

## ОПЫТ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ИНЪЕКЦИОННЫХ СВАЙ И КЕССОНА ПРИ УСТРОЙСТВЕ ПОДЗЕМНОГО ЭТАЖА ЗДАНИЯ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ В Г. ТОБОЛЬСКЕ

Прозозин Я.А.<sup>1</sup>, Мельников Р.В.<sup>1</sup>, Зазуля Ю.В.<sup>1</sup>, Степанов М.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет», Тюмень, Россия (625001, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2), e-mail: [stepanov\\_maxim@inbox.ru](mailto:stepanov_maxim@inbox.ru)

Тобольск – уникальный город-памятник под открытым небом. В городе активно ведутся работы по сохранению и реставрации памятников истории и культуры. Одним из объектов историко-культурного наследия является «Гарнизонный госпиталь», находящийся в «верхней» части города. Строительство данного здания относится по разным источникам к концу XVIII - началу XIX века. В статье приводятся результаты численного моделирования устройства подземного этажа здания «Гарнизонный госпиталь» г. Тобольск в программе Plaxis с учетом поэтапного производства работ. Приводится описание работ по устройству подземного этажа, включающее закрепление основания ленточных фундаментов инъекционными сваями, поэтапное удаление грунта и создание монолитного кессона стен и пола подвала. Авторы статьи вели мониторинг за состоянием объекта и технологией производства работ. Выбранный способ устройства подвала не вызвал дополнительных деформаций здания и может являться основой для производства подобных работ в аналогичных условиях.

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

## COMBINED INJECTION PILES AND CAISSON USAGE EXPERIENCE IN BASEMENT FLOOR CONSTRUCTION OF CULTURAL AND HISTORICAL HERITAGE IN TOBOLSK

Pronozin Ya.A.<sup>1</sup>, Melnikov R.V.<sup>1</sup>, Zazulya Yu.V.<sup>1</sup>, Stepanov M.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering, Tyumen, Russia (625001, Tyumen, street Lunacharskogo, 2), e-mail: [stepanov\\_maxim@inbox.ru](mailto:stepanov_maxim@inbox.ru)

Tobolsk is a unique town-monument in the open air. Cultural heritage and historical sites are currently undergoing work for conservation and restorative renovation. “Station hospital” is one of the historical and cultural landmarks, which is situated in the “upper” part of the town. It was built at the end of 18th century – the early 19th century. This paper shows results of “Station hospital” basement floor computational modeling applying the program PLAXIS with regard to step-by-step work. The paper presents descriptions on construction of the basement, including soil densification of strip foundation by injection piles, step-by-step soil excavation and erection of insitu reinforced concrete caisson and basement deck. The authors examined building construction and monitored the procedure. This method of basement floor building excluded additory deformation of the structure and can be applied in analogous conditions.

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

### Введение

Город Тобольск расположен на пересечении двух рек - Иртыш и Тобол, и был основан в 1587 году при освоении русскими Сибири. На протяжении трех веков он носил статус административного центра обширной Тобольской губернии, включавшей территорию от Уральских гор до Северной Америки. Через Тобольск проходили торговые пути из европейской части России в Китай и Среднюю Азию – «Великий шёлковый путь» и «Большой чайный путь» [1].

Практически с момента своего основания Тобольск являлся духовным центром Сибири. В городе единственный в Сибири каменный кремль, уникальный образец сибирского

зодчества. В 1620 году здесь была создана первая в Сибири епархия. В 1994 году решением Святейшего синода Тобольск был провозглашен одним из трех главных духовных центров России наряду с Москвой и Санкт-Петербургом.

Тобольск является уникальным городом-памятником под открытым небом, в нем насчитывается более 200 объектов историко-культурного наследия, такой концентрации памятников нет ни в одном малом историческом городе России.

Сегодня уделяется пристальное внимание сохранению и реставрации объектов культурного наследия Тобольска. В период с 2006 по 2010 год была проведена реставрация 68 зданий. В 2011 году на реставрацию памятников архитектуры было выделено свыше 700 млн рублей. В настоящее время продолжаются реставрационные работы более чем на 30 памятниках города, около 90 памятников нуждаются в проведении таких работ.

Одним из объектов историко-культурного наследия, внесенных в областную программу реставрации, является находящийся в «верхней» части города «Гарнизонный госпиталь» (рис. 1). В отношении года постройки здания существует достаточно много противоречивой информации, определяющей время постройки здания в широком интервале, от 1794 до 1872 года.

