

УСИЛЕНИЕ ОСНОВАНИЙ ИНЪЕКЦИЕЙ РАСТВОРА

Головко А.С.

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры
г. Днепропетровск, Украина

АННОТАЦИЯ: У практиці будівництва відома досить велика кількість методів конструктивного підсилення ґрунтів , необхідність в яких виникає при підготовці основ, підвищенні експлуатаційної надійності споруд в умовах зміни властивостей ґрунтів . Метод цементації під високим тиском має ряд переваг в порівнянні з іншими методами посилення .

АННОТАЦИЯ: В практике строительства известно достаточно большое количество методов конструктивного усиления грунтов, необходимость в которых возникает при подготовке оснований, повышении эксплуатационной надежности сооружений в условиях изменения свойств грунтов. Цементация под высоким давлением имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами усиления.

ABSTRACT: In practice, the construction of quite a number of known methods for structural reinforcement of soils, the need for which arises in the preparation of the bases, increasing operational reliability of structures in a changing soil properties. cementation method under high pressure has a number of advantages over other methods of amplification.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: неравномерная осадка, крен, инъекция цементного раствора, нагрузки и давления, закрепление грунтов.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования в данной области выполнены рядом авторов [1 -3, 7 - 10], в которых получены отдельные решения по инъекции грунтовых оснований высокими давлениями либо пропиткой. Опыта работ в сложных

геологических условиях в настоящий момент недостаточно для разработки нормативной базы проектирования. В статье рассмотрено несколько вариантов усиления грунтов основания в сложных геологических условиях по различным технологическим схемам методом инъекции цементного раствора под давлением.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Площадка исследований располагалась по ул. Шевченко, 32 в центральной части города Днепр. В геологическом отношении участок находится на третьей надпойменной террасе реки в устьевой части днища балки Красноповстанческая, совпадающего по расположению с зоной древних тектонических нарушений. В этом тектоническом узле отмечается значительная раздробленность гранитов. Геологические условия объекта характеризуются комплексом четвертичных отложений, залегающих на коре выветривания и собственно кристаллических породах. Уровень подземных вод является достаточно стабильным и фиксируется на глубинах 3,4...4,5 м от поверхности земли.

На основании анализа геологических условий площадки проектом было предусмотрено строительство 7 этажного административного здания на свайном основании из забивных железобетонных свай сечением 35x35 см длиной до 11,0 м с заглублением острия в несущий слой – разнородные пески - на 0,5...1,0 м. Конструктивно здание выполнено из двух секций, разделенных внутриворотовым проездом без деформационных швов между ними.

Особенностью площадки, как показал опыт выполнения работ, явилось то, что при погружении свай они давали ложный «отказ», в силу наличия в супесях прослоек мелких и пылеватых песков. Дополнительно, при производстве работ, были высокие динамическими воздействия на примыкающие к котловану здания старой застройки, располагавшиеся на его торцевых участках. Крайние ряды свай были выполнены путем погружения в лидирующие скважины с добивкой без подачи топлива. В процессе эксплуатации здание получило неравномерные повреждения наклонными и вертикальными трещинами и было признано аварийным.

Опыта проведения работ по усилению грунтов основания свай в аналогичных условиях практически не было. После детальной расчетной проработки с технической и экономической точки зрения был разработан и реализован проект усиления основания острия свай методом высоконапорной инъекции цементно-силикатного раствора. Для конкретных грунтовых условий была разработана методика цементации высоким давлением с гидроразрывом и армированием массива прослойками цементного

камня. Данный подход в настоящее время находит все более широкое применение в строительстве [5 - 7]. При формировании зоны гидроразрыва происходит уплотнение грунта на расчетном диаметре, где достигается предельное состояние определенной области массива. Применен метод цементации «сверху-вниз» отдельными захватками с постоянным увеличением давления нагнетания от 2,5 до 25 МПа. Сущность разработанного и внедренного на объекте метода заключалась в следующем:

- выполняется бурение скважины и установка кондуктора диаметром 127 мм длиной до 5,0 м с последующей цементацией и анкерровкой в грунтовый массив;

- после набора раствором прочности производится разбуривание цементного камня в кондукторе и бурение грунта ниже его устья на 1,0...1,5 м;

- на кондуктор устанавливается запорный кран и выполняется нагнетание расчетного объема цементного раствора при расчетном давлении;

- в качестве инъекционного раствора применялся цементный состав с водоцементным отношением 1:0,5...1:0,6 с добавкой силиката натрия;

После стабилизации цементного камня производится разбуривание цементной пробки и бурение следующей захватки грунта и нагнетание раствора по указанной выше технологии при расчетных давлениях для обеспечения необходимого радиуса распространения раствора. Глубина закрепления массива определяется расчетным путем и составляла до 14 м от поверхности земли.

