

Ю. СЛЮСАРЕНКО, Я. ЧЕРВИНСКИЙ

Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций, Киев

Ю. КАРПЕНКО, С. ДВОРНИК

Украинско-французское СП «Основа-Солсиф», Киев

С. МАЛИКОВ, Г. РОЗЕНВАССЕР

Донецкий ПромстройНИИпроект, Донецк

И. ЛАВШУК

Комплекс «Пушкинский», Донецк

УДК 624.04

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ УКРАИНЫ

Ключевые слова: просадка, подработка, метод "стена в грунте", jet - колонна, мониторинг.

Украина характеризуется большим разнообразием геологических условий, усложняющих строительство и эксплуатацию зданий и сооружений. Среди них – структурно неустойчивые просадочные грунты (занимающие более 60% территории страны), подрабатываемые территории и карсты, оползневые склоны, сейсмические районы. Наиболее распространенными типами сложных инженерно-геологических условий являются просадочные грунты и подрабатываемые в результате угледобычи территории. В строительстве постоянно развиваются новые методы, направленные на защиту и нормальную эксплуатацию зданий. В статье приведены примеры геотехнической защиты для новых и исторических зданий в сложных инженерно-геологических условиях различных типов

Україна характеризується великою різноманітністю геологічних умов, що ускладнюють будівництво й експлуатацію будинків і споруд. Серед них - структурно нестійкі просадні ґрунти (що займають більше 60% території країни), підроблювальні території й карсти, зсувні схили, сейсмічні райони. Найпоширенішими типами складних інженерно-геологічних умов є просадні ґрунти й підроблювальні в результаті вуглевидобутку території. У будівництві постійно розвиваються нові методи, спрямовані на захист і нормальну експлуатацію будівель. У статті наведені приклади геотехнічного захисту для нових і історичних будівель у складних інженерно-геологічних умовах

Ukraine is characterised by the big variety of the geological conditions complicating building and an upkeep of buildings and constructions. Among them – structurally unstable subsiding soils (60% of territory of the country occupying more), earned additionally territories and karsts, landslides slopes, seismic countries. The most widespread types of difficult engineering-geological conditions are subsiding soils and territories earned additionally as a result of coal output. In building the new methods directed on protection and a normal upkeep of buildings constantly develop. In article examples of geotechnical protection for new and historical buildings in difficult engineering-geological conditions of various types are resulted

1. СТРОИТЕЛЬСТВО НОВОГО ЗДАНИЯ НА ПОДРАБАТЫВАЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ.

1.1. Конструктивные решения здания.

Инновационные решения геотехнической и конструктивной защиты комплекса «Пушкинский» в г. Донецке (пятиэтажный подземный паркинг под 24-этажным гражданским зданием) в полной мере реализованы при проектировании, строительстве и научно-техническом сопровождении (рисунки 1, 2, 3).



Рис.1. Общий вид здания комплекса «Пушкинский».

Эскизный проект комплекса разработан фирмой «Schwitzke» (Германия), генеральный проектировщик – Донецкий ПромстройНИИпроект, подрядчик – Украинско - французское СП «Основа-Солсиф».

Конструктивное решение здания в целом принято по жесткой схеме, как по паркингу, так и по надземной части.

Ядра жесткости установлены единообразно снизу-вверх на всю высоту здания. Их расположение в плане организовано в центральной части и по торцам в виде 2-х параллельных стенок каждая.

Подземный паркинг с размерами в плане 76x15 м под высотной частью и 53,6x20,6 м под малоэтажной частью имеет высоту этажа 3,0 м.

Каркас паркинга выполнен с устройством диафрагм жесткости, колонн и дисков перекрытия толщиной 300 мм; на отметке 0,000 предусмотрена плита перекрытия толщиной 1500 мм.

Фундамент под всем зданием принят в виде монолитной железобетонной плиты толщиной $\delta = 2000$ мм. Колонны паркинга выполнены сечением от 600x600 до 600x1200 мм. Толщина несущих стен – $\delta = 600$ мм.

Так как в подземном строительстве технологии определяют конструктивные решения и методы расчета конструкций, технические решения по многоэтажному подземному паркингу ориентированы на технологию возведения методом «стена в грунте» ($\delta = 800$ мм) по способу «UP-DOWN» на глубину -21,0÷-24,0 м (рисунок 4).

Одновременно «стена в грунте» выполняет функции исключения взаимовлияния существующих и нового объектов.

