

В. М. Митинский, канд.техн. наук, доцент
Одесская государственная академия строительства и архитектуры
Е. А. Черкез, док. геол.-мин. наук, профессор
Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова

Городское строительство на площадках с подземными выработками (катакомбами)

Аннотация: Приводятся особенности распространения, горно-техническое состояние и характеристика подземных выработок (катакомб) на территории г. Одессы. По результатам дополнительных исследований выявлены условия строительства на подработанной территории высотных зданий жилого комплекса.

Ключевые слова: известняк-ракушечник, подземная выработка, тампонирующее, свайный фундамент, продавливание

1. Введение

Строительным материалом для подавляющего большинства построек г. Одессы до начала 20 века служил равномерно сцементированный известняк-ракушечник понтического возраста, добывавшийся прямо под территорией города. В результате за пределами центральной части города сформировалось множество подземных каменоломен, называемых в Одессе «катакомбами». Иногда это небольшие локальные каменоломни протяжённостью первые десятки метров, иногда огромные лабиринты протяжённостью десятки километров, в отдельных местах - в два этажа (2 яруса). Сегодня протяжённость подземных каменоломен только в черте современных границ города составляет около 600км.

Развитие города требует освоения территорий, которые ранее считались не привлекательными для строительства. С одной стороны, увеличивается этажность и, соответственно, нагрузки на основание, с другой - в качестве площадок под застройку используют территории, расположенные в стесненных городских условиях со сложными геотехническими свойствами, характеризующиеся (в отдельных случаях) наличием в основании подземных выработок.

На современном этапе строительства высотных зданий в городских условиях в зоне подземных выработок актуален вопрос накопления и анализа опыта устройства эффективных фундаментов, обеспечивающих надежность их совместной работы с основанием, а также мониторинга строительства таких объектов. Опыт устройства фундаментов высотных зданий, в том числе и в зоне подземных выработок, приведен в работах [1...9]. Требуется проведения дальнейших исследований характера влияния

на НДС основания его неоднородности в виде дискретно расположенных ослабленных областей при дополнительных нагрузках, оценки возможности формирования поверхностей продавливания известняков-ракушечников, разработка методов решения этих задач в практике геотехнического проектирования.

Решения по устройству надежных фундаментов в грунтах, сложенных напластованием известняков-ракушечников с подземными выработками требуют с одной стороны их комплексных исследований, а с другой - экспериментального обоснования и численного моделирования и пока являются дискуссионным вопросом геотехники.

2. Геологические особенности подземных каменоломен Одессы

Каменоломни Одессы имеют разный современный облик вследствие различных методов их проходки, различий их возраста и размеров, а также технологии крепления. Одни участки крепились деревом, другие - каменной кладкой, третьи заполнялись камнем либо засыпались отходами камнепиления или грунтом. Часть участков обрушилась и уничтожилась естественным путем. В некоторых случаях крепь неоднократно разбиралась и вновь восстанавливалась. Со второй половины 1950-х годов было начато тампонирующее выработку песчаной пульпой. Несколько позднее выработки крепились диафрагмами и стенками из монолитного бетона. Рассмотрим один из участков традиционной добычи пильного известняка-ракушечника, где выполняется строительство комплекса жилых домов.

Особенностью площадки строительства жилого комплекса из 18...20 этажных домов в районе Михайловской площади является наличие сформированного контура большого единого шахтного поля, состоящего из множества соединенных между собой небольших каменоломен, рис.1. После образования они претерпели множество изменений – обрушений, расчисток завалов, креплений, проходок новых сбоек и повторных креплений. На площадке часть из них ликвидирована путем тампонирующего, часть укреплена бетонными стенами с устроенным сквозным проходом, а оставшиеся выработки не закреплены.

Целостная документация о расположении шахтного поля отсутствует. Имеются отдельные разноречивые архивные материалы по отдельным участкам выработок. По результатам выполненного анализа этих материалов сделано предположение, что в отдельных частях площадки могут находиться небольшие локально расположенные каменоломни. Кроме того на той части из известных по изученным материалам выработок, где выполнено тампонирующее в разное время различными организациями, полная информация о способе и качестве выполнения этих работ отсутствовала.

