УДК 624.1

Ф.Ф. Зехниев, Д.А. Внуков, С.В. Астафьев, Т.Г. ГригорянОАО «НИЦ «Строительство» – НИИОСП им. Н.М. Герсевича,
Москва, Россия**ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ГРУНТОВЫМ
МАССИВОМ СКЛОНА НА ОБЪЕКТЕ СТРОИТЕЛЬСТВА
ХРАМА АРХАНГЕЛА МИХАИЛА В Д. ПУТИЛКОВО
МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Рассматриваются вопросы, связанные с оценкой устойчивости склона и оптимизацией проектных решений в части подпорных стен на объекте строительства Храмового комплекса в Московской области. Приводится информация о системе мониторинга грунтового массива склона, методах измерений и применяемом измерительном оборудовании, а также результаты измерений и их сопоставление с прогнозными величинами.

Ключевые слова: геотехнический мониторинг, инклинометр, грунтовая марка, пленочный отражатель, оползень, устойчивость склона, плановые перемещения.

F.F. Zehniev, D.A. Vnukov, S.V. Astafyev, T.G. Grigoryan

NIIOSP them N.M. Gersevanov, Moscow, Russian Federation

**INSTRUMENTAL OBSERVATIONS OF SOIL MASSES SLOPE ON
CONSTRUCTION SITES IN THE TEMPLE OF ARCHANGEL
MICHAEL D. PUTILKOV MOSCOW REGION**

This article discusses issues related to slope stability evaluation and optimization of the design solutions in terms of retaining walls at the construction site of the Temple complex in the Moscow region. Provides information about the monitoring system of the soil mass slope as applied instrumentation and measurement results and their comparison with predicted values.

Keywords: geotechnical monitoring, inclinometer, ground mark, film reflector, landslide, slope stability, horizontal displacements.

Введение

На сегодняшний день в связи со стремительными темпами застройки территорий Москвы и Московской области существует потребность в строительстве новых культовых сооружений, например

храмов, монастырей и т.д. В то же время при выборе площадок для их строительства, как правило, стремятся учитывать религиозные исторические традиции, предусматривающие определенное расположение объекта.

Так, в настоящее время в северо-восточной части Красногорского района Московской области в д. Путилково ведется строительство Храма Архангела Михаила, проектирование которого было начато в 2009 г. Площадка строительства находится в области развития холмисто-грядового рельефа с достаточно выпуклыми склонами крутизной до 40° . Строительство Храмового комплекса ведется на вершине одного из таких склонов (рис. 1).

В геологическом строении участка строительства храмового комплекса принимают участие: современные техногенные и среднечетвертичный комплекс ледниковых и водно-ледниковых отложений, представленный моренными и флювиогляциальными отложениями, которые подстилаются коренными верхнеюрскими и верхнекаменноугольными породами. Гидрогеологические условия характеризуются наличием двух безнапорных водоносных горизонтов: четвертичного межморенного и подморенного.

Запроектированный объект состоит из основного здания Храма и вспомогательных зданий и сооружений: церковной лавки, дома причта, здания администрации и подпорных стен, выполняемых из монолитного железобетона (рис. 2).

Рис. 1. Перспективный вид Храма Архангела Михаила в д. Путилково

Рис. 2. Ситуационный план участка строительства: 1 – здание храма; 2 – церковная лавка; 3 – здание администрации; 4 – дом причта; 5 – подпорная стена; 6 – здания окружающей застройки

Фундаментами сооружений являются буронабивные сваи диаметром 350 и 620 мм, длиной 10–20 м, объединенные плитными ростверками. Весь комплекс ограждается железобетонными подпорными стенами высотой 1–9 м на буронабивных сваях диаметром 620 мм, длиной 4–10 м, в том числе с якорными тягами, в связи с повышением по проекту планировочных отметок.

Следует отметить, что важным аспектом при проектировании и строительстве объектов на сложном рельефе (склонах, откосах) является решение вопросов, связанных с оценкой устойчивости территории, а также контролем горизонтальных перемещений грунтового массива, прилегающего к площадкам строительства. В настоящей статье рассматривается опыт применения основных систем наблюдения за перемещениями грунтового массива склона и сопоставление полученных результатов измерений с прогнозными величинами.

1. Оценка устойчивости склонов и проектных решений подпорных стен

В 2009 г. одним из столичных институтов на рассматриваемом участке выполнены инженерно-геологические изыскания и математический прогноз устойчивости склонов, по результатам которых была отмечена высокая вероятность развития оползневых процессов на территориях, прилегающих непосредственно к площадке строительства с северо-западной и южной сторон.