До 1917 года в здании располагался Приказ общественного призрения – управление благотворительными и медицинскими учреждениями для неимущих горожан. После революции 1917 года здание использовалось в качестве больницы вплоть до 1991 года, когда из-за аварийного состояния эксплуатацию прекратили. После 1991 года здание оставалось заброшенным.

«Гарнизонный госпиталь» кирпичное трехэтажное здание сложной конфигурации в плане. Размер в плане без одноэтажных флигелей 43x28 м, размер в плане симметрично расположенных флигелей 15x10 м. Высота до карниза более 15 м, подвал отсутствует. Общая площадь здания - 1375 м<sup>2</sup>. Конструктивная схема – бескаркасная, с продольными несущими стенами из глиняного кирпича на известковом растворе. Перекрытия – деревянные.



Рис. 1. «Гарнизонный госпиталь» до реставрации (2006).

Сегодня здание предполагается использовать для администрации города. В подвале здания планируется расположение столовой на 50 человек. Для этого впервые в Tobolske проведены работы по устройству подвала в здании ниже подошвы существующих фундаментов.

В качестве предварительных работ была произведена оценка физического износа и обследование несущих конструкций здания. Установлено, что здание находилось в неудовлетворительном состоянии, требовалась замена конструкции крыши, большинства перекрытий, замена кирпичной кладки на локальных участках, лечение трещин, восстановление фасадов здания. Фундаменты, являющиеся уширением стен, находились в удовлетворительном состоянии, серьезных дефектов обнаружено не было, за исключением отсутствия гидроизоляции.

Основание здания сложено суглинками от тугопластичной до мягкопластичной консистенции, в таблице 1 представлены их физико-механические характеристики. До глубины 0,5 м от поверхности находится насыпной грунт (суглинок, песок, бой кирпича). Уровень подземных вод до глубины 8 м не был зафиксирован.

Таблица 1. Физико-механические характеристики грунтов основания.

ИГЭ	$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	$w$ , д.е.	$IL$ , д.е.	$e$	$\varphi$ , °	$c$ , кПа	$E_{oed}$ , МПа
1	17,3	0,27	-	-	15	10	3,5
2	18,5	31	0,62	0,9	13	13	2,4
3	18,3	28	0,6	0,87	15	15	2,6
4	18,6	27	0,52	0,83	16	17	3,1
5	18,2	30	0,48	0,91	16	18	3,3

При реставрации «Гарнизонного госпиталя» воссоздавался его внешний архитектурно-художественный облик, соответствующий эпохе его постройки. Произошло увеличение

нагрузок на перекрытия всех этажей, что одновременно с устройством подвала ниже подошвы существующих фундаментов являлось достаточно сложной геотехнической задачей. Необходимо было обеспечить надежность и устойчивость фундаментов «Гарнизонного госпиталя» при производстве работ, в противном случае происходящие процессы могли привести к разрушению всего здания.

Для устройства подвала была принята щадящая технология производства работ, включающая следующие операции (рис. 2).

1. Закрепление основания ленточных фундаментов наружных и внутренних стен цементным раствором при помощи инъекционных свай [2; 3].
2. Удаление грунта до глубины пола подвала.
3. Устройство на месте удаленного грунта, плиты кессона с выпусками арматуры.
4. Установка сварных сеток стены кессона, крепление их с выпусками арматуры и арматурой, проходящей через существующий фундамент (рис. 3).
5. Устройство стены кессона, доходящей до балок перекрытия подвала.
6. Устройство перекрытия подвала.

