

УДК 624.131.253

*В.М. Митинский, к.т.н., доц., С.В. Бараник, магистр
Одесская государственная академия строительства и архитектуры
В.Т. Чепелев, зам. директора
КП «Будова»*

*Н.Л. Зоценко, д.т.н., профессор, Ю.Л. Винников, д.т.н., профессор, М.А. Харченко, к.т.н.
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

ОПЫТ УСТРОЙСТВА ФУНДАМЕНТОВ И УКРЕПЛЕНИЯ ИХ ОСНОВАНИЯ В ЗОНЕ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК

Представлено экспериментально-теоретическое обоснование устройства свайно-плитного фундамента трехсекционного жилого дома в зоне подземных выработок в г. Одессе.

Ключевые слова: *свайно-плитный фундамент, подземные выработки, буроинъекционные сваи, метод конечных элементов.*

*V.M. Mitinsky, Reader, Dr-Ing., S.V. Baranik.
Odesa State Academy of Architecture and Civil Engineering
N.L. Zotcenko, Prof., DrSc., Y.L. Vynnykov, Prof., DrSc., M.A. Kharchenko, Dr-Ing.
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*

ОПЫТ УСТРОЙСТВА ФУНДАМЕНТОВ И УКРЕПЛЕНИЯ ИХ ОСНОВАНИЯ В ЗОНЕ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК

Представлено экспериментально-теоретическое обоснование устройства свайно-плитного фундамента трехсекционного жилого дома в зоне подземных выработок в г. Одессе.

Ключевые слова: *свайно-плитный фундамент, подземные выработки, буроинъекционные сваи, метод конечных элементов.*

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными практическими заданиями. Для современных многоэтажных комплексов наиболее часто используются свайно-плитные фундаменты [1 – 7]. Строительство высотных зданий в условиях стесненной существующей застройкой и осложненных подземными выработками, как правило, применяются фундаменты глубокого заложения, которые устраивают без выемки грунта из свай заводского изготовления. В этих условиях сваи устраивают ниже уровня подземных выработок с остановкой в плотных грунтах, а для снижения динамических воздействий на основание их погружают вдавливанием. При этом технической проблемой является то, что нагрузка от высотных зданий – достаточно большая, а поэтому сваи приходится выполнять большого сечения и погружать их достаточно глубоко. Таким образом, ввиду технологических сложностей использование свай заводского производства ограничено. Решением этой проблемы является использование разного вида буровых свай, но тогда возникают сложности их устройства при проходке подземных выработок.

На современном этапе строительства высотных зданий в городских условиях в зоне подземных выработок актуальным вопросом является накопление и анализ

опыта устройства эффективных фундаментов, обеспечивающих надежность их совместной работы с основанием [4 – 10].

Анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение проблемы. Опыт устройства фундаментов в зоне подземных выработок приведен в работах [4 – 10]. Из анализа этих исследований для решения проблемы устройства буровых свай в зонах подземной выработки наиболее популярна технология крепления выработки тампонируанием ее полости с последующим устройством свай.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья. Решения по устройству фундаментов из буроинъекционных свай большого диаметра в грунтах сложенных напластованием неоднородных известняков с подземными выработками требуют, как экспериментального обоснования, так и численного моделирования и пока являюся дискуссионным вопросом современной геотехники.

Поэтому **целью работы** является экспериментально-теоретическое обоснование устройства свайно-плитных фундаментов трехсекционного жилого дома в грунтовых условиях сложенных неоднородными грунтами и осложненных наличием подземных выработок.

Изложение основного материала исследований. Объект исследований – 22...24 - этажный жилой дом по ул. Генуэзская, 24 д в г. Одессе, состоящий из трех отдельных секций с двухуровневым подземным паркингом. Жилые секции имеют следующие размеры в плане: секция №1 – 32х25 м; секция №2 – 25х24 м; секция №3 – 29х24 м (рис. 1). Конструктивное решение секций – бескаркасные здания с несущими стенами из монолитного железобетона.

а



б

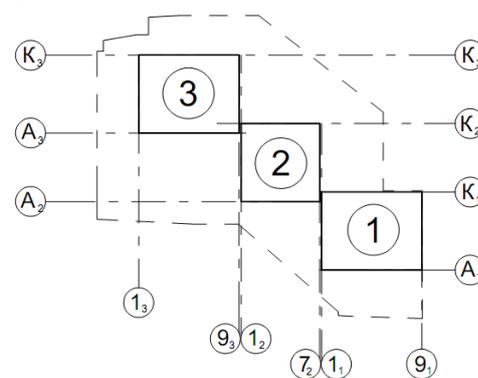


Рисунок 1 – Общий вид котлована и свайного поля (а), схема расположения секций здания (б)

Площадка строительства расположена в зоне существующей застройки и примыкает к эксплуатируемым зданиям. В геоморфологическом отношении площадка строительства приурочена к правому склону Аркадийской балки с абсолютными отметками поверхности 25,0...33,6 м. Природный рельеф территории изменен в процессе ранее проводившихся планировочных и строительных работ.

В геологическом строении площадки принимают участие четвертичные эолово-делювиальные лессовые суглинки. Ниже по разрезу залегают верхнеплиоценовые красно-бурые глины, которые подстилаются известняками понтического яруса неогена и мезотическими глинами (ИГЭ-9). Первый от поверхности водоносный горизонт, приуроченный к подошве понтических известняков, залегает на глубине 17,0...23,4 м (абс. отм. – 9,1...9,6 м). Горизонт межпластовый, безнапорный.

