

УДК

И.А. САЛМИН, инженер (support@geo-soft.ru)

ООО «ИнжПроектСтрой» (614000, а/я 91, г. Пермь, Комсомольский пр., 34, оф. 105)

Мониторинг ограждающей конструкции глубокого котлована

В настоящей работе представлен опыт оптимизации проектного решения по ограждению котлована глубиной 14,4 м. Мониторинг перемещений ограждения котлована двумя методами показал сопоставимые результаты (перемещения в процессе разработки и дальнейшей эксплуатации не превысили 16 мм). Наблюдения за показаниями датчиков сил позволило сделать вывод об отсутствии эффектов ползучести корня анкера, а также о значительно меньших усилиях в анкерах, чем было получено по расчету. Низкие значения усилий в анкерах обусловлены низкими значениями перемещений ограждения котлована. Системы мониторинга являются важным инструментом для получения фактической информации о состоянии ограждения в процессе разработки котлована, а также дальнейшей его эксплуатации.

Ключевые слова: мониторинг, ограждение котлована, инклинометр, датчик силы, GeoWall, Alterra, подземное строительство, анкер.

Для цитирования: ФИО. Название // *Жилищное строительство*. 2017. № 9. С. 00–00.

AUTORS

Name

В настоящей работе представлен опыт оптимизации проектного решения по ограждению котлована глубиной 14,4 м. Мониторинг перемещений ограждения котлована двумя методами показал сопоставимые результаты (перемещения в процессе разработки и дальнейшей эксплуатации не превысили 16 мм). Наблюдения за показаниями датчиков сил позволило сделать вывод об отсутствии эффектов ползучести корня анкера, а также о значительно меньших усилиях в анкерах, чем было получено по расчету. Низкие значения усилий в анкерах обусловлены низкими значениями перемещений ограждения котлована. Системы мониторинга являются важным инструментом для получения фактической информации о состоянии ограждения в процессе разработки котлована, а также дальнейшей его эксплуатации.

Keywords: ?????????

For citation: ФИО. Название. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 9, pp. 00–00. (In Russian).

При строительстве технических сооружений для очистки ливневых сточных вод в Перми необходимо выполнить устройство ограждения котлована. Глубина котлована составляет 14,4 м, протяженность котлована в плане 25 м. Существующий проект предполагал устройство ограждения из БНС $\varnothing 600$ мм, глубиной 30 м с 4-мя ярусами крепления грунтовыми анкерами.

В геологическом строении данного района принимают участие биогенные (ПГС), четвертичные отложения. Коренные породы встречены всеми скважинами и представлены пермскими отложениями (алевролиты, аргиллиты). Особенностью коренных грунтов является их размокаемость. При добавлении воды один образец полностью размок. Второй образец показал падение прочности на одноосное сжатие более чем в 10 раз. Уровень грунтовых вод находится на отметке глубины котлована.

Предварительный анализ существующего проектного решения показал, что длина заделки 16,6 м для котлована глубиной 14,4 м является избыточной. Обвязочный пояс из одинарного швеллера 30Ш недостаточен для подобного котлована, причем конструкция пояса не позволит провести натяжения анкеров. Корни анкеров предлагалось выполнить $\varnothing 600$ мм в аргиллитах и алевролитах по технологии

струйной цементации грунтов [1], что является достаточно спорным решением. На практике возможно объединить технологию буроинъекционных свай с технологией струйной цементации; технология носит название Атлант-Jet [2], при этом диапазон диаметров варьируется от 300 мм в глинистых грунтах до 500 мм в песчаных. Практика показывает, что разрушить струей цементного раствора полускальный грунт до $\varnothing 600$ мм не представляется возможным.

Выбор проектного решения подтверждался техническим отчетом по расчету в программе Plaxis 8 с использованием модели Hardening Soil. Отчет содержал ряд неточностей и допущений. Основным замечанием к отчету было использование в качестве расчетных значений физико-механических характеристик грунтов табличные значения из СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83*». Анализ отчета по расчету показал, что расчетные значения усилий в анкерах превышают несущую способность анкеров по материалу.