Выполнялась разведка, которая включала маркшейдерскую съемку и горно-геологическое описание, бурение скважин как по намеченным профилям, так и отдельных контрольных, устройство шурфов, проходка сбоек между сопредельными участками существующих выработок. В итоге полученную маркшейдерскую съемку доступных подземных выработок совмещали с топосъемкой площадки, что позволяло оценить степень влияния выработок на условия строительства.

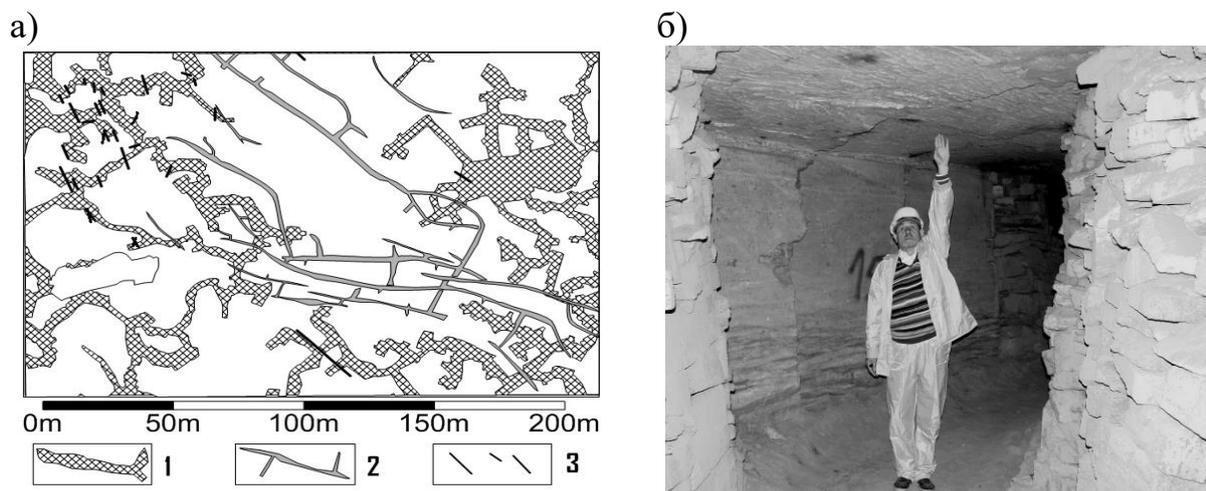


Рис. 1. Фрагмент участка поля подземных пустот (а) и вид выработки (катакомбы) (б); 1 – собственно выработки (катакомбы), 2 – карстовые пещеры, 3- закарстованные трещины

В процессе маркшейдерской съемки в части доступных выработках выявлено множество крепёжных элементов – стенок, перегородок, выполненных из монолитного бетона и кладок камня, участков, засыпанных бутом и штыбом (отходами пиления), что затрудняло доступ в тупиковые выработки.

Места бурения отдельных контрольных скважин назначались с целью уточнения расположения недоступных участков выработок, где выполнено тампонирующее, способ и качество его выполнения. В результате установлено, что тампонирующее выполнялось как водно-песчаной пульпой, так и закладкой. в основном, в тупиках бутом и штыбом. Важным результатом бурения явилось выявленные полости между кровлей выработки и тампонажным песком. Установлено, что высота этих полостей составляла от 0,20 до 0,8м. Сложной задачей явилось составление уточненного плана всех выработок, включая и тех, где выполнено тампонирующее. Их поиск по результатам контрольного бурения скважин в местах, где согласно архивным материалам они должны располагаться, не всегда давал ожидаемых результатов.