1.2. Принципиальные конструктивные решения по защите подземного паркинга

Расчетные деформации подрабатываемого основания составляют: наклоны $i_p = \pm 3,1$ мм/м; относительные горизонтальные деформации $\epsilon_p = \pm 1,9$ мм/м; радиус кривизны $R_p = \pm 19,8$ км.

Защита от влияния относительных деформаций сжатия осуществлена устройством многоярусной разгружающей системы по Патенту Украины №83327 «Способ разгрузки подземных сооружений от бокового давления грунта» (рисунок 5). Указанная система состоит из горизонтальных жестких элементов в виде грунтоцементных свай (Запорожское отделение НИИСК), устраиваемых изнутри паркинга после экскавации на участках последующего устройства дисков перекрытия или диафрагм жесткости сооружения. При этом горизонтальные грунтоцементные сваи соединяются со стенами ограждения при помощи элементов разрешающей прочности. Длина элементов разгружающей системы – 5,0 м, диаметр – до 400 мм, шаг установки – 2,0...3,0 м.

Как видно на рисунке 6, разгружающая система снижает лобовое давление на ограждения до активного.

Защита от влияния относительных горизонтальных деформаций растяжения предусмотрена устройством армированной подготовки и шва скольжения (рисунки 7, 8). Подготовка толщиной 150 мм имеет однородную арматуру класса А400С марок 30ГС, 35ГС или 25Г2С. Класс бетона В25. Кроме того, предусмотрена разрезка «стен в грунте» деформационными швами на отсеки длиной 15,0...18,0 м.

Другие деформационные воздействия – кривизна и наклоны воспринимаются за счет усиления несущих конструкций.



Рис.4. Возведение паркинга способом «UP-DOWN».

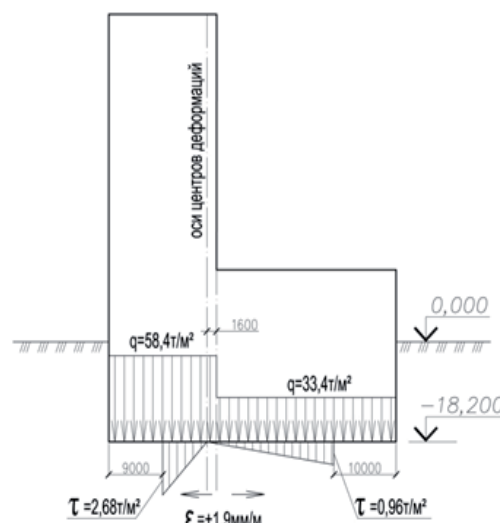


Рис.7. К расчету армированной подготовки.

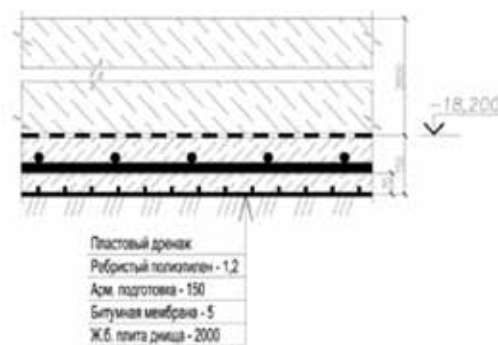


Рис.8. Конструкция армированной подготовки.

2. ЗАЩИТА ИСТОРИЧЕСКОГО ЗДАНИЯ, РАСПОЛОЖЕННОГО НА ТЕРРИТОРИИ СО СЛОЖНЫМИ ГРУНТОВЫМИ УСЛОВИЯМИ

2.1. Описание здания.

Андреевская Церковь - уникальный памятник истории и архитектуры 18-го столетия, построенный в Киеве по проекту знаменитого итальянского архитектора Б.

Дивись рисунки 5. 6 на стор. 4 обкладинки



Рис.9. Общий вид Андреевской церкви.

Растрелли. Церковь сооружена в стиле барокко - этот стиль характеризуется парадностью, динамичными архитектурными формами, богатством оформления, игрой света и тени. Церковь возведена на развалинах земляной крепости 17-го столетия. Здание увенчано центральным куполом и четырьмя угловыми декоративными башнями. Габаритные размеры церкви: длина 32м, ширина 20м, высота от террасы до вершины креста центрального купола 50 м.

Церковь расположена на холме, который находится в верхней части центральной исторической зоны Киева. Отметки поверхности изменяются от 181,7 м (площадка вокруг церкви) до 118,5 м (подножие холма). Склоны холма расчленены лучевой сетью оврагов, на которых развивались активные подвижки и эрозийные процессы.

