



DOI: 10.15593/2224-9826/2018.1.04

УДК 624.159.4

СПОСОБЫ УСИЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЦОКОЛЬНОЙ ЧАСТИ РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ, ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ЗДАНИЙ

А.И. Полищук¹, А.А. Петухов^{1, 2}

¹Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

²Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 05 августа 2017
Принята: 21 ноября 2017
Опубликована: 30 марта 2018

Ключевые слова:

реконструкция, углубление подвалов, обследование, гидрогеологические наблюдения, усиление фундаментов, инъекционные сваи, выносные (примыкающие) сваи, усиление отдельно стоящих фундаментов, численное моделирование работы фундаментов, программный комплекс Midas GTS NX

АННОТАЦИЯ

Рассматривается опыт реконструкции и восстановления подвальных помещений каменных зданий исторической постройки на примере г. Томска. Отмечается важность анализа сведений о строительстве и эксплуатации зданий в период всего их жизненного цикла. Формулируются основные задачи, возникающие при реконструкции и восстановлении зданий исторической застройки: увеличение площадей за счет переустройства ранее не эксплуатируемых подвалов, углубление подвальных помещений, расширение существующих и устройство новых проемов в стенах зданий, устройство новых входных узлов в подвалы и др. Дается краткая характеристика грунтовых условий площадок рассматриваемых зданий, относящихся к исторической застройке. Отмечается необходимость проведения тщательных инженерно-геологических изысканий с обследованием грунтов основания и гидрогеологическими наблюдениями за появлением подземных вод. Обосновывается необходимость уточнения характеристик грунтов несущего слоя фундаментов, измененных за счет их уплотнения весом зданий за период длительной эксплуатации. Приводятся обобщенные результаты, получаемые при обследовании и оценке технического состояния фундаментов и надземных строительных конструкций зданий. Предлагается классификация способов усиления фундаментов на естественном основании (отдельно стоящих, ленточных, плитных и массивных) с использованием свай. Рассматриваются сваи, устраиваемые без извлечения грунта – сваи вытеснения (вдавливаемые и инъекционные). Приводятся примеры численного моделирования работы отдельно стоящих и ленточных фундаментов, усиливаемых с использованием свай при понижении отметок пола подвала. При моделировании работы свайных фундаментов в программном комплексе Midas GTS NX используются последовательные технологические этапы устройства свай, позволяющие учесть изменение напряженно-деформированного состояния грунтов основания.

© ПНИПУ

© **Полищук Анатолий Иванович** – доктор технических наук, профессор, e-mail: ofpai@mail.ru.
Петухов Аркадий Александрович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: paa5579@mail.ru.

Anatolii I. Polishchuk – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: ofpai@mail.ru.
Arkadii A. Petukhov – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: paa5579@mail.ru.

METHODS OF STRENGTHENING FOUNDATIONS AND BASEMENT CONSTRUCTIONS OF RECONSTRUCTED BUILDINGS

A.I. Polishchuk¹, A.A. Petukhov^{1, 2}

¹Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation

²Tomsk State University of Architecture and Buildings, Tomsk, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 05 August 2017
Accepted: 21 November 2017
Published: 30 March 2018

Keywords:

reconstruction, deepening of mark basements, survey, hydrogeological observations, strengthening of foundations, injection piles, outrigger piles, strengthening of separately standing foundations, numerical modeling of foundation work, software package Midas GTS NX

ABSTRACT

The experience of reconstructing and restoring basements of historical stone buildings is given using Tomsk as an example. The article outlines the importance of analyzing information related to construction and operation of buildings throughout their life cycle. The main objectives arising during the reconstruction and restoration of historic buildings are formulated, such as the extension of space due to reorganization of previously unexploited cellars, the deepening of basements, the expansion of existing and construction of new openings in the walls of buildings, the construction of new entry points in the cellars, etc. A brief description of the ground conditions of sites for buildings under consideration which belong to the historical ones. It is noted that it is necessary to carry out thorough engineering and geological surveys including geotechnical surveying of soil grounds and hydrogeological observations revealing the appearance of groundwater. It is proved that it is necessary to identify ground characteristics of bearing layer's foundations which have been changed due to their compaction by the weight of buildings for a period of long operation. Generalized results obtained during the survey and assessment of the technical condition of foundations, as well as of above-ground building structures are given in the article. A classification of methods is proposed aiming to reinforce foundations on a natural basement (separately standing, band, plate and massive ones) using piles. Also we have considered piles that are arranged without excavation, i.e. piles of displacement (pressed and injected). Examples of numerical modeling are given regarding the operation of separately standing and band-like foundations which are reinforced with the use of piles, when the basement floor's marks are decreased. When simulating piles' work using Midas GTS NX software complex, the successive technological stages of pile assembly are used; which allows taking into account the change in the stress-strain state of the base soil.