С целью устранения выявленных недочетов было решено внести изменения в проектное решение. В новом решении длину ограждения сократили с 30 до 22,5 м, глубина заделки составила 8,1 м. Изменению подверглись анкера: длина анкеров уменьшилась, но площадь сечения анкерных тяг уве-

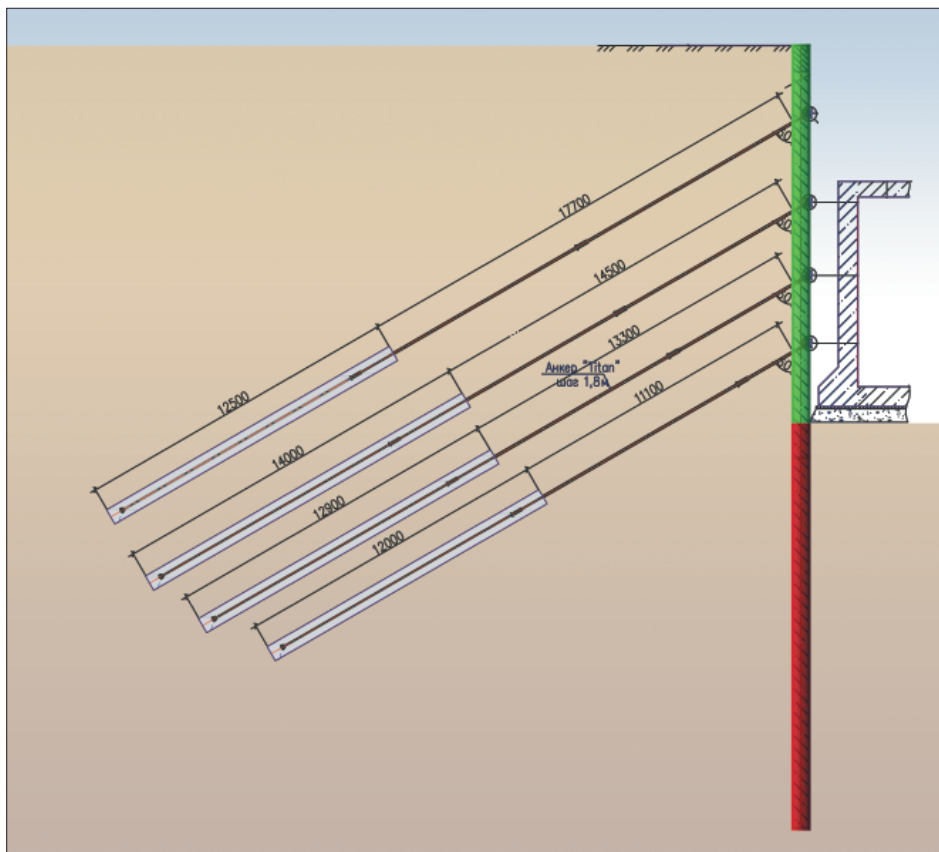


Рис. 1. Начальное проектное решение. Зеленым цветом показана длина ограждения до заделки (14,4 м), красным – заделка (16,6 м). Длина ограждения 30 м