Бурением по профилям назначали с шагом скважин 3,0м, что позволяло на обследуемых участках определять отсутствие выработок, или

их наличие. При выявлении в разведочной скважине провала бурового инструмента, проводилась контрольная телеметрия (в скважины опускался телезонд) и обследовался характер выявленной пустоты. После подтверждения информации о наличии локальной каменоломни на месте скважины проходилась шурф диаметром 630...720 мм, через который организовывался спуск в выработки и проводили там необходимые работы – маркшейдерская съёмка, горно-геологическое описание, крепление. Вскрытая в результате поиска в восточной части площадки каменоломни, рис.2, имела протяжённость 52м и объём 870м³. Ширина выработок достигала 7,2м, высота - 3,5м. Почти вся площадь выработок завалена рухнувшим с кровли глинистым плитчато-обломочным известняком. Мощность обрушений кровли в отдельных местах составляла 4,1м. В первичном состоянии сохранились участки выработок только в забоях, в остальных местах завалы породы полностью засыпали выработки, но над ними образовались полости высотой 0,7...1,6 м высотой, по которым и организовывался доступ во время обследования в каменоломни.

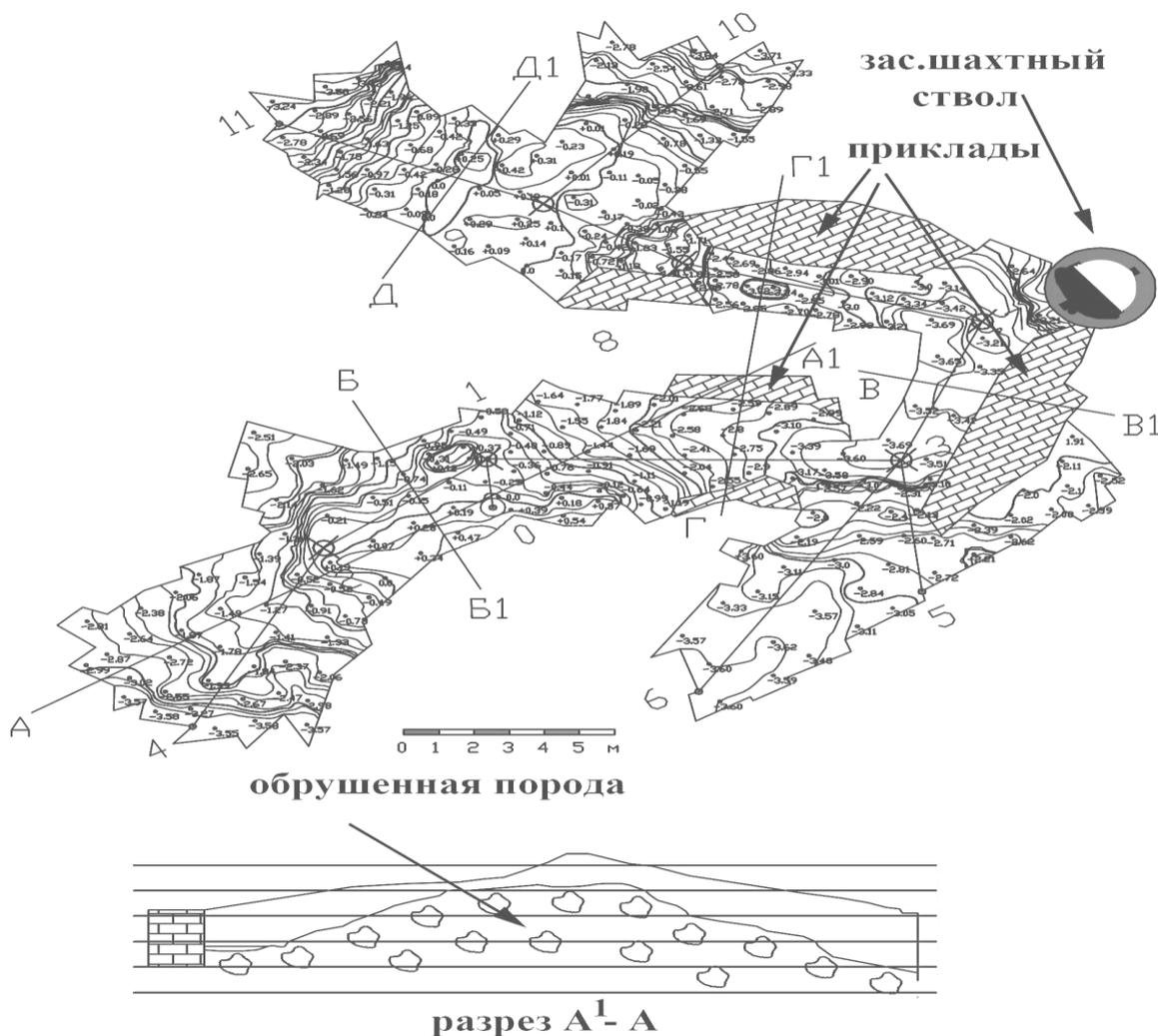


Рис. 2. План отдельной каменоломни и изолинии ее рельефа после обрушения породы в кровле