Оптимальная длина рабочей захватки нагнетания, на основании выполненных расчетных и экспериментальных исследований, составляет от 1,5 до 2,0 м. Расчетный радиус закрепления 1,55 м. При выполнении работ производился контроль распространения раствора при бурении смежных скважин, в необходимых случаях предусматривалось контрольное бурение с отбором керна для оценки качества нагнетания. В целом, контроль зон распространения раствора и закрепления подтвердил основные теоретические решения. В процессе выполнения работ и после их завершения проведены геодезические наблюдения за состоянием здания по программе второго класса точности. В период производства укрепительных работ дополнительных деформаций зафиксировано не было, их абсолютные значения находились в диапазоне +5...-1,2 мм, что соответствовало допускаемой погрешности принятого класса измерений.

В других условиях реализован проект усиления основания здания лабораторного корпуса ИГТМ НАНУ, построенного на пологом склоне правого берега р. Днепр с уклоном поверхности и слоев грунтового массива 7...13°. При посадке здания на склоне под частью свайных кустов остались лессовые супеси, проявляющие просадочные свойства в случае

замачивания грунтов острия буронабивных свай длиной 19,0 м. Потенциальная неравномерная просадка основания оценивалась величиной до 58 см. На здании длиной 104 м уже частично проявились неравномерные деформации до 20 см с развитием общего крена, смещения плит.

По гидрогеологическим условиям увлажнение грунтов возможно до острия свай при полной реализации просадочных деформаций. Анализ возможных методов усиления на существующем здании показал эффективность разработанной технологии закрепления только зоны грунтов ниже уширенной части свай с устранением просадочных свойств. Для конкретного случая разработан метод цементации на глубинах 18-24 м от поверхности земли через пластиковые инъектора с перфорацией в нижней части и передвижным пакирующим устройством. Технологический подход, учитывая большие глубины цементации, изменен, закрепление массива было предусмотрено снизу вверх. Для фактических прочностных характеристик грунтов и их пористости расчетные зоны распространения раствора составляют до 3,0 м при давлениях 7,5...25,0 МПа и диаметр инъекторов 86 мм. Инъектирование было предусмотрено с наружной части здания. Корректировка параметров закрепления и оценки его эффективности выполнена на опытной площадке, расположенной рядом со зданием.

Строительство в условиях плотной городской застройки вызывает ряд проблем, связанных с обеспечением надежности существующих зданий и выполнением проектных параметров по устройству оснований новых зданий и сооружений с требуемым уровнем надежности. Достаточно важным является вопрос обеспечения сохранности существующей городской застройки при техногенных воздействиях со стороны строительных площадок и принятия правильных технических решений по восстановлению либо усилению зданий.

При строительстве многофункционального центра в г. Днепропетровске по ул. Центральной в зоне влияния динамических воздействий оказались два объекта, расположенные практически на одинаковом расстоянии от строительной площадки. Трехэтажное административное здание, запроектированное по жесткой четырёх пролётной конструктивной схеме с внутренними поперечными несущими стенами, пространственная жесткость которого обеспечивалась кирпичной кладкой стен и дисками междуэтажных железобетонных настилов из сборных плит. Фундаменты здания ленточные шириной 0,9...1,2 м при глубине 0,80...0,90 м (проектные параметры 1,2 и 1,5 м). При строительстве использовано основание с нарушениями строительных норм и правил, в частности под подошвой лент наружного контура вскрыты насыпные грунты, представленные лессовыми темно-серыми суглинками с включениями щебня и строительного мусора с плотностью в природном состоянии 1,297...1,372 г/см³. Под фундаментами грунт в результате осадок уплотнен до

1,509...1,564 г/см³, что вызвало неравномерные деформации фундаментов здания относительно плиты днища резервуара, к которому подходит стена здания. Грунт основания имеет повышенную влажность в диапазоне 20...23 %, что превосходит природную 12...14 %. Стены здания толщиной 0,38 м и 0,51 м выполнены из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе без армирования и поясов жесткости.