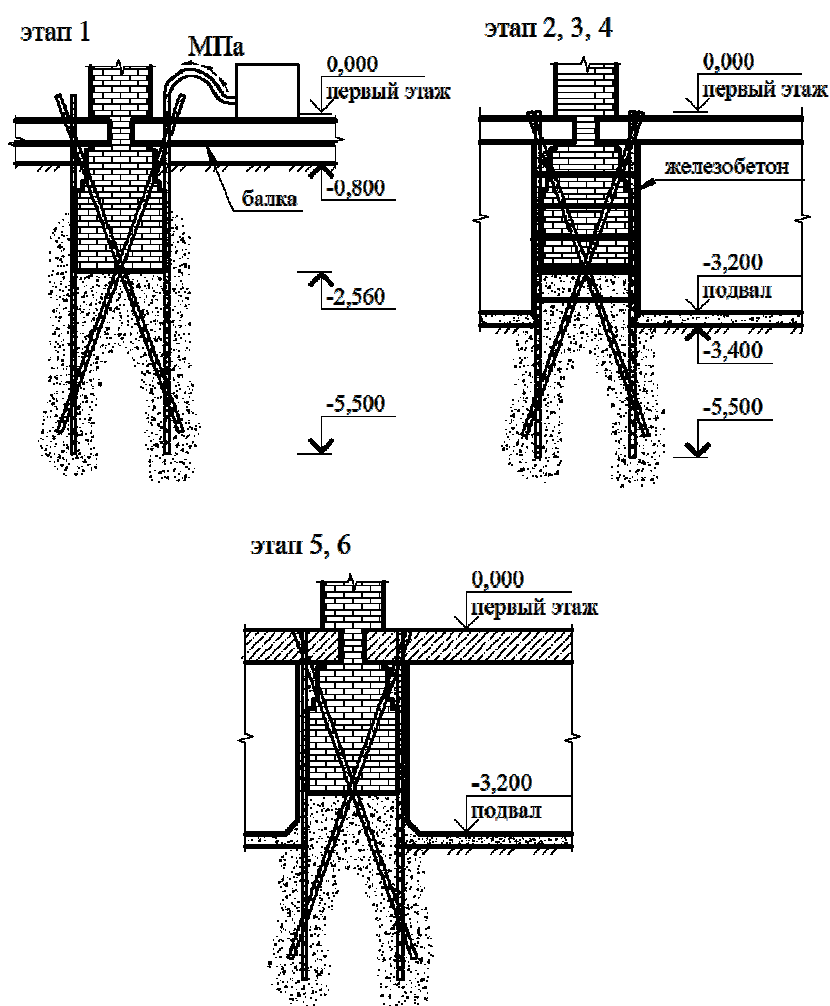
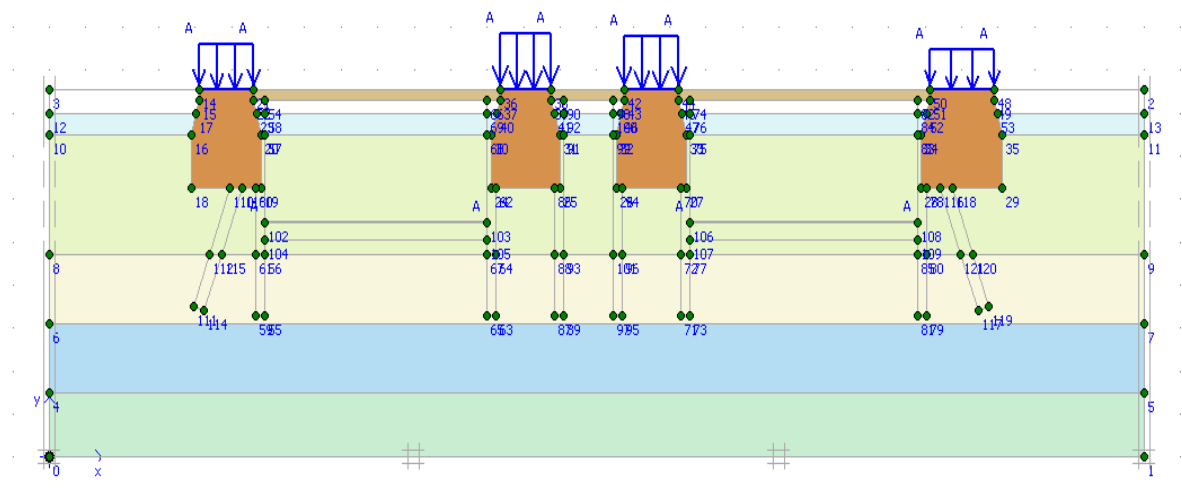


Рис. 2. Принципиальная схема производства работ.

Закрепление основания ленточных фундаментов «Гарнизонного госпиталя» производилось нагнетанием цементного раствора с помощью перфорированных инъекционных свай диаметром 80 мм, проходящих вдоль фундамента и под углом сквозь него. Давление инъектирования составляло 0,5–0,7 МПа. Заглубление инъекционных свай было принято по результатам численного моделирования в программе Plaxis 8.x., с учетом обеспечения устойчивости фундамента здания и его основания [4]. По данным стандартных геологических изысканий была принята модель Кулона-Мора, несмотря на ее недостатки при моделировании откопки грунта. В процессе численного моделирования были определены диаметр и длина инъекционных свай, толщина (жесткость) конструкции кессона. На рисунке 4 представлена расчетная схема.

