УДК 624.15

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-3-77-83

© Я. А. Пронозин, д-р техн. наук, доцент
 © М. А. Степанов, канд. техн. наук, доцент
 © Л. Р. Епифанцева, канд. техн. наук, доцент
 © Ю. В. Наумкина, канд. техн. наук, доцент
 (Тюменский индустриальный университет)
 E-mail: maxim_stepanov@inbox.ru

© Ya. A. Pronozin, Dr. Sci. Tech., Associate Professor
 © M. A. Stepanov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
 © L. R. Epifantseva, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
 © Yu. V. Naumkina, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
 (Industrial University of Tyumen)
 E-mail: maxim_stepanov@inbox.ru

РЕШЕНИЕ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ВОПРОСОВ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ПОДВАЛЬНЫХ ЭТАЖЕЙ В УСЛОВИЯХ РЕСТАВРАЦИИ

SOLVING THE GEOTECHNICAL PROBLEMS AT ARRANGEMENT OF OPERATED BASEMENT FLOOR PREMISES IN CONDITIONS OF RESTORATION

Приводятся результаты численного моделирования увеличения объема реставрируемого здания за счет устройства подземного этажа с учетом технологии производства работ, включающей устройство буронабивных свай, поэтапное удаление грунта и создание монолитного кессона стен и пола подвала. По данным мониторинга, принятый способ устройства подземного этажа не вызвал критических дополнительных деформаций здания и может быть рекомендован к применению в подобных условиях.

Ключевые слова: подвальный этаж, фундамент, инъекционная свая, кессон, численное моделирование, грунтовое основание, реставрация, мониторинг, осадка, технология.

The paper presents the results of computational modeling of the process of the restored building volume increasing at the benefit of arrangement of the basement floor taking into account the works' technologies, including the arrangement of bored injection piles, step-by-step soil excavation and erection of in-situ reinforced concrete caisson and basement deck. According to the monitoring, this method of the basement floor building excluded critical additional deformation of the structure and can be recommended for application in analogous conditions.

Keywords: basement floor, foundation, injection pile, caisson, computational modeling, ground base, restoration work, monitoring, settlement, technology.

Реставрация объектов культурного наследия и их адаптация в современной городской среде как доминантных объектов является одним из важнейших вопросов развития исторических городов. Облик Тюмени — первого русского города в Сибири — во многом определяется историческим ядром и отдельными историческими кластерами, каким является, например, комплекс зданий с парком на Даудельной улице. Одним из зданий комплекса является Городская Текутьевская больница, построенная в 1902–1904 гг. тюменским городским головой, купцом первой гильдии, почетным гражданином г. Тюмени А. И. Текутьевым [1]. Историческая ценность здания заключается в том, что в первые десятилетия XX века в Текутьевской больнице работали известные тюменские врачи: С. И. Карнацевич, Н. И. Русских, А. С. Гасилов. Летом 1914 г.

в больнице лечился после тяжелого ранения Г. Е. Распутин.

В настоящее время объект культурного наследия регионального значения не эксплуатируется (рис. 1).

Здание двухэтажное, без подвалов, выполнено в характерном краснокирпичном классическом стиле с элементами эклектики. Несущими элементами являются продольные и поперечные кирпичные стены и деревянные перекрытия. Наружные несущие стены имеют толщину 640 мм, внутренние — 570 мм. Состояние наружных и внутренних стен оценено как ограниченно работоспособное, износ составляет 50 %. Фундаменты здания — мелко заложения, ленточные, выполненные из кирпичной кладки на известковом растворе, шириной 700–800 мм. Отметка низа фундаментов — 2,1 м от уровня подоко-

Рис. 1. Текутьевская больница до реставрации (2011)

ника первого этажа, примерно 1,2 м от уровня поверхности земли. Состояние фундамента работоспособное, износ 20 %. Пространственная жесткость здания обеспечивается продольными и поперечными несущими стенами, а также системой балок в уровне перекрытий и конструкцией крыши.

Основным инженерным вопросом при реставрационных работах на данном объекте является увеличение объема здания за счет устройства полноценного подземного этажа и ввода его в единое функциональное пространство. При этом откопка котлована под устройство подвала предполагает понижение уровня основания внутри здания на 1,8–2,0 м по отношению к подошве ленточных фундаментов.

В геоморфологическом отношении площадка приурочена к высокой правобережной надпойменной террасе реки Туры. Абсолютные отметки поверхности составили 75,90–76,70 м. Основание здания сложено суглинками от тугопластичной до текучепластичной консистенции (см. таблицу).