При бурении поисковых скважин были обнаружены подземные выработки («катакомбы»). Обследованные выработки (региональный индекс К-70) в свету имеют высоту от 2,0 до 1,3 м, К-71 – от 2,4 до 1,4 м. Уменьшение высоты связано с заиливанием через ствол dna выработок почвой. Ширина выработок различна. В К-70 около ствола она составляет 1,5 м, в добычных выработках (в забоях) увеличивается до 4,0 м. Ширина выработок К-71 около ствола равна 1,5 м, а в добычных выработках увеличивается до 3,5 м. В некоторых местах ширина выработок достигает 5,5 м. Коэффициент подработки для К-70 составляет 0,25 (это означает, что 25% площади участка находятся над пустотой), для К-71 – 0,28.

На момент осмотра выработок, горнотехническое состояние их было удовлетворительным (рис. 2). Деформации кровли и стен – незначительны.



Рисунок 2 – Общий вид подземных выработок

Выработки сохранилось в ненарушенном состоянии, что связано со спецификой строения толщи известняка, где над пыльным слоем залегает

перекристаллизованный цементированный известняк – плита. Однако на небольшом участке отмечено обрушения кровли мощностью до 20 см. Принято решение о выполнении крепления выработок. Способ крепления принят традиционный для г.Одессы - гидрозамыв песчаной пульпой с последующим «подбучиванием» кровли выработок цементно-песчаным раствором.

В качестве фундаментов каждой из секций принят свайно-плитный вариант. Сваи приняты буронабивные и буроинъекционные диаметром 630 мм, длиной 11...12 м с остановкой в ИГЭ-7 – известняке-ракушечнике. По сваям устроен плитный монолитный ростверк толщиной 1,5 м. На участках, в пределах пятна здания, где выработки отсутствуют - приняты буронабивные сваи, в местах наличия выработок – буроинъекционные, изготавливаемые с использованием проходного шнека. Также на отдельных участках выработок, как под «пятном» секций, так и на определенном по расчету расстоянии за пределами «пятна» запроектированы буроинъекционные сваи усиления. Использование буроинъекционных свай обусловлено тем, что они могут устраиваться без обсадки в выработках, которые затампонируются песком.

Схема расположения выработок и свайного поля приведены на рис. 3, а привязка свай к инженерно-геологическим колонкам показана на рис. 4. При этом точность совмещения схемы расположения подземных выработок с планом дневной поверхности составила 0,7м.

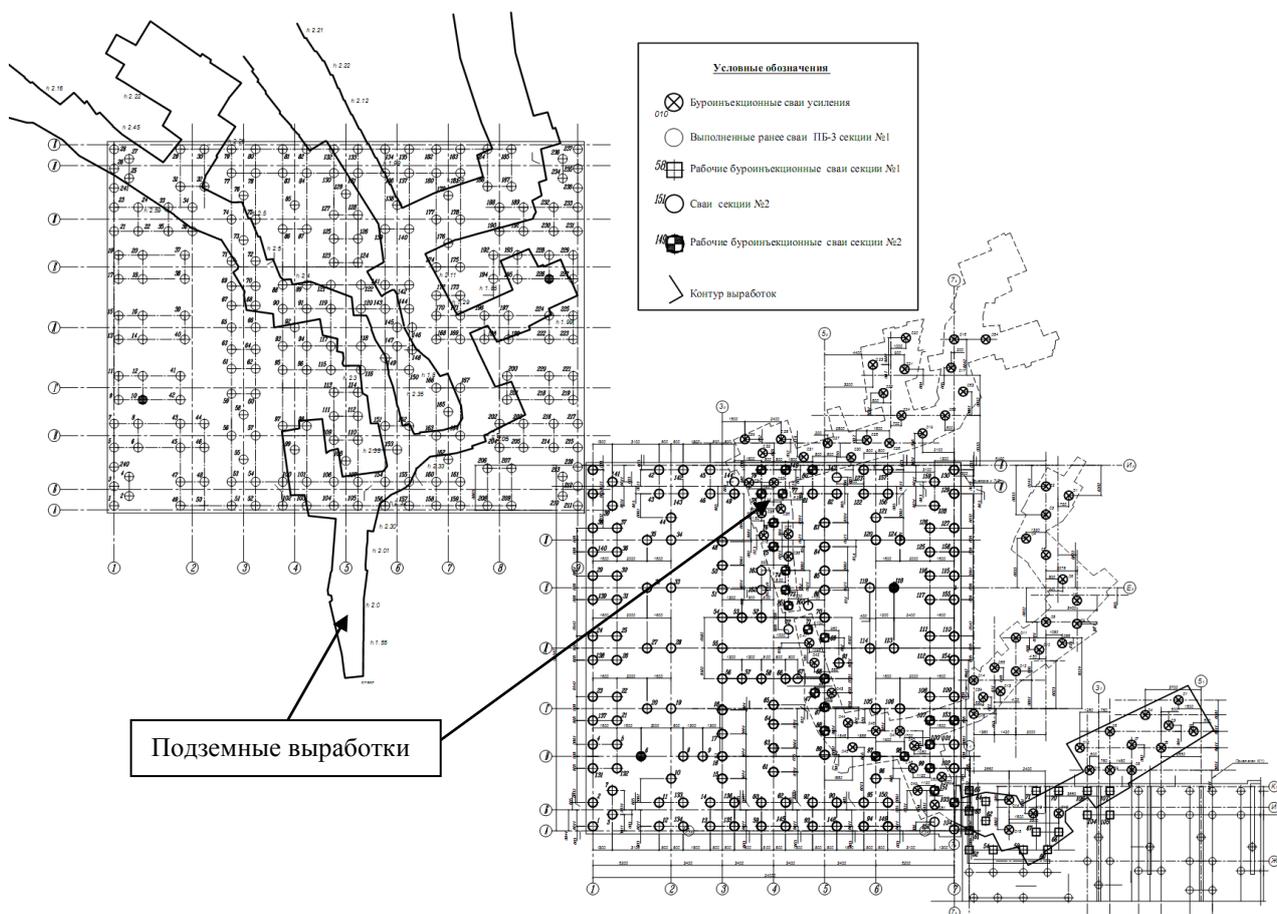


Рисунок 3 – Схема расположения выработок и свайного поля (укрепление выработок в районе 3-ей секции условно не показано)