а)



б)

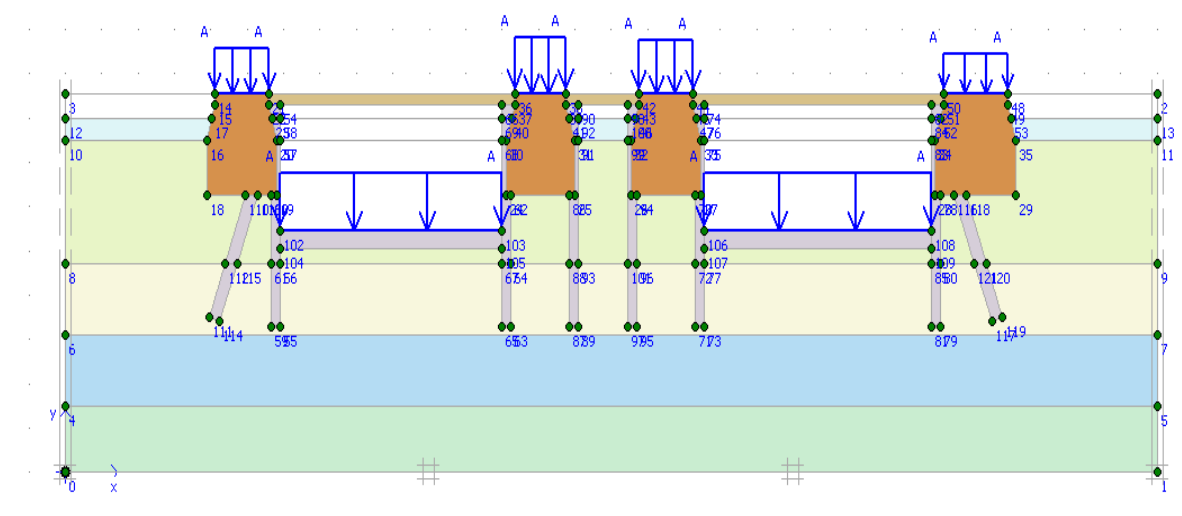
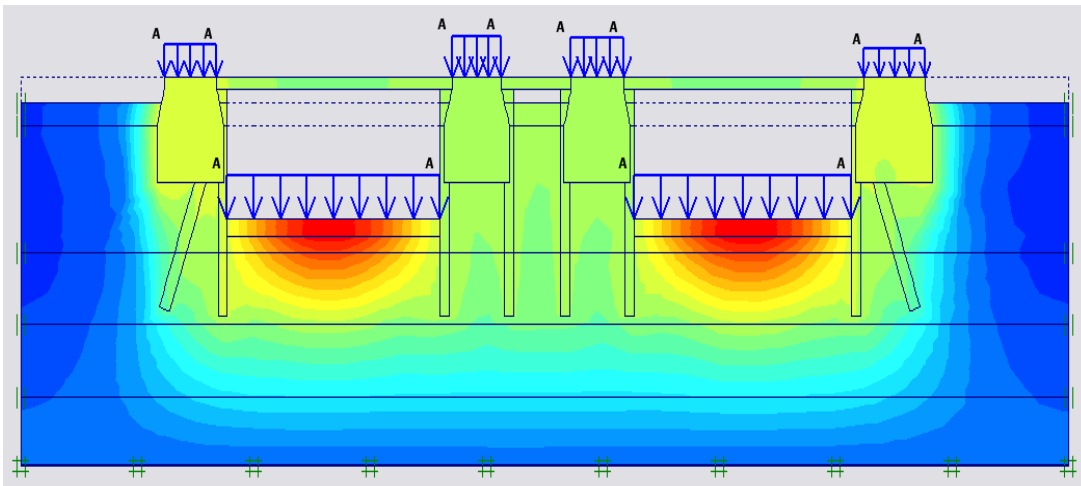


Рис. 4. Расчетная схема: а – до устройства подвала, б – с подвалом.