Уровень подземных вод зафиксирован на глубине 2,7 м от уровня поверхности земли, что на 1,3 м выше уровня основания устраиваемых котлованов, что в условиях высокой опесчаненности суглинков явилось серьезной проблемой при производстве земляных работ. Производство работ по устройству подземного этажа начиналось в осенний период с планируемым окончанием в конце зимнего периода. Учитывая данные факторы, устройство подвального этажа явилось достаточно сложной геотехнической задачей. Необходимо было обеспечить надежность и устойчивость фундаментов здания, а также

предельные деформации (технологические осадки), оцениваемые авторами в пределах 10–12 мм, в процессе производства работ. В противном случае освоение подземного пространства могло привести к нарушению целостности конструкций стен или, при наиболее негативном сценарии, разрушению всего здания [2–4].

Для устройства подземного этажа была принята щадящая технология производства работ [5], включающая следующие операции (рис. 2):

1. Бурение под наклоном кирпичных фундаментов под устройство буроинъекционных свай.
2. Устройство буроинъекционных свай типа «Атлант» диаметром 200 мм, длиной 5 м [6–8].
3. Выполнение мероприятий по водопонижению.
4. Установка распорных балок перекрытия подвала.
5. Эскавация грунта до глубины пола подвала с устройством заборки для обеспечения отсутствия вывалов грунта из-под подошвы существующего фундамента.
6. Устройство щебеночной, бетонной подготовок и гидроизоляционной мембраны (см. рис. 2). Устройство плиты кессона с выпусками арматуры.
7. Установка сварных сеток стены кессона, крепление их с выпусками арматуры и арматурой, проходящей через существующий фундамент.
8. Устройство стен кессона, с вмонтированием балок перекрытия подвала.
9. Устройство перекрытия подвала.

Горизонтальная гидроизоляция выполняется по всем несущим стенам. Работы выполняются в три этапа. Первым этапом осуществляется заполнение трещин, пустот и полостей кладки однокомпонентным инъекционным раствором на цементной основе Maposem Grout. Вторым этапом производится инъекция жидкой смолой «Маноксан 150». Данный материал выполнен на силоксанах, которые при взаимодействии с водой создают водоотталкивающую микроэмульсию. Третьим этапом осуществляется поверхностная вертикальная гидроизоляция износостойким покрытием с высокой адгезией «Стармекс Сил Флекс» со санирующей штукатуркой Thermosan, чтобы обеспечить невозможность «обхода» капиллярного барьера влагой через штукатурный и отделочный слой (рис. 3).

Физико-механические характеристики грунтов основания

№ ИГЭ*	Удельный вес γ , кН/м ³	Влажность w , %	Показатель текучести I_L , доли единицы	Коэффициент пористости e	Угол внутреннего трения ϕ , град.	Удельное сцепление c , кПа	Модуль деформации $E_{\text{осед}}$, МПа
1	19,1	20,3	0,29	0,67	17	22	10,0
2	19,2	19,5	0,49	0,9	19	26	12,0
3	18,5	30,5	0,69	0,87	19	24	6,0

* ИГЭ — инженерно-геологический элемент.

При изготовлении буроинъекционных свай цементный раствор, вытесняющий буровой шлам и обеспечивающий несущую способность свай по грунту, нагнетается через долото, расположенное на нижнем конце сваи. Заглубление инъекционных свай было принято по результатам расчета требуемой несущей способности свай и численного моделирования в программе Plaxis 2D с учетом обеспечения устойчивости фундамента здания и его основания [5, 9, 10]. По данным стандартных геологических изысканий была принята модель Кулона–Мора, несмотря на ее недостатки при моделировании

разгрузки основания, учитывая относительно небольшую глубину откопки — около 3 м. В процессе численного моделирования были определены диаметр, длина и шаг инъекционных свай, толщина (жесткость) конструкции кессона. На рис. 4 представлена одна из расчетных схем.

В результате численного моделирования установлено:

- на равномерность осадок существенно влияет устройство кессона, включающее в совместную работу фундамент и стены подвала, увеличивая жесткость всей подземной части здания. Принятая толщина стен кессона составила 20 см, пола — 40 см;
- минимальная глубина пяты сваи из условия равномерности осадок и некритичного распространения пластических зон в основании составляет 5 м, диаметр сваи принят 20 см (рис. 5, а);
- подъем грунта, составляющий 2 см при откопке подвала на проектную глубину 260 см, не соответствует реальному поведению грунтов и вызван несовершенством модели Кулона–Мора (допущение о равенстве модулей деформации на стадиях нагрузки и разгрузки [10, 11]);
- за счет устройства кессона происходит выравнивание осадок для всего здания (рис. 5, б). Дополнительная расчетная осадка от приложения всех эксплуатационных нагрузок составила 2 см.