Толща известняков понтического яруса имеет довольно сложное и изменчивое строение как в вертикальном направлении, так и по горизонтали. Толщу понтических известняков можно разделить на четыре слоя. Первый - самый нижний - слой представлен плитчатым известняком мощностью 0.2 - 1.0м. Второй слой представлен равномерно сцементированным известняком-ракушечником ("пильный" известняк) мощностью 4.5 - 7.9м. Выработки располагаются именно в пределах этого слоя. Их размеры и густота зависят от качества известняка. Третий слой сложен сильно перекристаллизованным известняком-ракушечником. Четвертый - самый верхний - слой представлен наиболее часто плитчато-обломочным известняком. Общая мощность третьего и четвертого слоев равна 5.0 - 5.6м.

Понтический водоносный горизонт развит в известняках на всей территории города. Его питание осуществляется преимущественно за счет перетекания из вышележащего горизонта грунтовых вод. За последнее десятилетие уровень воды поднялся на 0,5 – 1,2м. В пределах исследуемого участка обводнена и нижняя часть второго слоя понтических известняков. Понтические известняки перекрыты плотными красно-бурыми глинами с включениями гипса и карбонатных стяжений. Глины служат водупором для техногенного горизонта. Мощность слоя - 3-6м.

Выше расположены лессы и лессовидные суглинки различной консистенции. Их мощность достигает 12-16м. В лессовых породах распространен четвертичный водоносный горизонт. Он сформировался преимущественно за счет утечек из водонесущих коммуникаций.

Физико-механические свойства понтических известняков зависят от многих причин, в том числе от их трещиноватости. Величина сопротивления известняков на одноосное сжатие колеблется в широких пределах. Характерной особенностью является увеличение их прочности в направлении водоразделов и снижение прочности вблизи крупных эрозионных врезов. На отдельных участках территории Одессы прочность известняков в сухом состоянии изменяется от 0.5 до 2.0МПа. В состоянии водонасыщения прочность известняков снижается до 1,5...2-х раз.

3. Анализ инженерно-геологических условий площадки строительства и выбор вариантов фундаментов

Напластование грунтов на площадке строительства второй очереди жилых домов сверху вниз по разрезу представлено следующими слоями и выделенными инженерно-геологическими элементами (ИГЭ).

Слой – 1 thQ_{IV} . Насыпной слой – обломки бетона, песок, суглинок с включением строймусора, щебень. Давность отсыпки более 10 лет.

ИГЭ-5 Q_{Izv} . Суглинок лессовидный, полутвердой и твердой консистенции.

ИГЭ-6 Q_{Isl-mr} . Суглинок с прослоями глины твердой консистенции,.

ИГЭ-7 $N_2^3-Q_I$. Глина твердой консистенции.

ИГЭ-7к N₂³-Q_I. Глина с включением карбонатов, твердой консистенции.

ИГЭ-8 N₂pn. Щебень и плитки известняка с глинисто-суглинистым заполнителем, с прослоями перекристаллизованного известняка.

ИГЭ-9 N₂pn. Известняк-ракушечник буровато-серый, серовато-желтый, плитчатый перекристаллизованный, низкой прочности.

ИГЭ-9п N₂pn. Известняк-ракушечник светло-желтый «пильный» очень низкой прочности.

ИГЭ-10 N₁m. Глина легкая зеленовато-серая, полутвердой консистенции.