Вокруг площадки застройки наблюдается комплекс неблагоприятных физических и геологических явлений, таких как оползни, значительная толща насыпных грунтов, существенная неоднородность свойств грунтов, механическая суффозия глинистых частиц в существующую неработающую галерею, внешняя эрозия массива холма.

Надземная часть здания церкви покоится на большей по размерам подземной двухэтажной фундаментной части. Основной вход в церковь устроен по чугунным ступеням, которые соединяют улицу с папертью. Стилобат церкви - двухэтажное сооружение, покрытие которого является частью паперти и объединено с фундаментной частью церкви.

Фундаменты выполнены из каменной кладки, имеют толщину от 3 до 5м. Подошва фундаментов залегает на различных отметках: в западной части - от 165,8 до 166,6м; в восточной части, которая нависает над холмом - от 165,7 до 167,8 м.

Основанием фундаментов южного, западного и северного фасадов служат эолово-делювиальные лессовидные супеси, обладающие просадочными свойствами.

Основанием фундаментов восточной части служат моренные суглинки.

Гидрогеологические условия характеризуется наличием двух горизонтов подземных вод.

При комплексных обследованиях здания в 2004-2008 годах было обнаружено, что здание имеет существенные повреждения, главными из которых являются сквозные трещины, местные разрушения наружного слоя и раствора каменной кладки. Основной причиной выявленных повреждений являлись неравномерные осадки основания, вызванные наличием просадочных грунтов, и наклонные подвижки грунтов.

Техническое состояние здания церкви было оценено как непригодное к нормальной эксплуатации, что обусловило необходимость срочного выполнения восстановительных работ.

2.2. Общая концепция восстановительных работ.

Восстановление Андреевской церкви выполнялась по следующим направлениям:

- геотехнические мероприятия;
- восстановление и усиление поврежденных конструкций здания;
- реставрация фасадов и интерьеров;
- улучшение технического состояния окружающей территории.

В составе геотехнических мероприятий выполнялись:

- исследование и анализ геологических условий территории Андреевской церкви;
- исследование, расчет и прогноз изменений геологических и гидрогеологических условий прилегающей территории с разработкой гидрогеологической модели;
- исследование и анализ устойчивости склонов вокруг площадки Андреевской церкви и на прилегающей территории;
- исследование современных эрозийных процессов на склоне;
- исследование и анализ напряженно-деформированного состояния основания здания.

По результатам геотехнических исследований разрабатывались проектные решения.

2.3. Реализация геотехнических исследований.

- Улучшение гидрогеологических условий.

Для понижения уровня подземных вод, в дополнение к существующей дренажной системе, был сооружен новый дренажный трубопровод, расположенный в пространстве за подпорной стенкой на наклоне.

Основное назначение дренажной системы - перехват подземных вод, недопущение водонасыщения грунтов за подпорной стенкой, так как это повышает давление грунта на стенку и понижает местную устойчивость склона вблизи стенки. Дренажная система помогает избежать дополнительной инфильтрации атмосферных вод и дополнительного подъема уровня воды в зоне фундаментов.

Дренажная система состоит из двух отдельных трубопроводов, расположенных вдоль подпорной стенки, которые сбрасывают воду от противоположных сторон здания в сточную трубу. От сточной трубы сброс воды предусмотрен по подземной трубе - коллектору в существующий колодец галереи дренажной системы.

- Анализ устойчивости склонов.

Согласно требований строительных норм, значение нормативного коэффициента устойчивости склона должно не быть ниже 1,25.

Для выполнения расчета устойчивости склона был использован программный комплекс SLIDE-5. Комплекс

имеет широкие возможности по расчету и интерпретации результатов 9 методами (методы Бишопа, Янбю, Спенсера, Феллениуса и другими).

Для повышения надежности результатов, расчеты устойчивости склона выполнялись также по программе «BOBR», разработанной на основе метода Терцаги - Чугаева. Сравнение полученных результатов показало, что они в достаточной степени совпадают. Так, коэффициенты устойчивости на низших и верхних участках по программе SLIDE-5 составляют 1,015 и 1,229, по программе BOBR – 1,083 и 1,219.

На основании изучения исторических материалов, визуального обследования примыкающих к зданию церкви склонов и выполненных расчетов было установлено, что значительная часть склонов холма Андреевской церкви находятся в состоянии, близком к предельному равновесию (рисунок 10).

- Защита от эрозийных процессов.

Система водоотвода запроектирована в виде бетонных лотков, которые перехватывают атмосферную воду от церковной паперти и подают эту воду в сточную трубу возле подпорной стенки.