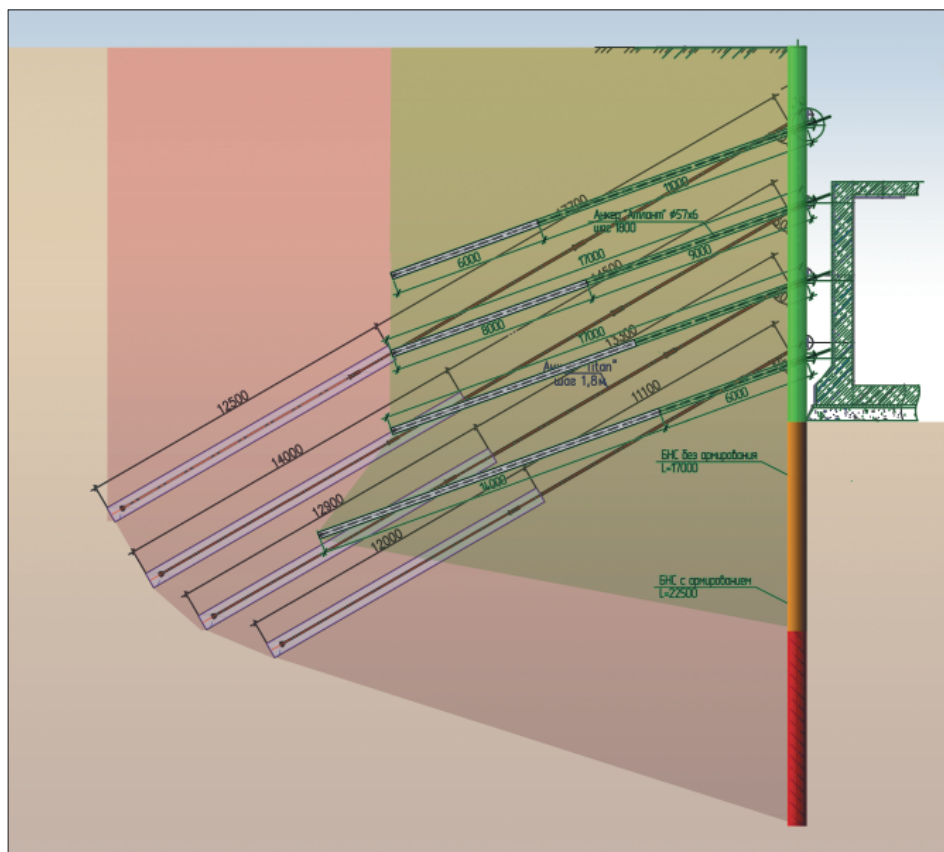


Рис. 2. Сравнение двух проектных решений. Красным цветом показано исходное проектное решение, зеленым цветом – новое решение