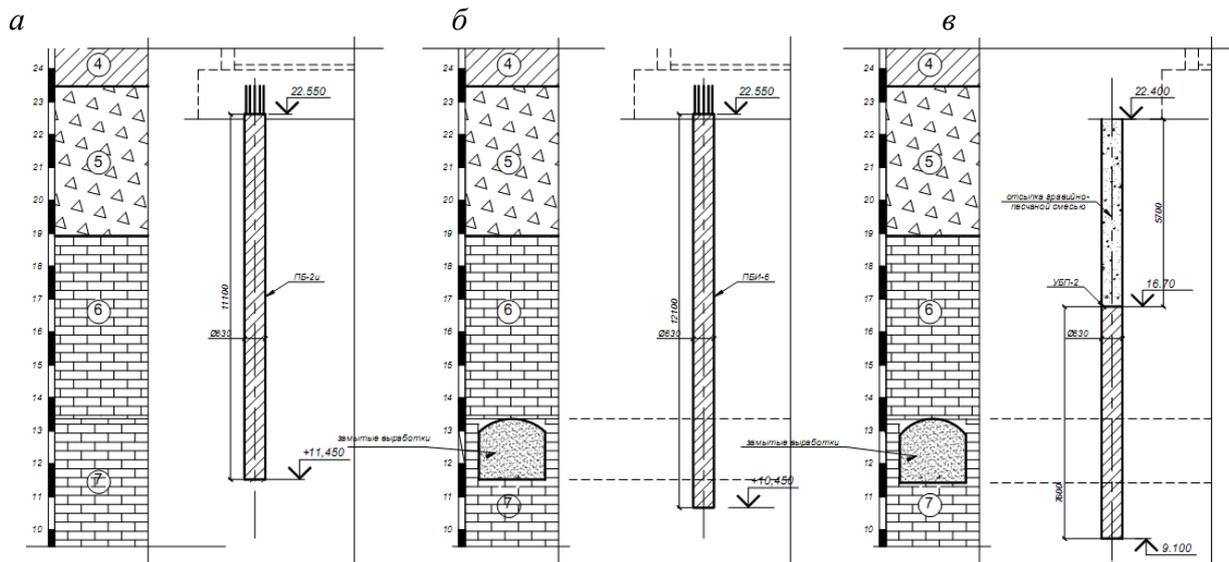


Рисунок 4 – Схема устройства свай секции №2: а – рабочая свая вне зоны выработки; б – рабочая свая, которая попадает в зону выработки; в – свая усиления; ИГЭ-4 – глина твердой консистенции, с включением карбонатов; ИГЭ-5 – известняк выветрелый до глыб, щебня, дресвы, с глинистым заполнителем, маловлажный, влажный; ИГЭ-6 – известняк плитчатый, трещиноватый, низкой прочности, с прослоями низкой прочности, маловлажный; ИГЭ-7 – известняк трещиноватый, низкой прочности, «пильный камень», маловлажный, влажный

Свойства известняков, в основном, изучались в лабораторных условиях [13]. Для уточнения свойств грунтов выполнены натурные испытания буронабивными сваями диаметром $\varnothing 500$ мм (рис. 5) на площадке строительства секции №1. Опытная свая ИС-1 испытана на действие вдавливающих нагрузок, сваи ИС-2 и ИС-3 – на действие выдергивающих нагрузок. При этом рабочая длина свай составляла: для ИС-1 – 11,45м, ИС-2 – 1,24м, ИС-3 – 1,75м. По результатам испытаний сваи ИС-1 нагрузка на сваю доведена до 2000кН, стабилизированная осадка составила 0,95мм.



Рисунок 5 – Нагрузки сваи выдергивающими нагрузками

По данным испытания сваи ИС-2, работающей в известняке-ракушечнике (ИГЭ-7), предельная выдергивающая нагрузка на сваю при стабилизированном перемещении 0,67 мм составила 325 кН. При дальнейшем росте перемещения сваи воспринимаемая сваей нагрузка снижалась и при стабилизированном перемещении равном 15 см составила 255 кН. При испытании сваи ИС-3 из-за обрыва арматурных стержней выдергивающая нагрузка доведена до 800 кН при стабилизированном перемещении 0,45 мм.

Условия работы известняка ИГЭ-6 на срез определены путем испытания его штампом, размещенным над выработкой. Процесс установки штампа в предварительно устроенную скважину с устроенным над выработкой целиком мощностью 0,5 м приведено на рис. 6. По данным испытаний среднее удельное сопротивление известняка на поверхности отрыва составило $R_{ср1} = 0,28$ МПа при разрушении по плоскости, наклоненной под углом 33° к вертикали. Также были выполнены испытания известняков штампами, расположенными в выработках, для оценки их сжимаемости. Для отобранных из выработок образцов определялась прочность на сжатие и сопротивление при срезе.

