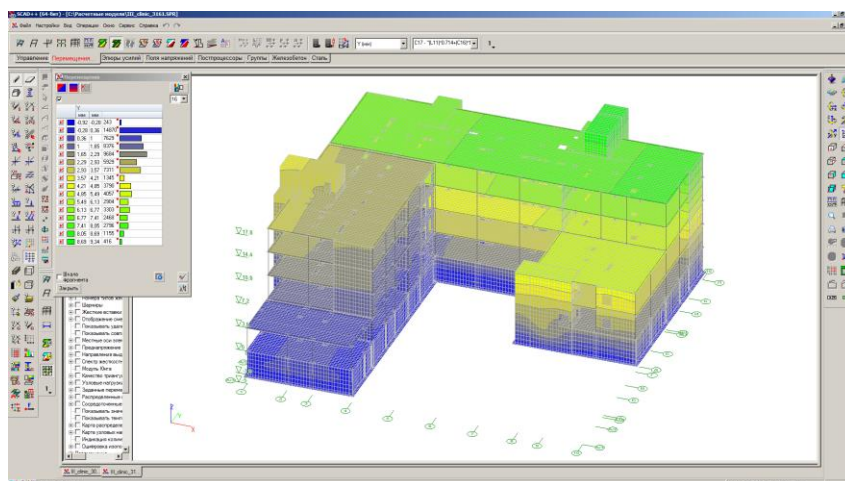


Рисунок 115 - Горизонтальные перемещения узлов расчетной схемы в направлении оси Y от 9 комбинации нагрузок (все вертикальные нагрузки+ветер спереди; нагрузки нормативные)

При расчете монолитного каркаса здания совместно с грунтовым основанием установлено, что горизонтальные перемещения здания составили 9,34 мм и не превышают предельных. Максимальные вертикальные перемещения покрытия каркаса составили 47,49 мм и не превышают предельных, а коэффициент запаса - $K = 1,1$ Синтаксическая ошибка, %.

Полученные в результате расчета значения усилий в опорных узлах расчетной схемы от отдельных загрузений и их комбинаций будут учитываться при расчете фундаментов и основания здания, а также при армировании железобетонных элементов. При этом несущая способность конструкций будет обеспечена. Здание соответствует требованиям по первой и второй группам предельных состояний.

Общие выводы:

Используемый при расчете метод конечных элементов (МКЭ) позволил учесть геометрию конструкций и здания в целом, условий загрузки, параметры материалов и грунтового основания и тем самым, получить результаты, приближенные к работе конструкций здания в реальных условиях.

Учет совместной работы монолитного каркаса здания с фундаментом и грунтовым основанием позволил повысить надежность всех элементов каркаса, а также более рационально распределить конструкционные материалы.

Библиографический список:

1. Федеральный закон от 30 декабря 2009 года №384-ФЗ Технический регламент о безопасности зданий и сооружений. М.: РГ Федеральный выпуск №5079, 2009.

2. ГОСТ Р 54257-2010 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования. М.: Стандартинформ, 2011.

3. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. М.: ОАО ЦПП, 2016.

4. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. М.: ОАО ЦПП, 2017.

5. СП 52-103-2003 Железобетонные монолитные конструкции зданий. М.: ФГУП ЦПП 2007 г.

6. СП 70.13330.2011 Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. М.: ОАО ЦПП, 2012.

7. СП 118. 13330.2012 Общественные здания и сооружения Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009. М.: ОАО ЦПП, 2012.