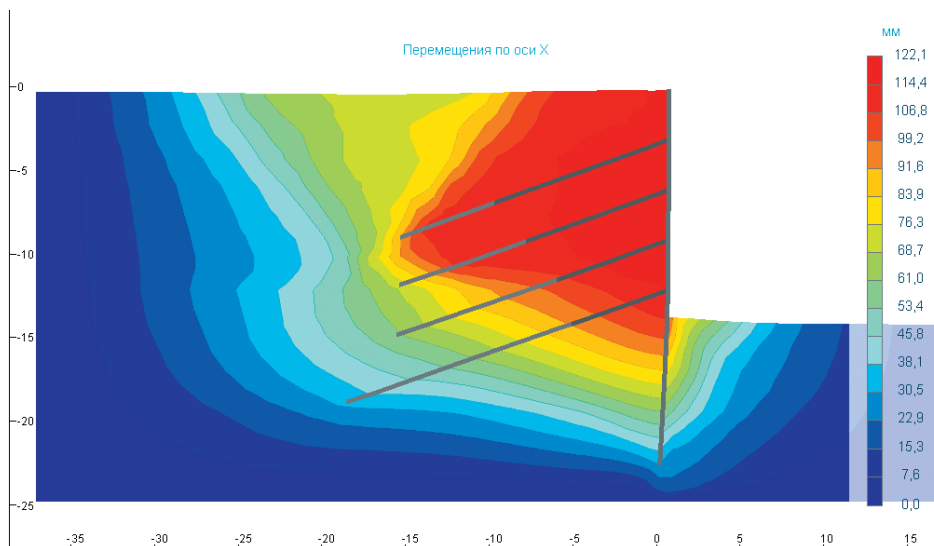


Рис. 3. Расчет ограждения котлована в программе Alterra

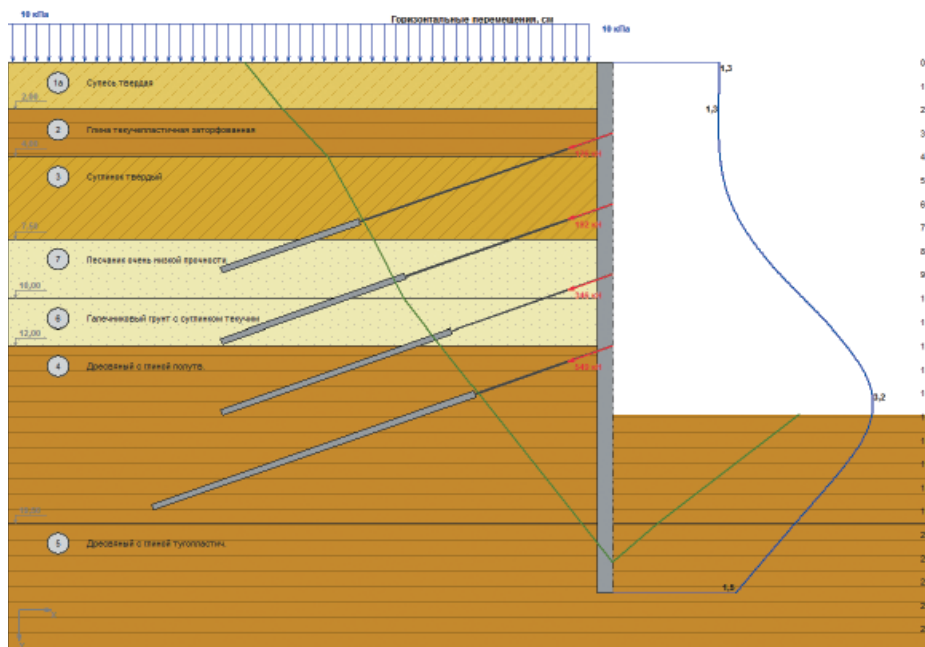


Рис. 4. Расчет ограждения котлована в программе GeoWall

личена, уменьшен угол установки анкеров с 30 до 20°, диаметр корней анкеров уменьшен с проектных 600 до \varnothing 250 мм. Сравнение двух решений представлено на рис. 2.

Для оптимизации проектного решения были выполнены дополнительные изыскания, в результате которых уточнен инженерно-геологический разрез, а также получены физико-механические характеристики грунтов.

При расчете ограждений котлованов одной из первых задач является выбор модели взаимодействия грунта с ограждением. В МКЭ решается полная система уравнений равновесия, геометрических соотношений, физических соотношений и граничных условий для каждого элемента, на которые разбивается массив грунта и ограждение. В качестве физических соотношений для грунта часто применяют упругопластическую модель с критерием перехода в пластическое состояние согласно зависимости Кулона–Мора.

В инженерных методиках (в частности, предлагаемых в СП 22.13330.2011, СП 101.13330.2012 «Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные со-

оружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.07–87», [3–4]) горизонтальная реакция грунта определяется кусочно-линейной функцией, которая зависит от горизонтального смещения ограждения.

В расчетах применялись оба подхода к моделированию взаимодействия ограждения и грунта: подход МКЭ реализован в программе Alterra [5] (рис. 3), подход с кусочно-линейной функцией реализован в программе GeoWall (рис. 4).

Оптимизация проектного решения позволила сократить общую длину буронабивных свай на 25%, длину анкеров на 30%. Замена анкеров Titan на Атлант [6–7] производства ООО «ИнжПроектСтрой», позволила дополнительно сократить стоимость работ. При оптимизации варьировались отметки установки анкеров [8], углы установки, длина заделки. По результатам расчетных усилий подбирались армирование ограждения, длина корней анкеров [9], площадь поперечного сечения тяг анкеров.

С целью подтверждения правильности принятых проектных решений предусмотрено проведение мониторинга в про-

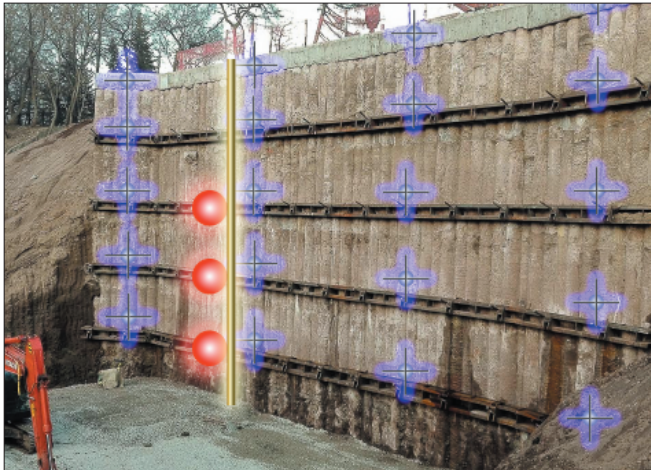


Рис. 5. Положение опорных точек для мониторинга. Синим цветом показаны геодезические марки, красным цветом – датчики усилий на анкерах, желтым – инклинометрическая трубка