Анализ условий работы свайно-плитного фундамента, которые характеризуются наличием под напластованиями известняка более слабого подстилающего слоя (ИГЭ-8) показал, что существует опасность среза слоев известняков (ИГЭ-6 и ИГЭ-7) на участках, ослабленных выработками. Принято решение в этих зонах устроить дополнительные усиливающие элементы в виде буроинъекционных свай.



Рисунок 6 – Общий вид штампа для испытаний ракушечника на продавливания

В расчетной схеме сопротивление песка тампонирувания выработок не учитывалась из-за возможного наличия после тампонирувания выработок полостей, образующихся в так называемых прикладах. Кроме того, подошва выработок на толщину до 30...50см покрыта отходами камнепиления, плотность сложения которых составляет 1,35...1,45г/см³. Не всегда «подбучивание» полностью ликвидирует зазор между замытым песком и кровлей выработки.

Назначение усиливающих буроинъекционных свай – восприятие растягивающих усилий, возникающих от касательных напряжений по условным границам среза, и передача сжимающих усилий на массив грунта выше и ниже выработок за счет их работы по боковой поверхности. При этом длина заделки, шаг, диаметр и армирование свай усиления приняты из расчета, что равнодействующая нормальных напряжений от дополнительных нагрузок, приходящихся на определенную площадь участка с выработками в плане, полностью воспринимается сечениями усиливающих свай, расположенных на данном участке. Другими словами, эти параметры определялись, исходя из условия равнопрочности неослабленных выработками наклонных сечений слоев известняка-ракушечника и прочности сечения усиливающей сваи на растяжение и суммарных усилий по ее боковой поверхности.

Зона расстановки усиливающих свай в плане определялась исходя из минимального и максимального угла наклона плоскости среза к вертикали, которые были приняты соответственно 30° и 45°. Таким образом, участки с выработками исключены из работы массива и заменены на усиливающие сваи как при учете нормальных, так и касательных напряжений. При этом усилия от рабочих свай на грунты основания и на усиливающие сваи по их длине передаются равномерно, за счет трения по боковым поверхностям свай. Поэтому деформации грунтов основания, рабочих и усиливающих свай на произвольной глубине в пределах рассматриваемой толщи равны между собой.

На следующем этапе выполнялась проверка прочности слоев известняка и усиливающих свай по максимальным расчетным усилиям с учетом сейсмических воздействий.

Обоснованность принятых решений по устройству свайных фундаментов и крепления их основания в зоне подземных выработок в пятне жилых секций выполнялось численным моделированием методом конечных элементов (МКЭ) напряженно-деформированного состояния (НДС) основания свайно-плитного фундамента.

При моделировании МКЭ НДС системы «здание – свайно-плитный фундамент – основание с подземными выработками» («здание – свайно-плитный фундамент – основание в зоне подземных выработок») использованы плоская и пространственная расчетная схема. Моделирование плоской схемы (2D) выполнено в программном комплексе Plaxis 8.2 Profesional Version, пространственной схемы (3D) – в Plaxis 3D Foundation (Version 1.6).

Свойства и параметры инженерно-геологических элементов (ИГЭ), с которых состоит основание, свай, фундаментной плиты и ограждения котлована приведено в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Механические модели и физико-механические свойства основания

№ ИГЭ, наименование материала	Модель материала	Удельный вес		Удельное сцепление с, кПа	Угол внутреннего трения φ , °	Модуль деформации (упругости) E, МПа	Коэффициент Пуассона ν
		грунта γ , кН/м ³	водонасыщенного грунта γ , кН/м ³				
1	MC Drained	15,0	17	8	10	8	0,30
2	MC Drained	17,7	17,7	21	18	7	0,30
3	MC Drained	18,0	18,0	18	19	8	0,30
4	MC Drained	18,5	18,5	43	16	14	0,30
5	HSM Drained	18,4	18,4	27	30	10/100*	0,30
6	JRM Drained	20,0	20,0	280	28	100	0,15
7	JRM Drained	14,5	14,5	200	28	40	0,15
8	JRM Drained	22,0	22,0	280	30	100	0,15
9	MC Drained	18,7	18,7	44	16	16	0,30
10	MC Drained	19,2	19,2	48	18	18	0,30
11	MC Drained	19,9	19,9	64	20	21	0,30
Tamponag**	MC Drained	19,2	19,2	1	30	25	0,30

Примечания:

* – модуль упругости;

** – гидрозамыв выработки песком средней крупности при фактической плотности скелета грунта 1,60 г/см³.

Таблица 2

Механические модели и физико-механические свойства конструктивных элементов

№ ИГЭ, наименование материала	Модель материала	Удельный вес γ , кН/м ³	Нормальная жесткость EA, кН/м.п.	Изгибная жесткость EI, кПа/м.п.	Модуль упругости E, МПа	Коэффициент Пуассона ν
Свая	Linear Elastic	25,0	$9,34 \cdot 10^6$	$1,48 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^4$	0,20
Плита	Linear Elastic	25,0	$4,05 \cdot 10^7$	$7,59 \cdot 10^6$	$2,3 \cdot 10^4$	0,20
Ограждение котлована	Linear Elastic	25,0	$2,26 \cdot 10^6$	$1,44 \cdot 10^4$	$2,3 \cdot 10^4$	0,20

При использовании пространственных расчетных схем были выполнены ее упрощения: 1) надземная и подземная часть здания заменялась объемными элементами (кластерами) по линейно упругой модели с приведенными характеристиками: модуль деформации $E=30$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu=0,20$, удельный вес $\gamma=44$ кН/м³ (удельный вес соответствует весу всего здания деленное на объем его подземной части для моделирования давления на основание); 2) буринъекционные сваи и массив грунта вокруг них

представляется как единое целое квазиоднородное тело конечной жесткости, которое характеризуется приведенными модулями общей деформации ($E_{пр}$) и коэффициентами Пуассона ($\nu_{пр}$), удельный вес определяется как средневзвешенная величина между грунтом и бетоном по площади.