Всего в геологическом разрезе выделено четыре основных слоя. Насыпные грунты представлены промышленными и строительными отходами. Суглинки лессовые, буровато-желтые, твердые, высокопористые просадочные, в зоне капиллярной каймы мягкопластичные. Мощность изменяется до 4,5 м, располагаются в основаниях фундаментов старой застройки. Супеси лессовые верхне-среднечетвертичного возраста, от желтых до палево-желтых, пластичные, низкопористые, непросадочные, мощностью 19,5 м отнесены к слабым водонасыщенным грунтам. Гидрогеологические условия территории характеризуются развитием безнапорного водоносного горизонта, установившийся уровень которого зафиксирован на глубинах 4,5 от поверхности. Из отрицательных инженерно-геологических процессов отмечено наличие в геологическом разрезе лессовых грунтов, способных проявлять просадочные свойства при замачивании и прогрессирующий процесс подтопления территории подземными водами с прогнозируемым положением через последующие 10 лет на глубине до 2,0 м от поверхности. Важно отметить, что интенсивный подъем уровня в конце 80-х середине 90-х годов вызвал рост деформаций зданий окружающей застройки

Грунты, являющиеся естественным основанием фундаментов зданий, характеризуются низкой несущей способностью до 0,1 МПа. Учитывая особенности территории и нагрузки на фундаменты под строящийся многофункциональный центр были запроектированы забивные железобетонные сваи с погружением острия в несущий слой на глубинах 25...30 м.

При погружении свай у трехэтажного здания были зафиксированы интенсивные незатухающие осадки. Измеренные суммарные величины осадок настенных реперов составили от +0,6 до 66,03 мм, что в 7 раз превысило предельно допускаемую осадку 10 мм. В результате неравномерной деформации основания отклонение углов здания от вертикали увеличилось до 255 мм, в относительных единицах 0,0154...0,0245 д.ед. при допусках до 0,005 д.ед. Крен здания произошел в сторону котлована строящегося здания, наблюдения за трещинами показало их интенсивное раскрытие и образование новых с шириной от 20 до 85 мм.

Полученные повреждения сделали необходимым классифицировать общее состояние здания как неудовлетворительное (категория К-3) со снижением предельных допусков по осадкам до 0,5 см, дополнительным

кренам до 0,0007 и динамическим ускорениям до 500 мм/с². Деформации здания не стабилизировались и продолжались со средней скоростью более 8 мм/мес. Положение усугублялось вскрытием части котлованов под устройство ростверков нового здания при глубине до 4,80м относительно планировочной отметки. Забитые ранее сваи не работали как временное шпунтовое ограждение котлована. Расположение здания на откосе предопределяло потенциальную возможность увеличения динамики и рост осадок. По рекомендациям академии работы по погружению свай были временно приостановлены до выполнения проектной стены подвала строящегося здания и устройства обратной засыпки с одновременным проведением усиления основания и конструкций трехэтажного здания при постоянном мониторинге.

При фактическом состоянии основания трехэтажного здания, сложного увлажненными насыпными и сильнопросадочными грунтами оптимальным вариантом усиления фундаментов на основании расчетов по разработанным методикам [3] оказалось инъектирование цементного раствора под давлением и устройство бандажных поясов по надземной части.

Усиление основания было проведено в соответствии с проектом путем нагнетания цементного раствора системой инъекторов, установленных по периметру ленточных фундаментов с шагом 1,0...1,5 м с учетом существующих коммуникаций. При выполнении работ применена технологическая схема цементации «снизу-вверх» восходящим методом. Цементация массива, сложенного насыпными грунтами и лессовыми суглинками, выполнена в диапазоне строительных отметок от -0,75 до -5,0 м. Проектом была принята и реализована следующая схема работ: бурение вертикальных и наклонных скважин на расчетную глубину диаметром 93 мм; установка перфорированного инъектора диаметром 50 мм с защитными клапанами и его цементация; выдержка скважины в течение суток для обеспечения анкеровки инъектора в массиве; установка нагнетательного рукава с пакером, цементация первого интервала при расчетном давлении нагнетания; подъем рукава и пакера на 0,5...1,0 м вверх; цементация последующего интервалы при расчетном давлении нагнетания и т.д. Цементация массива производилась до уровня подошвы фундамента. Контроль цементации был выполнен путем бурения и отбора проб из контрольных скважин, проведения систематических наблюдений за зданием при производстве работ.

После завершения строительных работ в котловане строящегося здания и усиления фундаментов трехэтажного здания работы по погружению свай были продолжены при постоянном геодезическом и динамическом контроле. За период погружения 72 свай на расстоянии 10...30 м от здания роста осадок и кренов практически не было зафиксировано.

Параметры колебаний трехэтажного здания по контрольным замерам снизились на 20...40%. Контрольными замерами с 2004 по 2015 год подтверждено стабильное положение здания. Отклонения отметок реперов находятся практически в пределах точности второго класса измерений.

ВЫВОДЫ

1. Разработанный метод и технология высоконапорного инъекционного закрепления оснований имеет высокую эффективность и достаточную надежность для продления эксплуатационного ресурса зданий, устранения аварийных отказов оснований и подготовке грунтовых массивов перед строительством в сложных условиях.