цессе разработки котлована. Мониторинг включал в себя геодезические наблюдения, инклинометрические наблюдения, а также контроль усилий в анкерах по показаниям датчиков сил.

Геодезические марки устанавливали по 4 шт. на каждом ярусе и верхней обвязочной железобетонной балке – итого 20 марок (рис. 5). Наблюдения велись начиная с февраля по настоящее время. Результаты наблюдений представлены на рис. 6.

За все время наблюдений перемещения ограждения, по данным геодезических наблюдений, не превышали 16 мм. Параллельно производились измерения инклинометром. Результаты наблюдений представлены на рис. 7.

За все время наблюдений перемещения ограждения, по данным инклинометрических наблюдений, не превышали 8 мм. Эпюры профилей, полученные инклинометром, представлены на рис. 8.

В дополнение к мониторингу перемещений установлены датчики усилий на анкерах. Результаты наблюдений представлены на рис. 9.

Изначальное усилие натяжения составляло 100-150 кН в зависимости от яруса установки анкеров. На протяжении пяти месяцев усилие натяжения в анкерах изменилось незначительно: выросло соответственно до 120–180 кН.

Отличие результатов наблюдений от расчетных значений связано с тем, что фактические условия работы ограждений котлованов могут отличаться от условий, предполагаемых при проектировании. Причины этому могут быть различными:

- расчетные модели ограждений котлованов имеют ряд допущений;
- расчетные значения физико-механических свойств грунтов, как известно, являются случайными величинами с определенным доверительным интервалом;

Сравнение результатов расчета с наблюдениями

	Макс. перемещения, мм	Усилия в анкерах, кН
Исходный проект, Plaxis 8	148	750
Оптимизированный проект, GeoWall 6	33	550
Оптимизированный проект, Alterra	122	530
Наблюдения	16	200

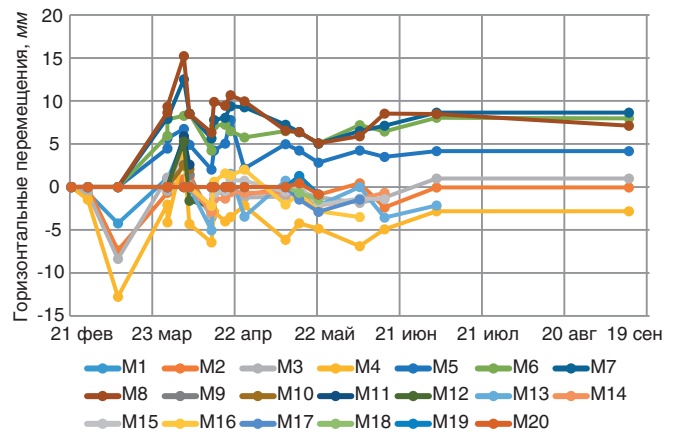


Рис. 6. Значения горизонтальных перемещений марок от времени

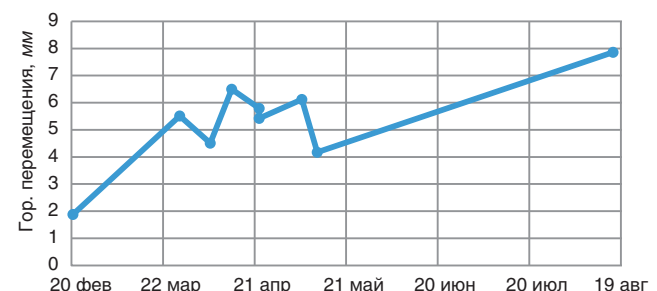


Рис. 7. Значения максимальных перемещений по результатам инклинометрических наблюдений