Для определения параметров квазиоднородного тела конечной жесткости использована методика [6]. При этом для эквивалентного свайно-грунтового массива определены следующие характеристики $E_{пр}=200$ МПа, $\nu_{пр}=0,25$, $\gamma_{пр}=20$ кН/м³. Пространственная конечно-элементная расчетная схема для моделирования взаимного влияния фундаментов и основания с подземными выработками приведена на рис. 7

Задача выполнялась поэтапно: 1) гравитационная загрузка расчетной области с существующими подземными выработками собственным весом грунта и моделирование начального НДС грунтового массива (Gravity Loading); 2) устройство котлована, гидрозамыв полости пятна выработки, устройство свай и фундаментной плиты, а также моделирование загрузки от возведения секции №1 (Sextion1), рис. 8; 3) устройство котлована, гидрозамыв полости пятна выработки, устройство свай и фундаментной плиты, а также моделирование загрузки от возведения секции №2 (Sextion2), рис. 9; 4) устройство котлована, гидрозамыв полости пятна выработки, устройство свай и фундаментной плиты, а также моделирование загрузки от возведения секции №3 (Sextion3), рис. 10.

В результате численного моделирования получены максимальные вертикальные перемещения основания свайно-плитного фундамента после строительства секции №1 – $S=9,9$ см. Крен фундаментной плиты в сторону подземной выработки менее $i=0,0008$.

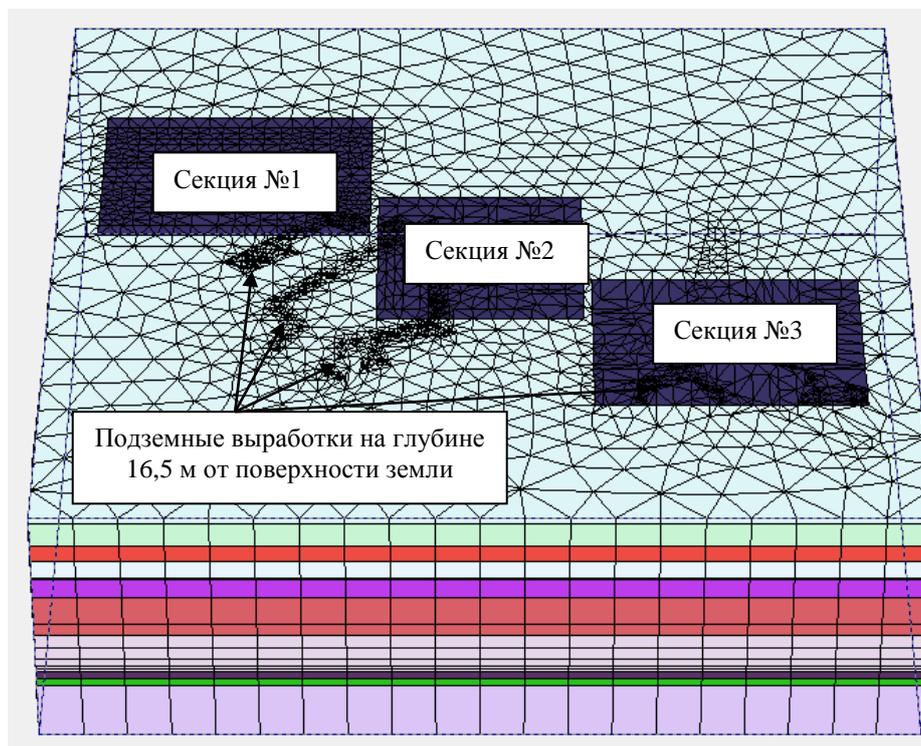


Рисунок 7 – Пространственная расчетная схема для моделирование взаимного влияния фундаментов и основания с подземными выработками секций №1, №2 и №3