Основное назначение системы водоотвода - недопущение насыщения грунтов на склонах холма Андреевской церкви, так как это уменьшает местную устойчивость склона и приводит к водно-ветровой эрозии.

- Анализ напряженно-деформированного состояния здания и грунтового основания.

Анализ НДС здания осуществлялся с учетом деформаций грунтового основания. В результате получены значения напряжений и деформаций несущих конструкций здания и их сравнение со значениями прочности материалов (рисунок 11).

При исследовании существующего здания Андреевской церкви выполнялись следующие группы расчетов системы «здание – основание»:

Группа 1 – расчет по определению причин появления трещин в стенах здания и его стилобатной части:

- при значениях свойств грунтов в естественном состоянии;
- при водонасыщении основания под всем зданием церкви и его стилобатной частью;
- при водонасыщении основания под северо-восточной частью здания;
- при водонасыщении основания под стилобатом и юго-западной частью здания;
- при водонасыщении основания под центральной частью здания (под куполом).

Группа 2 - расчет по определению фактического напряженно-деформированного состояния конструкций с учетом повреждений, зафиксированных при обследовании.

Группа 3 - анализ предполагаемого напряженно-деформированного состояния конструкций здания при возможных изменениях состояния основания. Рассматривались различные варианты водонасыщения основания под всем зданием церкви и его стилобатной частью.

Моделирование водонасыщения грунтов в расчетах выполнялось путем придания грунтам, залегающим в основании, значений свойств, соответствующих водонасыщению. Принималось во внимание также появление зон ослабления и пустот в грунтах в результате суффозии в дренажную систему, которая расположена возле фундаментов.

Для исключения последующих неравномерных деформаций фундаментов и закрепления грунтов в основании несущих стен выполнялась струйная цементация грунтов (устройство jet-колонн). Конструктивное решение усиления основания показано на рис. 12.

Расчет здания с элементами усиления выполнялся на основании модели, в которой были приняты во внимание существующие сквозные трещины в стенах и перенапряженные участки фундаментов. Результаты расчетов дали картину фактического напряженно-деформированного состояния конструкций после укрепления. В расчетной модели устройство jet-колонн под частью фундаментов

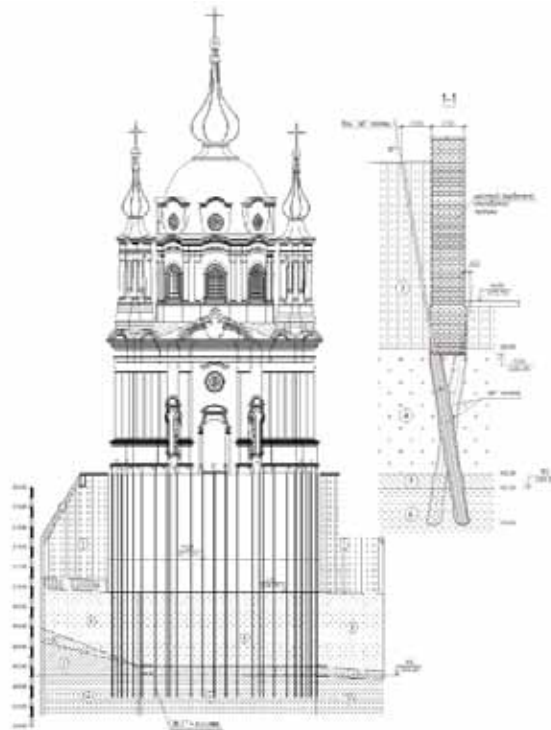


Рис.12. Укрепление фундаментов здания церкви.

было учтено путем замены модуля деформации грунта в естественном состоянии средним модулем деформации естественного грунта и jet-колонн.

В дополнение к геотехническим работам, были выполнены работы по восстановлению целостности строительных конструкций, путем усиления поврежденных участков каменной кладки стен методами инъектации и армирования трещин.

Мониторинг состояния здания после восстановительных работ показал, что деформации грунтового основания практически прекратились и новые повреждения в здании не возникают.

ВЫВОДЫ:

Современные методы геотехнической защиты для новых и старых зданий могут обеспечивать их надежную защиту от неблагоприятных геологических процессов и гарантировать долговременную надежную эксплуатацию этих зданий.