Анализ результатов инженерно-геологических изысканий, проведенный НИИОСП в рамках геотехнической экспертизы проектных решений, показал, что материалов изысканий в части выполненных объемов и принятых характеристик грунтов было недостаточно для разработки рабочего проекта. Кроме того, расчетные прочностные характеристики грунтов при оценке устойчивости склонов были приняты много меньше значений, представленных в сводной таблице, и характеристик остаточной прочности, полученных при лабораторных испытаниях по подготовленной поверхности («плашка по плашке»). По результатам расчетов склоны в северо-западной и южной частях территории были признаны неустойчивыми, а расчетная поверхность скольжения, проходящая в коренных грунтах, получилась очень пологой и на несколько десятков метров заходящей от бровки откоса, что не соответствует зафиксированным изыскателями в натуре формам оползней в насыпных грунтах. Также было отмечено, что величины оползневого давления, полученные при проведении расчетов устойчивости двух склонов и учитываемые в дальнейшем при проектировании подпорных стен, приняты необоснованно, так как они не регламентируются нормативными документами.

На основании материалов первичных изысканий одной из проектных фирм были запроектированы комбинированные подпорные стены уголкового типа, устраиваемые на пяти рядах буроинъекционных свай диаметром 250 мм, длиной 12 м. При этом в составе подпорных стен проектом было предусмотрено устройство металлического шпунта типа Ларсен-V с целью восприятия оползневого давления величиной 20 т/м и снижения в буроинъекционных сваях горизонтальных нагрузок и изгибающих моментов (рис. 3).

Рис. 3. Инженерно-геологический разрез северо-западной части склона с указанием первоначального типа конструкции подпорной стены углового типа. ИГЭ1а – техногенные грунты; ИГЭ2 – пески средней крупности, средней плотности, малой степени водонасыщения; ИГЭ3а – суглинки мягкопластичные; ИГЭ6 – суглинки полутвердые, твердые; ИГЭ8 – пески мелкие, средней плотности; 1 – буроинъекционные сваи диаметром 250 мм; 2 – подпорная стена; 3 – шпунт Ларсена-V; 4 – обратная засыпка

В 2011 г. по рекомендациям НИИОСП были проведены дополнительные инженерно-геологические изыскания для уточнения прочностных характеристик грунтов, слагающих площадку строительства храмового комплекса, и выполнена оценка устойчивости двух оползнеопасных склонов в естественном сложении с применением программ Plaxis v 8.6 и SLIDE. Расчеты были произведены с использованием метода снижения исходных прочностных характеристик слагающих массив грунтов, включенный в раздел 5 актуализируемой в настоящее время редакции СНиП 22-02-2003 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов». Необходимо отметить, что в работе по оценке устойчивости склона рассматриваемого объекта принимал участие кандидат технических наук В.Г. Федоровский, который также является одним из авторов коллектива по актуализации указанного нормативного документа. Поскольку свойства насыпных грунтов полевыми и лабораторными методами не

изучались, ввиду сжатых сроков строительства, при проведении расчетов по программе Plaxis был реализован следующий подход. Прочностные характеристики насыпных грунтов, слагающих склон, подбирались таким образом, чтобы расчетная поверхность скольжения проходила в их толще, при этом коэффициент запаса устойчивости находился в пределах $1,0 \leq k_{st} \leq 1,1$, так как в натуральных условиях оползневых явлений в насыпных грунтах не наблюдалось. После этого производилось «условное закрепление» насыпных грунтов с целью определения поверхности скольжения и минимального коэффициента устойчивости в подстилающих коренных грунтах с известными механическими характеристиками. По результатам расчетов было установлено, что склоны в северо-западной и юго-западной частях территории строительства являются устойчивыми как в естественном состоянии, так и с учетом принятых проектных решений, при нормативном коэффициенте запаса устойчивости склона [$k_{st} = 1,21$]. Расчеты в программе SLIDE, реализующей метод переменной степени мобилизации (МСПМ) [1], также подтвердили устойчивость склона по двум характерным сечениям.

По итогам работы НИИОСП была произведена оптимизация ранее принятых проектных решений в части подпорных стен проектируемого объекта [2], в результате которой их конструкция принята консольного типа на одном ряде буронабивных свай диаметром 620 мм, длиной 4–10 м, на отдельных участках с якорными тягами.

2. Система мониторинга грунтового массива на объекте строительства

В рамках научно-технического сопровождения проектируемого объекта НИИОСПом была разработана программа геотехнического мониторинга, включающая наблюдения за окружающей застройкой, грунтовым массивом, прилегающим к территории строительства храмового комплекса, строящимся объектом, в том числе подпорными стенами и изменением гидрогеологического режима.