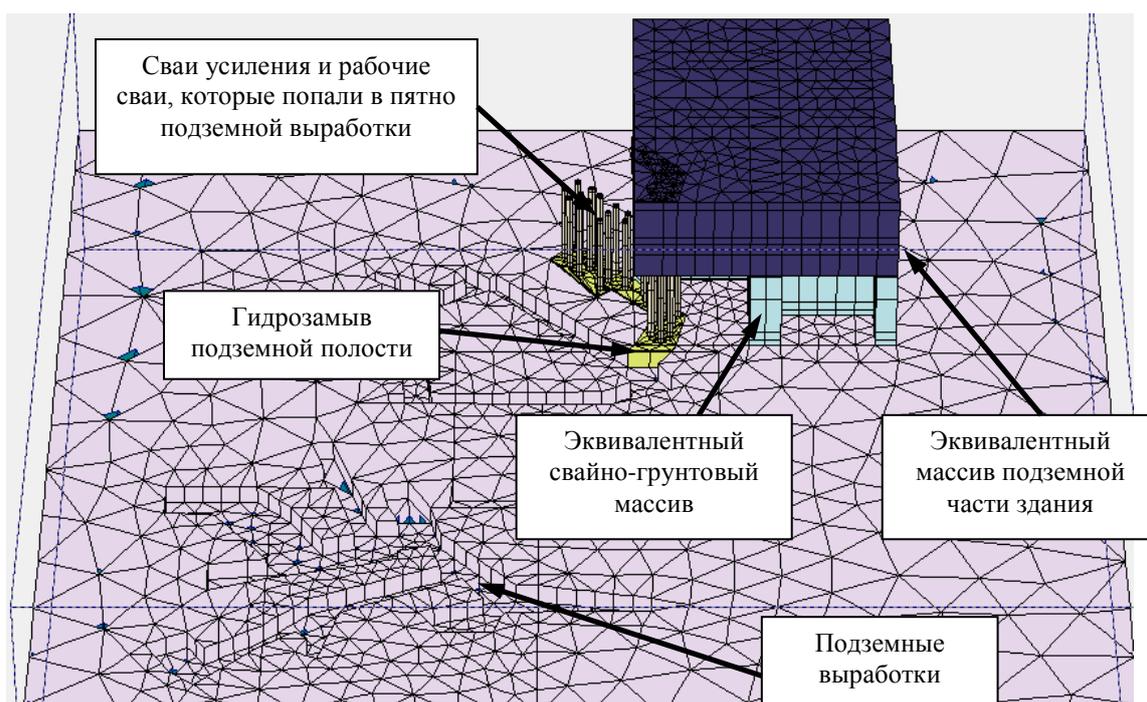


Рисунок 8 – Расчетная пространственная КЭ схема 2-го этапа моделирования с выключенными кластерами ИГЭ-1...ИГЭ-5

Максимальные вертикальные перемещения основания после строительства секции №2 составят $S=8,6$ см (рис. 11), а крен фундаментной плиты – менее $i=0,0006$. Дополнительные осадки секции №1 от возведения секции №2 будет около $S_{\text{доп}}=1,5$ см. При этом крен фундаментной плиты составит $i=0,0016$.

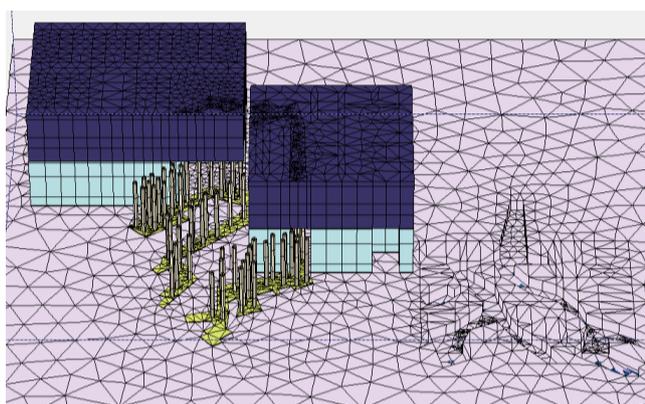


Рисунок 9 – Расчетная схема (2-ой этап моделирования)

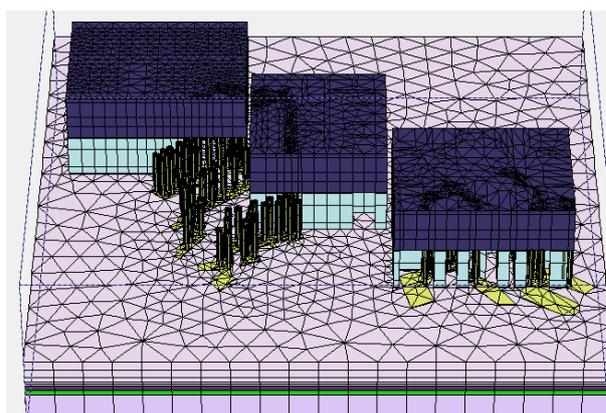


Рисунок 10 – Расчетная схема (3-ий этап моделирования)

Максимальные вертикальные перемещения основания после строительства секции №3 составят $S=9,9$ см (рис. 11), крен фундаментной плиты в сторону подземной выработки – менее $i=0,0008$. Дополнительные осадки секции №2 от возведения секции №3 составят около $S_{\text{доп}}=1,8$ см при крене фундаментной плиты – $i=0,0016$. Влияния строительства секции №3 на секцию №1 не будет.

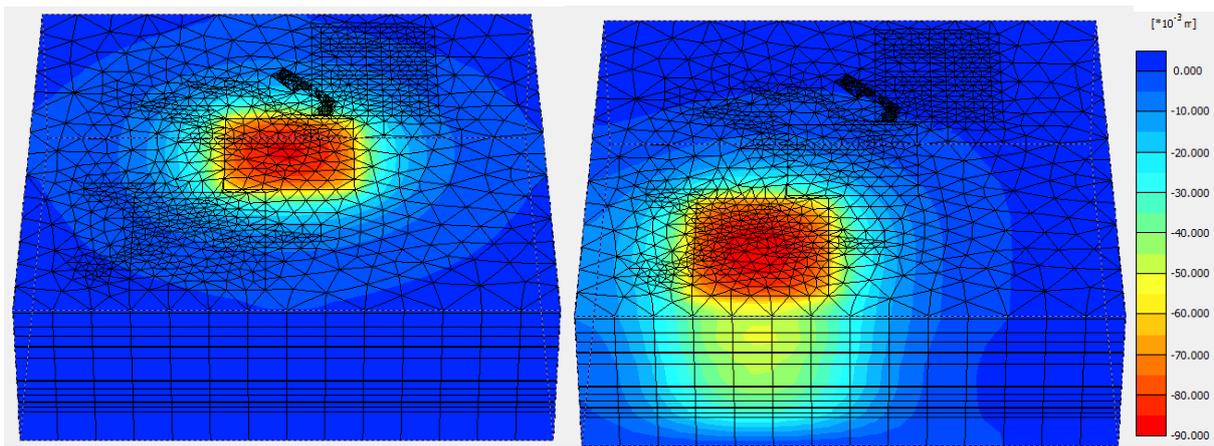


Рисунок 11 – Изополя вертикальных перемещений для 3D сетки после строительства второй секции и третьей секции

Заметим, что максимальные суммарные осадки и крен не превысят предельно допустимые значения [14] $S_u=18$ см, $i_u=0,005$.