Для уточнения несущей способности применяемых буроинъекционных свай на территории реставрируемого объекта были изготовлены две контрольные сваи. Испытания выполнялись статической нагрузкой ступенями по 1 т (рис. 6). Каждая ступень выдерживалась до условной стабилизации деформаций грунта (скорость осадки сваи на ступени нагружения не превышает 0,1 мм за последние 2 ч наблюдений) согласно требованиям ГОСТ [12]. После обработки экс-

Рис. 2. Фрагмент устройства сваи снаружи здания

Рис. 3. Фрагмент устройства гидроизоляции

Рис. 4. Расчетная схема с учетом последовательности выполнения работ: а — до устройства подвала; б — выполнение свай и установка распорных балок; в — удаление грунта до глубины подвала; г — после устройства подвала

Рис. 5. Изолинии вертикальных: а — напряжений; б — перемещений

периментальных данных несущая способность буроинъекционных свай составила 90 кН при осадке 12 мм (величины, назначенной предельно допустимой для данного объекта) и 120 кН при осадке 30 мм.

В июне 2016 года начались работы по реставрации Текутьевской больницы (рис. 7).

В процессе проведения геотехнического мониторинга по устройству подземного этажа на примере большей половины уже выполненных кессонов установлено:

- выбранный способ устройства подвала не вызвал развития предельных напряжений и деформаций в конструкциях здания;
- максимальная технологическая осадка в настоящее время, даже с учетом грубых нарушений правил производства работ, повсеместных вывалов грунта из-под подошвы фундамента и регулярных проблем с водопонижением, составила 9 мм;

Рис. 6. Контрольные испытания буроинъекционных свай статической нагрузкой на объекте: а — фотофиксация; б — график «нагрузка — осадка»

• реальная форма инъекционных свай несколько отличается от численного моделирования; сечение свай по длине непостоянное, от 20 до 23 см.

Заключение

1. Контрольные испытания буроинъекционных свай типа «Атлант» длиной 5 м подтвердили результаты численного моделирования по определению их несущей способности, которая составила 90 кН.

2. Согласно численному моделированию дополнительная расчетная осадка от приложения всех эксплуатационных нагрузок составила 2 см. В настоящее время работы по освоению подземного пространства завершены, а по результатам геотехнического мониторинга максимальная технологическая осадка составила 9 мм.

Рис. 7. Процесс производства работ: а — установка распорных балок перекрытия подвала; б — экскавация грунта до глубины пола подвала

3. Принятый способ устройства подземного этажа в условиях высокого уровня подземных вод, переслаивания песчаных и пылевато-глинистых, достаточно слабых грунтов не вызвал критических дополнительных деформаций здания, перенапряжений и трещин в несущих конструкциях и, таким образом, может быть рекомендован к применению в подобных условиях.

Библиографический список

1. Козлова-Афанасьева Е. М. Архитектурное наследие Тюменской области. Тюмень: ООО «Издательство Искусство», 2008. 488 с.
2. Мангушев Р. А. Опыт сооружения подземных паркингов в условиях слабых грунтов Санкт-Петербурга // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 5 (52). С. 91–100.
3. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под общ. ред. В. А. Ильичева, Р. А. Мангушева. М.: АСВ, 2014. 728 с.
4. Улицкий В. М., Шашкин А. Г., Шашкин К. Г. Гид по геотехнике (путеводитель по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям). СПб.: Издательство института «Геореконструкция», 2012. 288 с.
5. Пронозин Я. А., Зазуля Ю. В., Мельников Р. В., Степанов М. А. Опыт совместного применения инъекционных свай и кессона при устройстве подземного этажа здания историко-культурного наследия в г. Тобольске // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 3. URL: www.science-education.ru/109-9206 (дата обращения: 23.05.2013).
6. Ибрагимов М. Н., Семкин В. В. Закрепление грунтов инъекцией цементных растворов. М.: АСВ, 2012. 256 с.
7. Мангушев Р. А. Реконструкция подземной части Российского государственного академического Большого драматического театра (АБДТ) имени Г. А. Товстоногова в г. Санкт-Петербурге // Межвуз. тематич. сб. трудов Общероссийской конф. молодых ученых, научных работников и специалистов «Геотехника: теория и практика». СПб., 2013. С. 9–32.
8. Пронозин Я. А., Самохвалов М. А., Кайгородов М. Д. Усиление основания здания при устройстве подземного этажа на объекте историко-культурного наследия в Тюмени // Актуальные проблемы строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф.: в 3 т. 2014. Т. I. С. 69–74.
9. Строкова Л. А. Применение метода конечных элементов в механике грунтов: учеб. пособие. Томск: Издательство Томского политехн. ун-та, 2010. 143 с.

10. Улицкий В. М., Шашкин А. Г., Шашкин К. Г., Шашкин В. А. Основы совместных расчетов зданий и оснований. СПб.: Изд-во института «Геореконструкция», 2014. 328 с.