При выборе типа фундаментов проектируемых зданий учитывались следующие выявленные особенности площадки:

- неоднородность основания по глубине за счет хаотичного простиранья выработок в плане под зданиями и за счет использования различных материалов, которыми ранее выполнено тампонирующее устройство выработок;
- наличие разуплотненных грунтов над выработками, где происходило обрушения их кровли;
- возможность погрешности между истинными и полученными по результатам исследований плановым расположением ранее ликвидированных выработок;
- наличие в верхней части разреза лессовых просадочных грунтов.

Рассматривался вариант устройства буронабивных свай с проходкой толщи известняков и их заглублением на 3...5 м в мезотическую глину (ИГЭ-10). Выполнение такого решения осложнено необходимостью проходки двух водоносных горизонтов и обеспечения требований норм по соблюдению соотношения диаметра свай к ее длине, которое нормами в условиях сейсмичности регламентируется равным 1:25. Требуемая длина свай в этом случае составила 32...34м, диаметр - 1,3м. Такое решение значительно снижает инвестиционную привлекательность проекта.

Выполнено обоснование свайных фундаментов из призматических свай длиной 8...12м сечением 35х35см с остановкой их нижних концов в тяжелых суглинках и красно-бурых глинах, залегающих над толщей известняков ослабленных подземными выработками. Важным фактором при выборе длины свай явилась обеспечение, с одной стороны, требуемой их несущей способности и с другой - создание достаточной мощности грунтовой толщи над кровлей выработок, позволяющей обеспечить рассеивание дополнительных давлений, передаваемых на эту кровлю от проектируемых зданий. При таком подходе суммарное давление на кровлю выработок, с учетом выемки грунта при устройстве подземного паркинга, обеспечивало незначительное превышение величины природного.

Рассмотрим работу основания на примере устройства фундаментов жилого дома №8. Схема расположения фундамента на инженерно-геологическом разрезе и распределение дополнительного давления от условного фундамента по глубине приведено на рис. 3. Исходя из предпосылок работы слоев известняков (слои 9 и 9п) как жесткого тела, была рассмотрена задача возможного их продавливания от дополнительных нагрузок.