Для пятна жилой секции №2 дополнительно выполнено моделирования в плоской постановке по двум опасным сечениям – вдоль и поперек выработки.

Задача решена в несколько этапов: 1) гравитационная загрузка расчетной области собственным весом грунта и определение начального НДС грунтового массива (Gravity Loading); 2) устройство ограждения котлована и выемка грунта (Pit Excavation) приложение; 3) выполнение гидрозамыва выработки песком средней крупности (Tamponag); 4) устройство основных и усиливающих буроинъекционных свай (Pile Instalation); 5) устройство фундаментной плиты и ее проектная загрузка от веса всего здания (Foundation Plate & Loading), рис. 12.

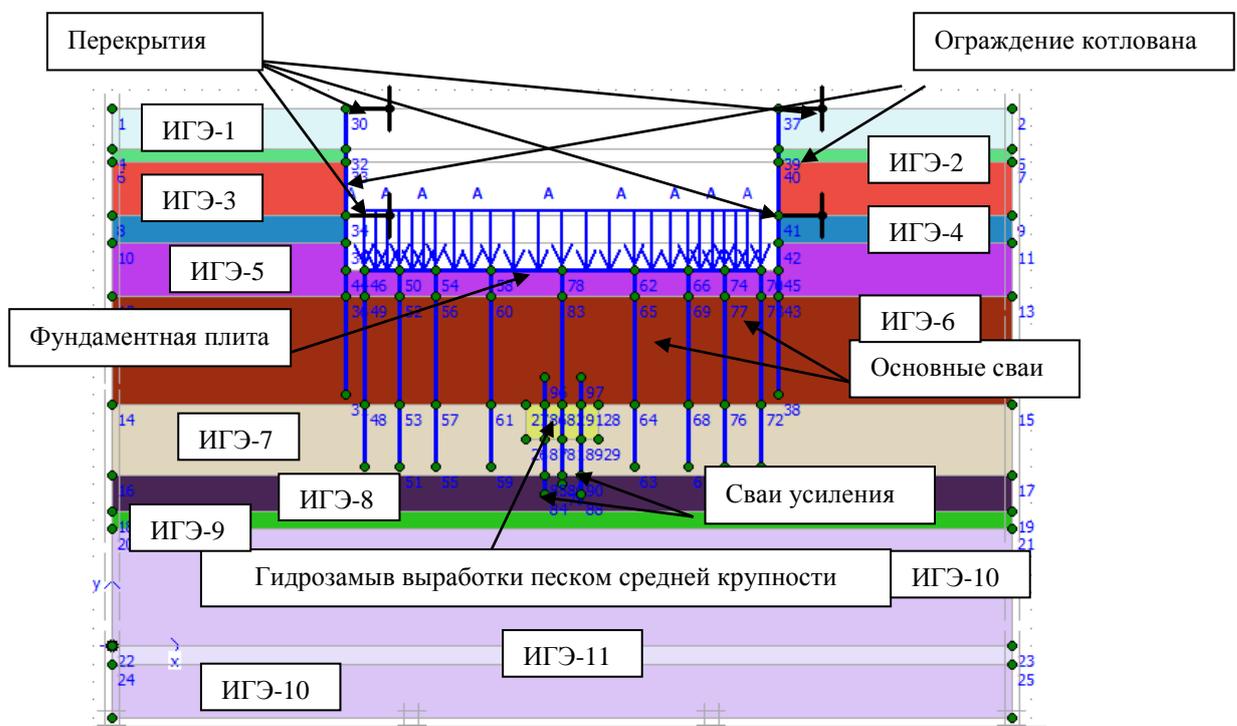


Рисунок 12 – Расчетная схема (сечение 2-2) для моделирования НДС системы «З – СПФ – ОПВ» в плоской постановке

В результате моделирования в плоской постановке (рис. 13) наибольшая осадка основания фундаментов по сечению 1-1 составила $S=13,4$ см, по сечению 2-2 – $S=15,8$ см, что не превышает требования норм [14]. Прочность сваи усиления по материалу обеспечена, и она может воспринять касательные напряжения по условным границам среза в местах подземных выработок.