11. Шашкин А. Г., Шашкин К. Г. Упруго-вязко-пластическая модель структурно-неустойчивого глинистого грунта // Реконструкция городов и геотехническое строительство. 2005. № 9. С. 221–228.

12. ГОСТ 5686–2012 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями».

References

1. Kozlova-Afanasyeva E. M. *Arkhiturnoe nasledie Tyumenskoy oblasti* [Architectural heritage of the Tyumen region]. Tyumen, Izdatel'stvo Iskusstvo Publ., 2008, 488 p.

2. Mangushev R. A. *Opyt sooruzheniya podzemnykh parkingov v usloviyakh slabyykh gruntov Sankt-Peterburga* [Experience of building underground parking lots in the conditions of weak soils of Saint-Petersburg]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2015, no. 5 (52), pp. 91–100.

3. *Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya* [Reference book of geotechnician. Bases, foundations, and underground structures]. Ed. by Il'ichev V. A., Mangushev R. A. Moscow, ASV Publ., 2014, 728 p.

4. Ulitskiy V. M., Shashkin A. G., Shashkin K. G. *Gid po geotekhnike (putevoditel' po osnovaniyam, fundamentam i podzemnym sooruzheniyam)* [Guidance book on geotechnics (bases, foundations, and underground structures)]. St. Petersburg, Geo-Reconstruction Institute Publ., 2012, 288 p.

5. Pronozin Ya. A., Zazulya Yu. V., Mel'nikov R. V., Stepanov M. A. *Opyt sovmestnogo primeneniya in'ektsionnykh svay i kessona pri ustroystve podzemnogo ehtazha zdaniya istoriko-kul'turnogo naslediya v g. Tobol'ske* [Experience of combined use of injection piles and caisson at arranging the underground floor of a historical and cultural heritage building in Tobolsk]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education*, 2013, no. 3. Available at: www.science-education.ru/109-9206 (accessed: 23.05.2013).

6. Ibragimov M. N., Semkin V. V. *Zakreplenie gruntov in'ektsiye tsementnykh rastvorov* [Strengthening the soil

with injections of cement mortars]. Moscow, ASV Publ., 2012, 256 p.

7. Mangushev R. A. *Rekonstruktsiya podzemnoy chasti Rossiyskogo gosudarstvennogo akademicheskogo Bol'shogo dramaticheskogo teatra (ABDT) imeni G. A. Tovstonogova v g. Sankt-Peterburge* [Reconstruction of the underground part of the Russian State Academic Bolshoi Drama Theater (ABDT) named after G. A. Tovstonogov in St. Petersburg]. *Trudy Obshcherossiyskoy konf. molodykh uchennykh, nauchnykh rabotnikov i spetsialistov «Geotekhnika: teoriya i praktika»* [Proc. of the All-Russian conf. of young scientists, scientists and experts "Geotechnics: theory and practice"]. St. Petersburg, 2013, pp. 9–32.

8. Pronozin Ya. A., Samokhvalov M. A., Kaygorodov M. D. *Usilenie osnovaniya zdaniya pri ustroystve podzemnogo ehtazha na ob'ekte istoriko-kul'turnogo naslediya v Tyumeni* [Strengthening of the building foundation at arranging the underground floor of the object of historical and cultural heritage in Tyumen]. *Trudy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Aktual'nye problemy stroitel'stva, ehkologii i ehnergobezbezheniya v usloviyakh Zapadnoy Sibiri»* [Proc. of the Int. sci.-pract. conf. "Urgent problems of construction, ecology and energy saving in the conditions of Western Siberia"]. In 3 vol. 2014, vol. I, pp. 69–74.

9. Strokova L. A. *Primenenie metoda konechnykh ehlementov v mekhanike gruntov. Ucheb. posobie* [Application of the finite elements method in mechanics of soil. Teaching manual]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 2010, 143 p.

10. Ulitskiy V. M., Shashkin A. G., Shashkin K. G., Shashkin V. A. *Osnovy sovmestnykh raschetov zdaniy i osnovaniy* [Basics of joint calculations of buildings and bases]. St. Petersburg, Geo-Reconstruction Institute Publ., 2014, 328 p.

11. Shashkin A. G., Shashkin K. G. *Uprugo-vyazko-plasticheskaya model' strukturno-neustoychivogo glinistogo grunta* [Elastic and visco-plastic model of structural and unstable clay soil]. *Rekonstruktsiya gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo Reconstruction of the cities and geotechnical construction*, 2005, no. 9, pp. 221–228.

12. GOST 5686–2012 «Grunty. Metody polevykh ispytaniy svayami» [GOST 5686-2012 "Soils. Methods of field tests by piles"].