Рис. 2. Вид паркинга на 1-м уровне

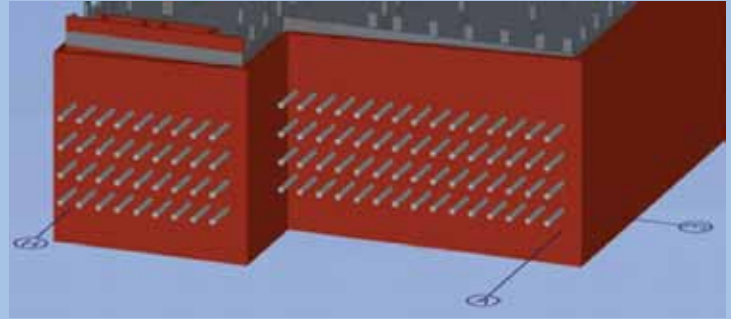


Рис. 5. Многоярусная разгружающая система



Рис. 3. Конструктивная схема комплекса «Пушкинский»

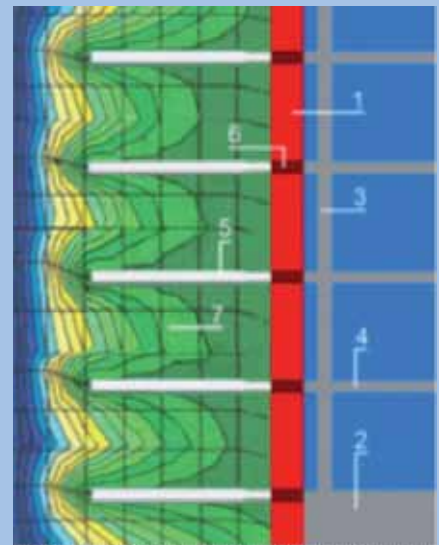


Рис. 6. Характер распределения лобового давления грунта на стену паркинга: 1 - стена в грунте; 2 - фундамент; 3 - колонна; 4 - перекрытия; 5 - элементы разгружающей системы; 6 - опора разрешающей прочности; 7 - изополя давлений (перемещений) грунта.

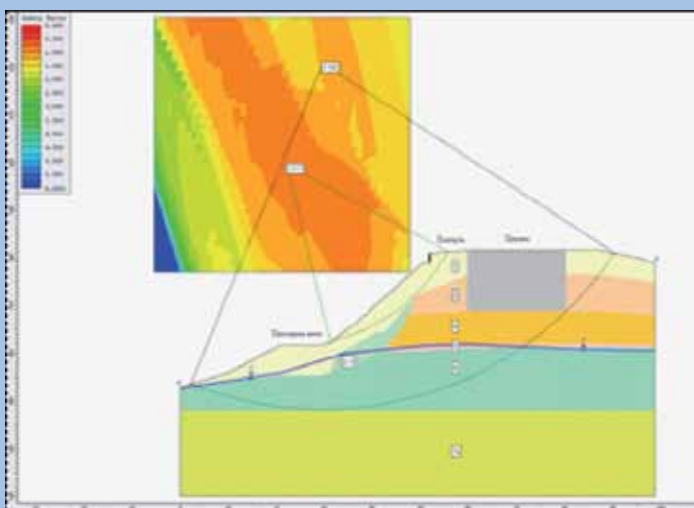


Рис. 10. Результаты расчета устойчивости склонов холма Андреевской церкви.

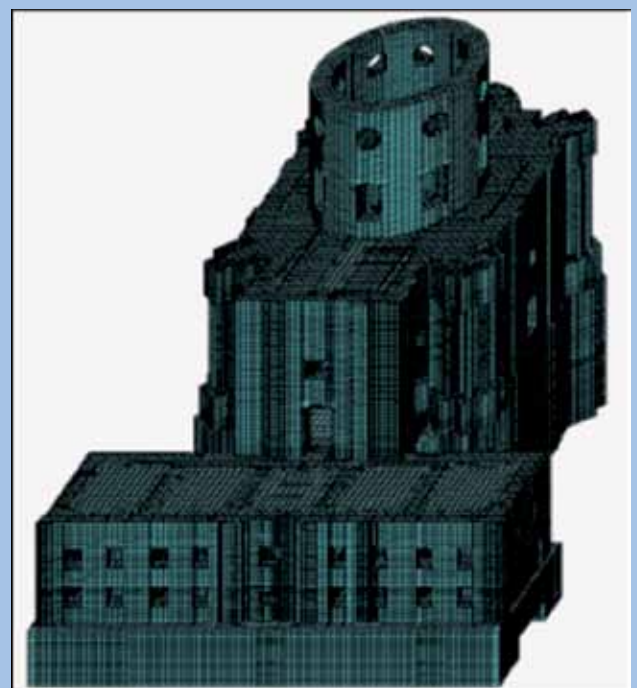


Рис. 11. Расчетная модель здания церкви.