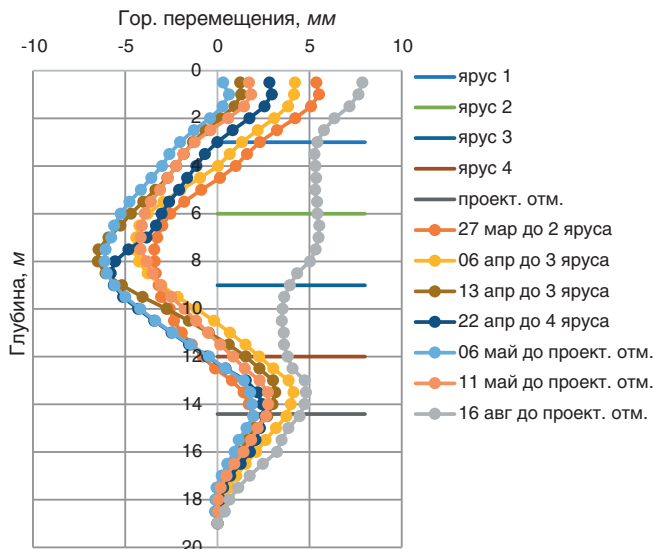


Рис. 8. Значения максимальных перемещений по результатам инклинометрических наблюдений

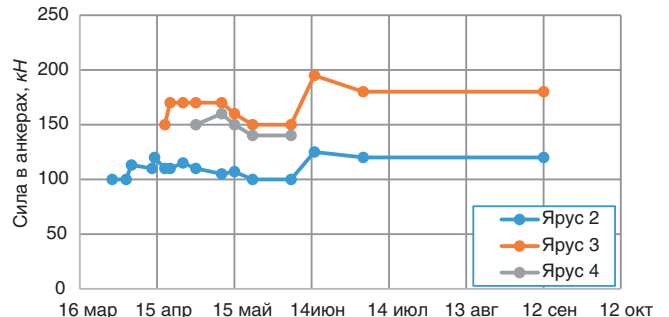


Рис. 9. График зависимости усилий в анкерах от времени

– устройство ограждения котлована может изменить гидрогеологические условия площадки;
– возможное превышение глубины разработки котлована;
– возможное появление дополнительной технологической нагрузки на бровке котлована.

Для уточнения расчетной модели можно воспользоваться обратным расчетом и определить фактические значения свойств грунтов, которые оказывают наибольшее влияние на НДС схемы. Подобный анализ на примере осадки фундаментной плиты с подбором модуля деформации приведен в статье [10].

При обратных расчетах ограждения котлована было подобрано повышенное значение угла внутреннего трения грунта заделки (с 15 до 25°). В этом расчетном случае результаты перемещений ограждения котлована и усилия в анкерах стали достаточно хорошо описывать наблюдаемые значения на реальном объекте.

Список литературы

1. Малинин А.Г. Струйная цементация грунтов. М.: Стройиздат, 2010. 226 с.
2. Малинин П.А., Струнин П.В., Гульшина Ю.Г., Салмин И.А. Опыт применения новой технологии грунтовых анкеров «Атлант Jet» при креплении глубокого котлована в Москве: Сб. трудов международной научно-технической конференции «Современные геотехнологии в строительстве и их научно-техническое сопровождение». СПб, 2014. С. 142–148.
3. Клейн Г.К. Расчет подпорных стен. М.: Высшая школа, 1964. 196 с.
4. Горбунов-Посадов М.И., Ильичев В.А., Крутов В.И. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Под. общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. М.: Стройиздат, 1985. 480 с.
5. Малинин П.А., Воробьев А.В., Жемчугов А.А. Шестаков А.П. Современный программный комплекс для геотехнических расчетов методом конечных элементов // *Жилищное строительство*. 2011. № 9. С. 32–33.
6. Малинин П.А., Струнин П.В. Опыт строительства глубокого котлована с использованием технологии струйной цементации грунтов // *Геотехника*. 2013. №2. С. 4–13.
7. Малинин А.Г., Малинин Д.А. Анкерные сваи «Атлант» // *Жилищное строительство*. 2010. № 5. С. 60–62.
8. Марголин В.М. – Поиск оптимальных решений ограждения котлована «стеной в грунте» с использованием буройнъекционных анкеров // *Промышленное и гражданское строительство*. 2012. № 12. С. 23–26.
9. Малинин Д.А. Несущая способность винтовых анкеров «Атлант» // *Жилищное строительство*. 2012. № 9. С. 46–49.
10. Тер-Мартirosyan З.Г., Тер-Мартirosyan А.З., Соболев Е.С. Анализ данных геотехнического мониторинга плитных фундаментов большой площади // *Геотехника*. 2012. № 4. С. 28–34.