В соответствии с программой на объекте строительства храмового комплекса была реализована система наблюдений за грунтовым массивом склона, включающая измерения плановых перемещений поверхностных грунтовых марок геодезическими тахеометрами, а также

горизонтальных перемещений по глубине массива с применением инклинометрического оборудования DIS 500 (рис. 4).

Организация инклинометрических наблюдений предусматривает устройство пластиковых труб диаметром 76 мм в предварительно пробуренные скважины, заполненные цементно-песчаным раствором для дальнейшего измерения горизонтальных перемещений в двух взаимно перпендикулярных плоскостях путем погружения в устроенные трубы зонда, оснащенного акселерометрами и соединенного кабелем с катушкой. Процесс проведения измерений и запись результатов полностью управляются с карманного персонального компьютера посредством беспроводной связи Bluetooth, после чего результаты измерений обрабатываются на компьютере с применением специализированной программы.

Инклинометрические измерения выполняются снизу вверх с интервалом 1 м, при этом за точку нулевого отсчета принимается нижняя часть трубы, которая считается условно неподвижной, однако в действительности она может перемещаться, поэтому проводятся контрольные измерения оголовка трубы с применением тахеометра с целью корректировки результатов измерений.

Рис. 4. Инклинометрическая измерительная система DIS500.

1 – инклинометрическая труба в скважине; 2 – зонд; 3 – катушка с кабелем

Таким образом, на рассматриваемом объекте в северо-западной части склона с целью контроля и подтверждения прогнозируемых перемещений в слое насыпных грунтов было выполнено устройство двух

инклинометрических труб длиной 6 и 9 м, при этом глубина их погружения определялась, в том числе, расчетными поверхностями скольжения (рис. 5).

Рис.5. Инженерно-геологический разрез северо-западной части склона с указанием положения инклинометрических скважин ИС-1 и ИС-2 и здания церковной лавки вблизи подпорной стены. ИГЭ1 –насыпь глинистого состава; ИГЭ2 –песок средней крупности маловлажный, средней плотности; ИГЭ3 – суглинок полутвердый; ИГЭ4 – суглинок мягкопластичный; ИГЭ5 – песок средней крупности маловлажный, рыхлый; ИГЭ6 – суглинок мягкопластичный; ИГЭ7 – суглинок тугопластичный; 1 – подпорная стена; 2 – свая подпорной стены; 3 – планировочная насыпь; 4 – сваи церковной лавки; 5 – поверхность скольжения в естественном сложении; 6 – поверхность скольжения с учетом проектных решений

Грунтовые марки устраивались на глубину до 2,5 м по всей площади склона для наблюдения за поверхностными плановыми перемещениями грунтового массива.

3. Результаты наблюдений за грунтовым массивом склона и их сопоставление с прогнозом

В процессе производства работ по устройству буронабивных свай подпорных стен на бровке склона в северо-западной части площадки строительства было зафиксировано смещение верха арматурных каркасов нескольких свай на величину до 28 см в сторону склона в условиях набора прочности бетона под действием нагрузки от буровой

строительной техники (рис. 6). Одновременно с этим были зафиксированы приросты горизонтальных перемещений в инклинометрической трубе ИС-1, установленной вблизи подпорной стены, достигающие 12 мм в сторону склона, а также плановых перемещений поверхностных грунтовых марок на величину до 45,0 мм.

В указанной ситуации НИИОСПом были проведены дополнительные инженерно-геологические изыскания, по результатам которых была выявлена значительная толща насыпных грунтов в прилегающем склоне за контуром подпорных стен, достигающая 8 м. Произведенные контрольные расчеты устойчивости склона с учетом выявленной толщи насыпных грунтов и принятых решений по подпорным стенам подтвердили его устойчивость.

Рис. 6. Вид смещенного арматурного каркаса буронабивной сваи подпорной стены в северо-западной части склона: 1 – тело сваи; 2 – смещенный арматурный каркас сваи

На момент завершения работ по строительству подпорных стен, конструкций «нулевого» цикла церковной лавки и отсыпки территории до проектных отметок максимальная величина горизонтальных перемещений инклинометрической трубы № 1 на глубине 1,0 м составила 30 мм, что не превышает прогнозируемой НИИОСПом величины горизонтальных перемещений на указанной глубине, равной 32 мм (рис. 7). Максимальная величина плановых перемещений поверхностных грунтовых марок вблизи инклинометрических труб составила 61 мм.

Полученные на сегодняшний день результаты измерений горизонтальных перемещений грунтового массива склона по глубине с поправкой на плановые перемещения оголовков инклинометрических труб, зафиксированные тахеометром, согласуются с прогнозными величинами.