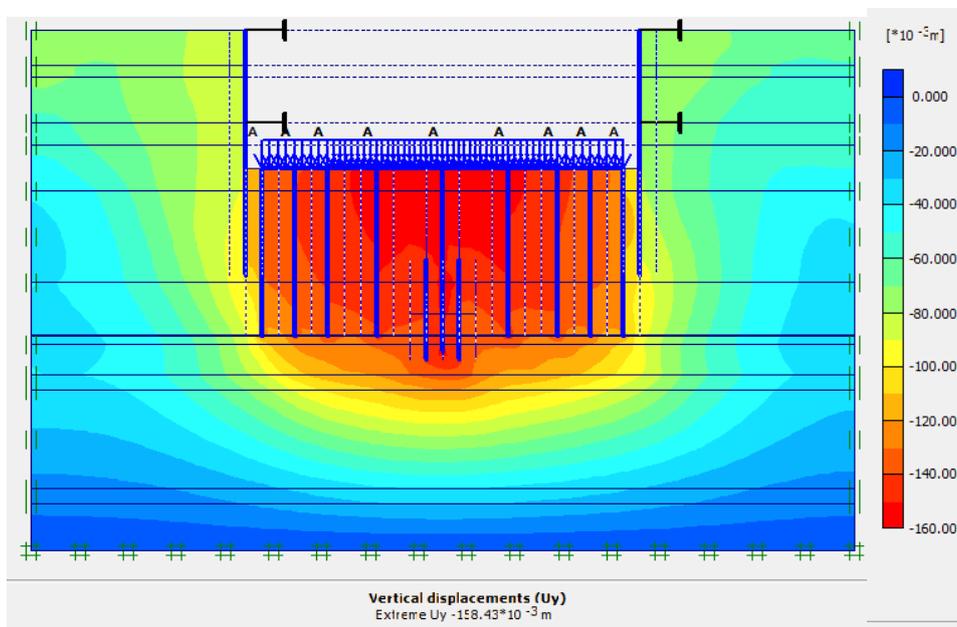


Рисунок 13 – Изополя вертикальных перемещений на последнем этапе расчета (по сечению 2-2)

Выводы. На основе численного моделирования методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния основания свайно-плитного фундамента, выполненного с использованием данных результатов натурных исследований грунтов на площадке строительства, авторами разработано достаточно простое и надежное проектное решение по устройству свайно-плитных фундаментов секций многоэтажного жилого дома и укреплению их основания в зоне подземных выработок.

Литература

1. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти: Підручник / М.Л. Зоценко, В.І. Коваленко, А.В. Яковлев, О.О. Петраков, В.Б. Швець, О.В. Школа, С.В. Біда, Ю.Л. Винников. – Полтава: ПНТУ, 2004. – 568 с.
2. Бойко І.П. Напружено-деформований стан фундаментів багатосекційних будинків / І.П. Бойко, В.С. Носенко // Будівельні конструкції: міжвід. наук.-техн. зб. наук. праць (буд-во). – К.: ДП НДІБК, 2011 – Вип. 75. – Кн. 2. – С. 159 – 163.
3. Катценбах Р. Последние достижения в области фундаментостроения высотных зданий на сжимаемом основании / Р. Катценбах // Вестник МГСУ: научн.-техн. журнал. – 2006. – №1. – С. 105 – 118.
4. Мангушев Р.А., Осокин А.И. Геотехника Санкт-Петербурга: Монография. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 264 с.
5. Улицкий, В.М. Геотехническое сопровождение развития городов (практическое пособие по проектированию зданий и подземных сооружений в условиях плотной застройки) / В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин. – СПб.: Стройиздат Северо-Запад, 2010. – 552 с.
6. Тер-Мартирасян З.Г. НДС системы «основание – свайный фундамент – здание» с промежуточной подушкой при сейсмическом воздействии / З.Г. Тер-Мартирасян, А.З. Тер-Мартирасян, А.Ю. Мирный // Сб. статей науч.-техн. конф. «Численные методы расчетов в практической геотехнике». – С-Пб: СПбГАСУ, 2012. – С. 183–190.
7. Зоценко М.Л. Ґрунтоцементні основи та фундаменти / М.Л. Зоценко // Будівельні конструкції: міжвід. наук.-техн. зб. наук. праць (буд-во). – К.: ДП НДІБК, 2011 – Вип. 75. – Кн. 1. – С. 447 – 456.
8. Зоценко Н.Л. Влияние подземных ходов на деформирование здания Полтавского краеведческого музея / Н.Л. Зоценко, С.В. Беда, Ю.И. Великодный // Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях: Тр. Российской конф. с междунар. участием. – Уфа: БашНИИстрой. – 2012. – С. 42 – 50.
9. Готман Н.З. К вопросу о расчете плитных фундаментов подземных сооружений на закарстованных территориях / Н.З. Готман, М.З. Каюмов // Фундаменты глубокого заложения и проблемы освоения подземного пространства. – Тр. междунар. конф. – Пермь: Изд-во Пермского национального исследоват. политехнического ун-та, 2011. – С. 114 – 119.
10. Петраков А.А. Определение коэффициента жесткости основания в зоне разуплотнения основания / А.А. Петраков, А.В. Кухарь // Зб. наук. праць (галузеве машинобуд., буд-во) / Полт. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – Вип. 3 (28). – Полтава: ПНТУ, 2010. – С. 202 – 206.
11. Ильичев В.А. Опыт устройства котлованов в городе Москве / В.А. Ильичев, В.В. Знаменский, Е.Б. Морозов, Д.Ю. Чунюк // Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции: Сб. тр. науч.-техн. конф. / Санкт-Петербургский госуд. архит.-строит. ун-т. – СПб., 2010. – С. 33 – 37.
12. Митинский В.М. Обоснование конструктивных решений ограждений котлованов и мониторинг их работы / В.М. Митинский, С.В. Бараник // Будівельні конструкції: міжвід. наук.-техн. зб. наук. праць (буд-во). – К.: ДП НДІБК, 2011 – Вип. 75. – Кн. 2. – С. 239 – 247.
13. Новский В.А. Исследование механических характеристик известняка-ракушечника, определяющих сопротивление буронабивных свай нагрузкам / В.А. Новский, Ю.Ф. Тугаенко // Зб. наук. праць (галузеве машинобуд., буд-во) / Полт. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. Вип. 3 (28). – Полтава: ПНТУ, 2010. – С. 198 – 201.
14. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти будівель і споруд. Основні положення проектування – К.: Мінрегіонбуд України. – 2009. – 107 с.