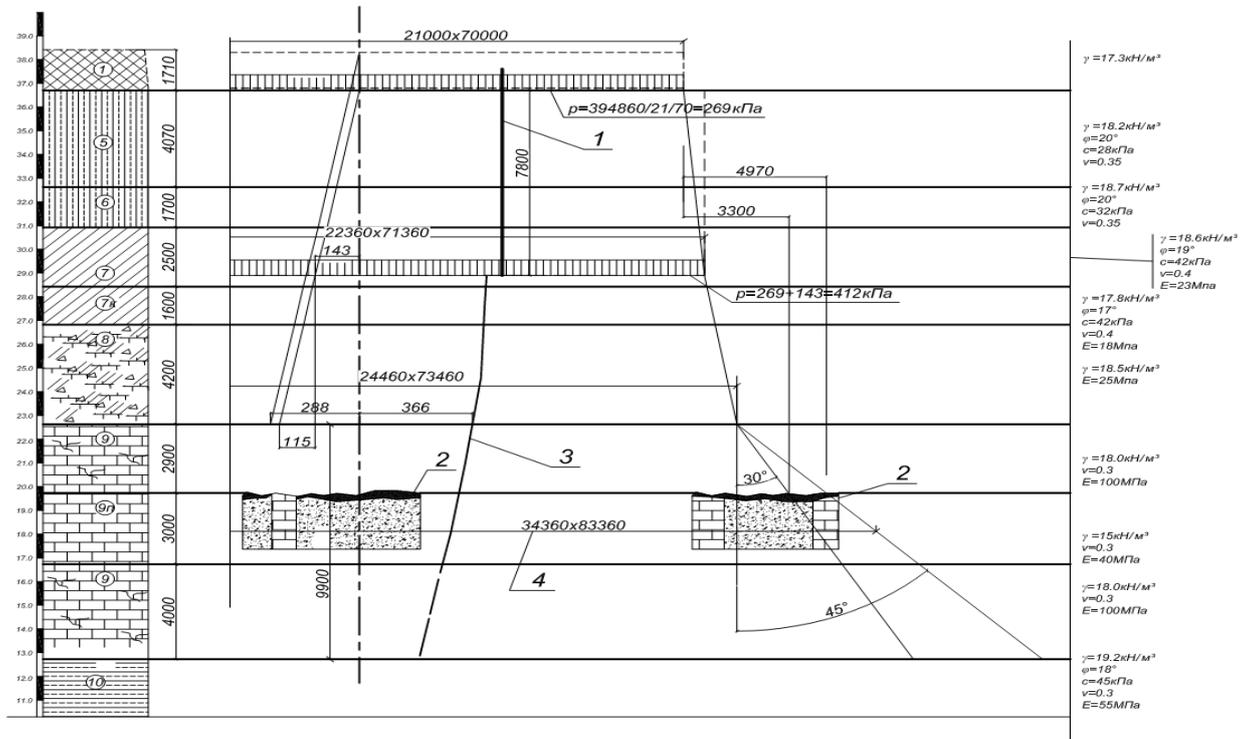


Рис. 3. Схема к расчету основания свайных фундаментов из призматических свай. 1 – призматическая свая; 2 – горные выработки (катакомбы); эпюра дополнительного давления; 4 – размер средней линии граней пирамиды продавливания

Для исключения возможности продавливания или среза этих слоев дополнительная нагрузка на их кровлю ограничивалась в рамках величин, при которых касательные напряжения в толще известняков не достигали бы предельного расчетного значения, средняя величина которого по данным лабораторных и полевых исследований получена равной $R=186 \text{ кПа}$. Дополнительное давление ограничивалось путем увеличения площади ростверка и, соответственно, свайного поля. Одновременно с этим подошва свайного фундамента размещалась как можно выше кровли известняков, что позволило за счет рассеивания напряжений в массиве глинистых грунтов, также снизить дополнительные давления на их кровлю. Напряжения, которые учитывались при расчете на продавливание, распределялись на площади равной $24,46 \times 73,46 = 1797 \text{ м}^2$ и составили $(366+115) - 288 = 193 \text{ кПа}$. В этом случае продавливающее усилие составило

$N=193 \times 1797=346820 \text{ кН}$. Суммарное усилие сопротивления известняка продавливанию при угле наклона граней призмы продавливания равном 45° составило $N_u=(34,36+83,36) \times 2 \times (2,9+3,0+4,0) \times 186=434000 \text{ кН}$.

В результате расчетов установлено, что для рассматриваемого варианта фундаментов касательные напряжения в толще известняков не будут достигать предельных значений. При этом рассматривалось формирование в известняках пирамиды продавливания под углами к вертикали 30 и 45 градусов. Более опасным оказался угол 45° . При оценке напряженно-деформированного состояния основания в программном комплексе Plaxis 8.5, рис. 4, касательные напряжения в массиве известняков также не достигали предельных значений.

Существующие выработки, попадающие в зону пирамиды продавливания, усиливались путем устройства в них бетонных диафрагм, заделанных в стены выработки путем устройства шпонок по обе их вертикальные стороны. Анализ результатов, полученных по данным предварительных расчетов, показал, что надежность работы фундаментов может быть обеспечена при условии выполнения ряда мероприятий по усилению грунтов основания с учетом защитной бермы возле здания шириной по 8-10м с каждой из его сторон. Усиление основания включало, в первую очередь, ликвидацию выработок путем нагнетания через скважины водно-песчаной пульпы, закрепление грунтов разрыхленных участков напорной цементацией с использованием манжетных колонн, «подбучивание» кровли ранее не качественно ликвидированных «катакомб».