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 не критичного распространения пластических зон в основании составляет 550 см, диаметр сваи 8 см (рис. 5а);
- подъем грунта, составляющий 20 мм при откопке подвала на глубину 260 см, не соответствует реальному поведению грунтов и вызван несовершенством модели Кулона-Мора;
- за счет устройства кессона происходит выравнивание осадок для всего здания (рис. 5б). Расчетная осадка составила 50 мм. Под фундаментом кессона присутствуют области с максимальными значениями, превышающими 50 мм, однако данные области возникли из-за отсутствия в модели Мора-Кулона модуля упругости грунта и замены его модулем деформации [5].

а)



б)

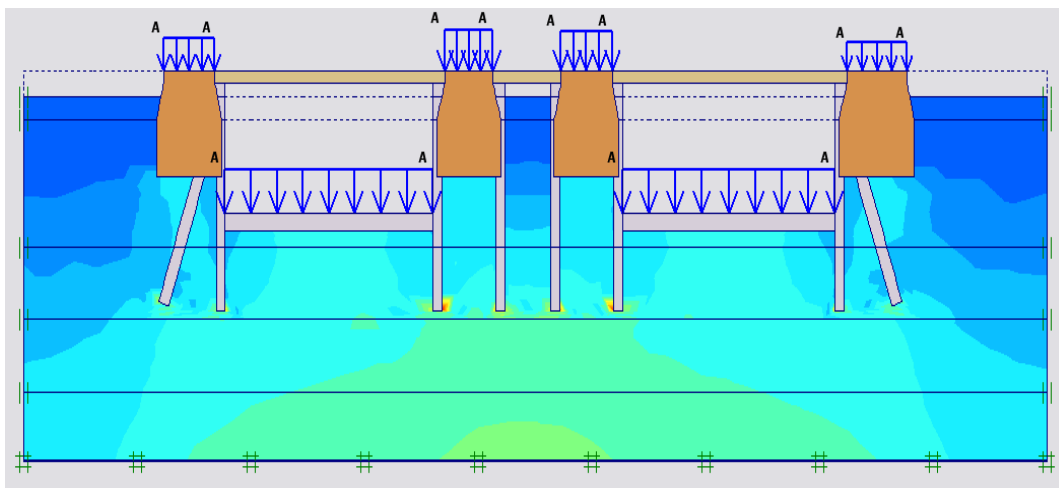


Рис. 5. Изолинии вертикальных: а – напряжений, б – перемещений.

В апреле 2010 года начались работы по реставрации «Гарнизонного госпиталя». Работы по устройству подвала (создание инъекционных свай, откопка подвала, устройство кессона) проводились под наблюдением авторов проекта.

В процессе проведения геотехнического мониторинга установлено:

- выбранный способ устройства подвала не вызвал развития предельных напряжений в конструкциях здания;
- по результатам геотехнического мониторинга максимальная осадка составила 20 мм, при средней осадке всего здания 16 мм;
- реальная форма инъекционных свай отличается от численного моделирования. Реальная форма «корневидная» с множеством гидроразрывов грунта.

Выбранный способ устройства подвала не вызвал критичных дополнительных деформаций здания, трещин в несущих конструкциях и может являться основой для производства работ по устройству подземного этажа в подобных условиях (рис. 6).



Рис. 6. «Гарнизонный госпиталь» после реставрации.

### Список литературы

1. Барабанова Л.П. Этюды о заповедном городе [400-летию Тобольска посвящается]. – Свердловск : Сред.-Урал. кн. изд-во, 1986.
2. Ибрагимов М.Н., Семкин В.В. Закрепление грунтов инъекцией цементных растворов : монография. – М. : АСВ, 2012. – 256 с.
3. Мангушев Р.А. Реконструкция подземной части Российского государственного академического Большого драматического театра (АБДТ) имени Г.А. Товстоногова в г. Санкт-Петербурге // Межвузовский тематический сборник трудов Общероссийской

конференции молодых ученых, научных работников и специалистов «Геотехника: теория и практика». – СПб., 2013. – С. 9-32.

4. Строкова Л.А. Применение метода конечных элементов в механике грунтов : учебное пособие. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 143 с.

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

Рецензенты:

Чижишев Виктор Михайлович, д.т.н., профессор, ректор ФГБОУ ВПО «ТюмГАСУ», г. Тюмень.

Шуваев Анатолий Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВПО «ТюмГАСУ», г. Тюмень.