Рис. 7. График сопоставления расчетных и измеренных горизонтальных перемещений грунтового массива по глубине в северо-западной части склона: ИГЭ1 – насыпь глинистого состава; ИГЭ2 – песок средней крупности маловлажный, средней плотности; ИГЭ6 – суглинок мягкопластичный; ИГЭ7 – суглинок тугопластичный; 1 – измеренные перемещения инклинометрической трубы № 1; 2 – прогнозные перемещения инклинометрической трубы № 1

Работы по геотехническому мониторингу объекта строительства Храма Архангела Михаила в д. Путилково продолжаются.

Выводы

1. При проведении инженерно-геологических изысканий необходимо исследовать полевыми и лабораторными методами механические характеристики насыпных грунтов, слагающих склоны, особенно при

их значительной толщине, с целью получения более достоверных исходных данных, закладываемых в расчеты по их устойчивости.

2. Для своевременного предупреждения возможных аварийных ситуаций на объектах строительства программу геотехнического мониторинга по объему и составу работ необходимо разрабатывать с учетом требований действующих норм и прогнозируемых геотехнических рисков.

3. При проведении измерений горизонтальных перемещений грунтового массива по глубине следует контролировать плановые перемещения оголовка инклинометрических труб геодезическим методом с применением тахеометра с целью возможной корректировки полученных результатов, особенно при значительных перемещениях, поскольку труба может полностью оказаться в зоне деформаций грунтового массива.

4. Применение инклинометрической системы на объектах строительства позволяет контролировать горизонтальные перемещения грунтового массива по глубине с высокой точностью и в необходимом объеме, а также выполнять верификацию расчетных данных.

5. К недостаткам применения на объектах инклинометрической системы следует отнести отсутствие отечественных производителей оборудования, в том числе специализированных пластиковых труб, являющихся расходным материалом при проведении измерений, что требует значительных временных и стоимостных затрат на ее организацию.

Библиографический список

1. Федоровский В.Г., Курилло С.В. Метод переменной степени мобилизации сопротивления грунту для расчета прочности грунтовых массивов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1998. – № 4–5. – С. 18–22.

2. Гинзбург Л.К. Противооползневые удерживающие конструкции. – М.: Стройиздат, 1979. – 80 с.

References

1. Fedorovskii V.G., Kurillo S.V. Method of variable degree of mobilization of soil resistance for calculating the strength of soil masses. *Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov*, 1998, no. 4–5, pp. 18–22.

2. Ginzburg L.K. Landslide retaining structures. Moscow: Strojizdat, 1979, 80 p.

Об авторах

Зехниев Фаршед Фарходович (Москва, Россия) – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией № 2 «Оснований и фундаментов на слабых грунтах» НИИОСП им. Н.М. Герсевича (e-mail: farshedzehni@yandex.ru; lab02@niiosp.ru).

Внуков Дмитрий Алексеевич (Москва, Россия) – ведущий инженер лаборатории № 2 «Оснований и фундаментов на слабых грунтах» НИИОСП им. Н.М. Герсевича (e-mail: vda.05@mail.ru).

Астафьев Сергей Владимирович (Москва, Россия) – старший инженер лаборатории № 2 «Оснований и фундаментов на слабых грунтах» НИИОСП им. Н.М. Герсевича (e-mail: shalden86@mail.ru).

Григорян Тимур Григорьевич (Москва, Россия) – старший инженер лаборатории № 2 «Оснований и фундаментов на слабых грунтах» НИИОСП им. Н.М. Герсевича (e-mail: tgg8484@mail.ru).

About the authors

Zehniev Farshed Farhodovich (Moscow, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory number 2 "Bases and foundations on soft soils" NIIOSP them N.M. Gershevich (e-mail: farshedzehni@yandex.ru; lab02@niiosp.ru).

Vnukov Dmitriy Alekseevich (Moscow, Russian Federation) – Leading Engineer Laboratory number 2 "Bases and foundations on soft soils" NIIOSP them N.M. Gershevich (e-mail: vda.05@mail.ru).

Astafyev Sergey Vladimirovich (Moscow, Russian Federation) – Senior Engineer Laboratory number 2 "Bases and foundations on soft soils" NIIOSP them N.M. Gershevich (e-mail: shalden86@mail.ru).

Grigoryan Timur Grigoryevich (Moscow, Russian Federation) – Senior Engineer Laboratory number 2 "Bases and foundations on soft soils" NIIOSP them N.M. Gershevich (e-mail: tgg8484@mail.ru).

Получено 15.04.2014