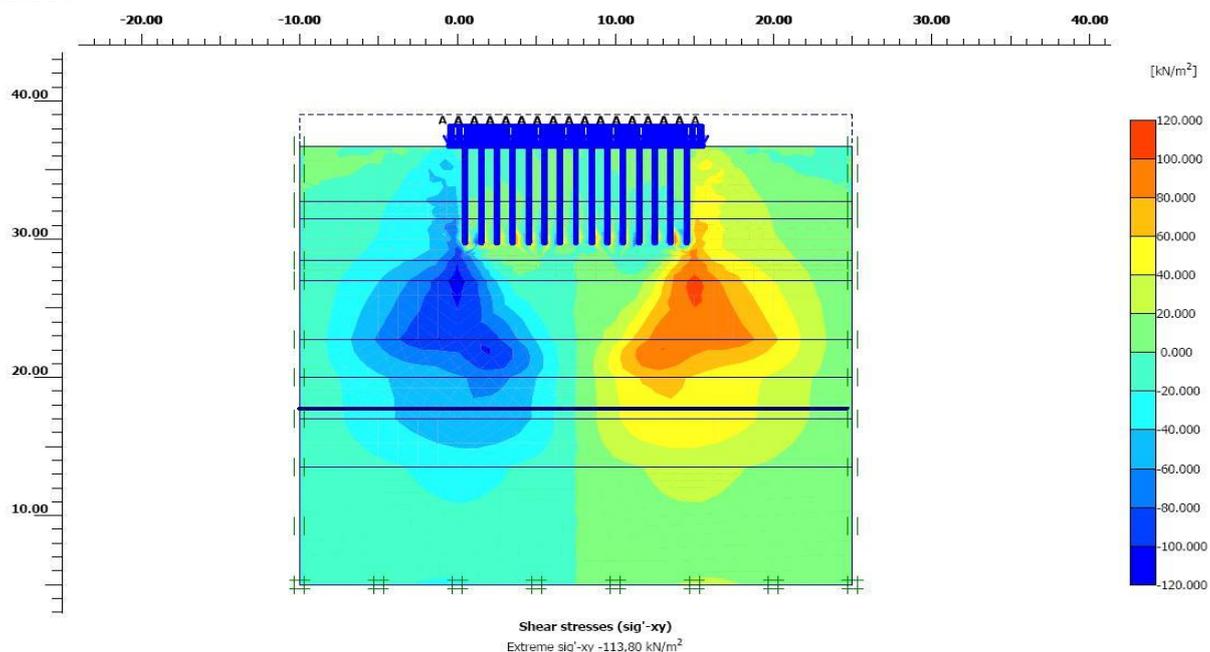


Рис. 2. Значения величин касательных напряжений в основании жилого дама №8 жилого комплекса по ул. Михайловской

Выполненные испытания статическими нагрузками принятых свай подтвердили принятую в проекте допускаемую нагрузку на сваю равную 1200 кН, что позволило обеспечить, с учетом конструктивных требований, их размещение в пределах «пятна» застройки каждого из проектируемых зданий жилого комплекса.

Выводы. Обеспечение надежной работы фундаментов с их основанием на площадке строительства, которая характеризуется наличием подземных выработок (катакомб) в толще известняков, требует выполнения комплексных обследований этих выработок, включающих определение: их горнотехнического состояния, простираения на площадке, характеристики выполненного тампонирувания и крепления и на этой основе разработки мероприятий по усилению грунтов основания.

1. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. М.: Изд-во АСВ, 2014. 728 с.
2. Катценбах Р. Последние достижения в области фундаментостроения высотных зданий на сжимаемом основании /Р. Катценбах // Вестник МГСУ: научн.-техн. журнал. 2006. № 1. С. 105–118.
3. Мангушев Р.А. Геотехника Санкт-Петербурга: монография / Р.А. Мангушев, А.И. Осокин. М.: АСВ, 2010. 264 с.
4. 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.
5. Тер-Мартirosян З.Г. НДС системы основание - свайный фундамент - здание с промежуточной подушкой при сейсмическом воздействии / З.Г. Тер-Мартirosян, А.З. Тер-Мартirosян, А.Ю. Мирный // Сб. статей науч.-техн. конф. Численные методы расчетов в практической геотехнике. СПб.: СПбГАСУ, 2012. С. 183–190.
6. 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 накарстоопасных территориях: Тр. Российской конф. с межд. участием. Уфа: БашНИИстрой, 2012. С. 42–50.
7. 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. межд. конф. Пермь: Изд-во Пермского национального исследоват. политехнического ун-та, 2011. С. 114–119.
8. Петраков А.А. Определение коэффициента жесткости основания в зоне разуплотнения основания / А.А. Петраков, А.В. Кухарь // Зб. наук. праць (галузеви машинобуд., буд-во) / Полт. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. Вип. 3 (28). Полтава: ПНТУ, 2010. С. 202–206.
9. 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 гос. архит.-строит. ун-т. СПб., 2010. С. 33–37.

1. Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenty, podzemnyye sooruzheniya / V.A. Ilichev, R.A. Mangushev. – Moscow, 2014. – 728 p. (RUS).
2. *Katcsenbah, R.* Poslednii dostezhenia v oblasti fundamentostroeniya vysotnyh zdaniy na slymaemom osnovanii / R. Katcsenbah. – Moscow: Vesnick MGSU, 2006. – #1. – P. 105 – 118. (RUS).
3. *Mangushev, R.A.* Geotekhnika Sankt-Peterburga: monographia / R.A. Mangushev, A.I. Osokin. – Moscow, 2010. – 264 p. (RUS).
4. *Ulitskii, V.M.* Geotekhnicheskoe soprovozhdeniye razvitiya gorodov (practicheskoe posobiye po proectirovaniyu zdaniy i podzemnyh sooruzhenii v uslyviyah plotnoi zastroyki) / V.M. Ulitskiy, A.H. Shashkin, K.H. Shashkin. – Saint Petersburg, 2010. – 552 p. (RUS).
5. *Ter-Martirosjan, Z.H.* NDS sistemy «osnovaniye – svainyi fundament – zdaniye» s promijutochnoi podushkoi pri seismicheskom vozdeistvii / Z.H. Ter-Martirosjan, A.Z. Ter-Martirosjan, A.Y. Mirnyi. – Saint Petersburg, 2012. – P. 183 – 190. (RUS).
6. *Zotsenko, N.L.* Vlijaniye podzemnyh hodov na deformirovaniye zdaniya Poltavskogo krajevecheskogo muzeja / N.L. Zotsenko, S.V. Beda, Y.I. Velikodnyi. – Ufa, 2012. – P. 42 – 50. (RUS).
7. *Gotman, N.Z.* K voprosu o raschete plitnyh fundamentov podzemnyh sooruzhenii na zakarstovanyh teritiriah / N.Z. Gotman, M.Z. Kajumov. – Perm, 2011. – P. 114 – 119. (RUS)
8. *Petrakov, A.A.* Opredeleniye koefitsienta jestkosti osnovania v zone razuplotnenia osnovania / A.A. Petrakov, A.V. Kuhar. – Poltava, 2010. – P. 202 – 206. (RUS).
9. *Ilichev, V.A.* Opyt ustrojstva kotlovanov v gorode Moskve / V.A. Ilichev, V.V. Znamenskij, E.B. Morozov, D.Y. Chunyaik. – Saint Petersburg, 2010. – P. 33 – 37. (RUS).

1. В разделе 2 приведены результаты дополнительных полевых исследований, в частности слоев известняка катакомб, их местонахождение, некоторые из которых были заполнены после эксплуатации. Катакомбы находятся на глубине 15-20м от поверхности. Поверх известняка залегают красно-коричневой глины и лесса суглинистого типа.

В этом разделе должен быть предоставлен по меньшей мере один геологическо геотехнический профиль массива с четко отображаемыми слоями и положением катакомб.

2. Не приведены данные о физико-механических свойствах поверхностных слоев глины и суглинистого лесса (15-20м), где залегают фундаменты зданий. Эти данные имеют большое значение для выбора типа фундамента.

3. Раздел 3 кратко описывает анализ инженерно-геологических условий и выбор фундаментов.

Вместо заключения, название раздела может быть:

Анализ инженерно-геологических условий и выбор типа фундамента.

Этот раздел должен дать более детальный анализ выбора типа фундамента, который должен содержать:

1. по меньшей мере, одно поперечное сечение здания с геотехнической профилем;
2. глубину подземных этажей;
3. Средняя нагрузка от здания;
4. Анализ инженерно-геологических условий;
5. обоснование принятого решения.

Вывод рецензента:

Предмет статьи интересен с технической точки зрения, и если будут учтены перечисленные выше предложения и внесены коррекции, работа может быть опубликована