2. После закрепления оснований при расчетных параметрах нагнетания увеличения осадок зданий даже при особых воздействиях не наблюдается.

3. Необходимо продолжить исследования в различных геологических условиях для получения необходимых данных и разработки нормативных документов по инъекционному закреплению различных типов грунтов в основаниях зданий при их реконструкции, модернизации и в случае получения аварийных повреждений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Выравнивание зданий и сооружений с помощью регулировочных устройств и регулируемых фундаментов: Методические указания по выравниванию зданий и сооружений. – К.: НИИСК, 1987. - 87 с.
2. Камбефор А. Инъекция грунтов. Принципы и методы / Камбефор А.: пер. с фр. Р.В. Казаковой и В.Б. Хейфица. - М.: Энергия, 1971. – 333 с.
3. Головки С.И. Теория и практика усиления грунтовых оснований методом высоконапорной цементации: монография / С.И. Головки. – Днепропетровск: Пороги, 2010. – 247 с.
4. Ухов С.Б. Механика грунтов, основания и фундаменты / Ухов С.Б. - М.: АСВ, 1994. - 527 с.
5. Грунти. Методи вимірювання деформацій основ будинків і споруд: ДСТУ Б.В.2.1-30:2014. - [Чинний від 2015-07-01]. – К.: Мінрегіон України. – III, 29 с. – (Державний стандарт України).
6. Методические рекомендации по проектированию и ведению работ при усилении оснований, фундаментов и несущих конструкций существующих зданий и сооружений инъекционными методами. - М.: А/ОБ «Восстановление», 1997. - 29 с.
7. Головки С.И. Напряженно-деформированное состояние грунтовых оснований при их усилении методом инъектирования. Закономерности распределения порового давления / Головки С.И. // Сб. науч. тр.: Дн-ск – Варшава. ПГАСиА и Варшавский технический университет. - С. 75-80.

8. Головки С.И. Напряженно-деформированное состояние основания в процессе высоконапорного инъецирования / Головки С.И. // Строительные конструкции: сб. науч. трудов. - К.: НИИСК, 2004. - С. 42 - 47.
9. Шадунц К.Ш. Армирование грунта оснований цементным раствором / Шадунц К.Ш., Ляшенко П.А., Роменский В.В. // Строительные конструкции: сб. науч. трудов. - Вып. 55. - К., 2001. - С.185 - 189.
10. Писанко В.П. Уплотнение грунтового основания методом высоконапорного инъецирования с нагнетанием смесей по заданным траекториям / Писанко В.П., Нуждин М.Л. // Реконструкция исторических городов и геотехническое строительство: сб. науч. тр. - С.-Петербург, 2003. - С. 361-364.

REFERENCES

1. Alignment of buildings and structures by means of adjusting devices and adjustable bases: Guidelines for the alignment of buildings and structures. - К.: NIISK, 1987. - 87 p.
2. Kambefor A. Injection of soils. Principles and methods. / Translated from French. R.V. Kazakovoy and V.B. Heifits. - M.: Energy, 1971. - 333 p.
3. Golovko S.I. Theory and practice of soil foundations by strengthening high-pressure grouting: monograph. - Dnepropetrovsk: Thresholds, 2010. - 247 p.
4. Ukhov S.B. and other soil mechanics, foundation and foundations. - M.: ASV, 1994. - 527 p.
5. Soils. Methods of testing buildings and constructions deformations of grounds: DSTU B.V.2.1-30:2014. - [Valid from 2015-07-01]. - К.: Minregion of Ukraine. - III, 29 p. - (State Standard of Ukraine).
6. Guidelines for the design and conduct of work at strengthening the base of foundations and supporting structures of existing buildings and structures injectable methods. - M.: A/V "Vostanovlenie", 1997. - 29 p.
7. Golovko S.I. Stress-strain state of soil bases at their strengthening by injection. Laws of distribution of pore pressure. Col. scient. works: Dnepropetrovsk - Warsaw. PGASA and the Warsaw University of Technology. - P. 75-80.
8. Golovko S.I. Stress-strain state of the base in the high-pressure injection. In Proc. "Budivelni konstruktсии". - V.61, Kiev: NDIBK, 2004. - P.42 - 47.
9. Shadunts K.S., Lyashenko P.A., Romenskii V.V. Reinforcement of soil bases with cement mortar. In Proc. "Budivelni konstruktсии". - Vol.55. - Kiev, 2001. - P.185 - 189.
10. Pisanko V.P., Nuzhdin M.L. Compaction of soil foundation by high-pressure injection with the injection mixture to the desired path. Col. scient. works: "Reconstruction of Historic Towns and geotechnical building". - St. Petersburg, 2003. - P. 361-364.

Статья поступила в редакцию 06.09.2016 г.