Выводы.

Проектирование ограждений котлованов является многофакторной задачей, затрагивающей различные области знания механики грунтов. Расчеты ограждения котлована позволяют получить некоторый набор различных вариантов проектных решений, но мониторинг дает ответ на вопрос, насколько выбранное решение соответствует поставленной задаче.

Мониторинг является полезным инструментом при разработке котлована. Авторы проекта могут получать сигналы о состоянии ограждения практически в любое время в процессе строительства и даже после него. Мониторинг в роли обратной связи позволяет дать ответ, насколько расчетная модель близка к реальности. Это дает возможность развиваться инженеру-проектировщику. Полученный опыт позволяет в дальнейшем принимать более рациональные проектные решения.

References

1. Malinin A.G. Struinaya tsementatsiya gruntov [Jet cementation of soil]. Moscow: Stroyizdat, 2010. 226 p.
2. Malinin P.A., Strunin P.V., Gulshina Yu.G., Salmin I.A. Experience of use of new technology of soil anchors «the Atlas of Jet» when fastening a deep ditch in Moscow». Works of the international scientific and technical conference «Modern Geotechnologies in Construction and Their Scientific and Technical Maintenance». St. Petersburg, 2014. Pp. 142–148. (In Russian).
3. Klein G.K. Raschet podpornykh sten [Calculation of retaining walls]. Moscow: Vysshaya shkola, 1964. 196 p.
4. Gorbunov-Posadov M.I., Ilyichev V. A., Krutov V.I. Osnovaniya, fundamenti i podzemnye sooruzheniya [Bases, bases and underground constructions]. Under. general edition of E.A. Sorochan and Yu.G. Trofimenkov. Moscow: Stroyizdat, 1985. 480 p.
5. Malinin P.A., Vorobyov A.V., Pearls A.A. Shestakov A.P. A modern program complex for geotechnical calculations with a finite element method. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2011. No. 9. Pp. 32–33. (In Russian).
6. Malinin P.A., Strunin P.V. Experience of construction of a deep ditch with use of technology of jet cementation of soil. *Geotekhnika* [Geotechnics]. 2013. No. 2. Pp. 4–13. (In Russian).
7. Malinin A.G., Malinin D.A. Anchor piles «Atlant». *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2010. No. 5. Pp. 60–62. (In Russian).
8. Margolin V.M. – Search of optimal solutions of a protection of a ditch «a wall in soil» with use the buroinjektsionnykh of anchors. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil engineering]. 2012. No. 12. Pp. 23–26. (In Russian).
9. Malinin D.A. The bearing ability of screw anchors «Atlas». *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2012. No. 9. Pp. 46–49. (In Russian).
10. Ter-Martirosyan Z.G., Ter-Martirosyan A.Z., Sobolev E.S. Analysis of data of geotechnical monitoring of the slabby bases of the big area. *Geotekhnika* [Geotechnics]. 2012. No. 4. Pp. 28–34. (In Russian).

**MALININ
GROUP**

www.MalininGroup.com

MALININ group объединяет компании «ИнжПроектСтрой»; «Специальная строительная техника»; «Анкерные системы»; «GeoSoft», занимающиеся геотехническими работами, производством специального строительного оборудования, анкеров, а также разработкой программного обеспечения для геотехнических расчетов.

Proekt@MalininGroup.com