© PNRPU

1. Общие сведения

Большинство каменных зданий исторической постройки г. Томска возведены в период 1850–1900 гг. За период их длительной эксплуатации (более 100 лет) в строительных конструкциях накопилось значительное количество дефектов и повреждений. Физический износ таких зданий достигает 60 % и более, поэтому они нуждаются в реконструкции и восстановлении. При решении вопросов реконструкции зданий часто ставится задача по восстановлению (усилению) строительных конструкций с учетом переоборудования неэксплуатируемых подвалов в эксплуатируемые помещения (часто с их углублением). Решение таких вопросов приводит к росту нагрузок на основание и усилению фундаментов зданий [1, 2]. Кроме того, за период длительной эксплуатации зданий неизбежно ухудшаются физико-механические характеристики грунтов основания за счет их длительного замачивания талыми и техногенными водами [1–3]. Поэтому в целом снижается эксплуатационная надежность длительно эксплуатируемых зданий. Одним из наиболее рациональных способов усиления фундаментов зданий на глинистых грунтах (в том числе слабых) и повышения их надежности является передача части нагрузок от надземных строительных конструкций (постоянных и временных) на сваи (инъекционные, вдавливаемые и др.).

Каменные здания исторической застройки Томска двух-, трехэтажные (рис. 1), зачастую сложной Г-, П-, Ш-образной формы в плане (рис. 2, а). Здания имеют сложную конст-

руктивную схему, когда несущими являются продольные и поперечные стены, внутренние кирпичные столбы. Иногда конструктивная схема зданий за период эксплуатации (реконструкция 1970–1985 гг.) изменяется, например, на внутренний неполный железобетонный каркас или другую. Фундаменты зданий под наружные, внутренние стены и внутренние столбы – чаще ленточные и отдельно стоящие, бутовые на известково-песчаном растворе. Стены зданий – кирпичные, из красного керамического кирпича на известковом и известково-песчаном растворе. Стены подвала обычно бутовые на известково-песчаном растворе и кирпичные из красного керамического кирпича. Перекрытия – кирпичные своды по стальным балкам. Во многих зданиях перекрытия в виде кирпичных сводов (реконструкция 1970–1985 гг.) заменены полностью либо участками на железобетонные, монолитные по металлическим и железобетонным балкам. Крыша зданий стропильная, скатная.

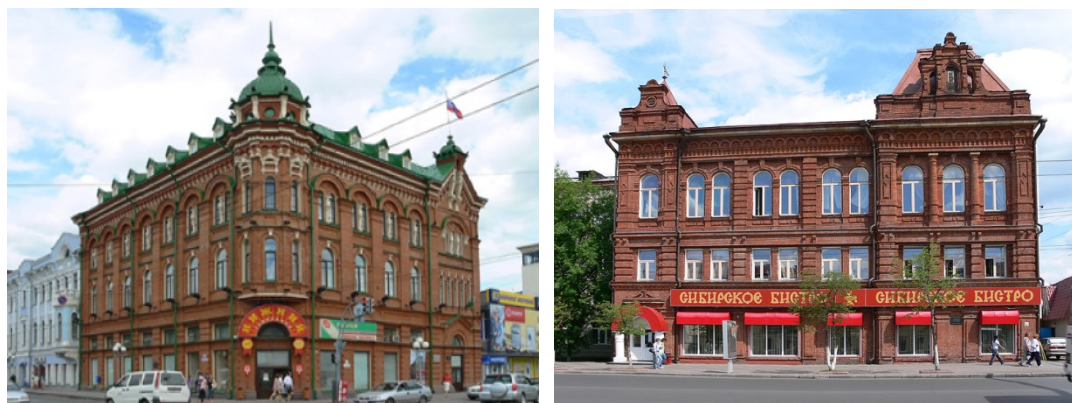


Рис. 1. Общий вид каменных зданий исторической застройки г. Томска
Fig. 1. General view of historical stone buildings in Tomsk

При реконструкции и восстановлении зданий довольно часто ставятся следующие задачи: увеличение существующих площадей подвального этажа, увеличение высоты помещений подвала, расширение существующих и устройство новых дверных проемов во внутренних несущих стенах подвала здания, устройство новых входных узлов в подвал здания и др. [1–6].

С учетом поставленных задач при реконструкции зданий иногда изменяется их конструктивная схема. Например, при устройстве широких проемов (рис. 2) во внутренних стенах, по условиям передачи нагрузок на основание, фундаменты из ленточных перестраивались в отдельно стоящие. При увеличении высоты помещений подвала подошва существующих фундаментов становилась выше отметки пола подвала. Все это, в совокупности с техническим состоянием строительных конструкций здания, приводило к необходимости усиления фундаментов и других строительных конструкций.

Решение поставленных задач реконструкции и восстановления зданий выполнялось сотрудниками КубГАУ, ТГАСУ [6–9] с участием ООО «СНПО Геотом», ЗАО «НПО Геореконструкция» в период с 2001 по 2013 г. Научно-техническое сопровождение реконструкции подвалов зданий включало: анализ архивной документации, оценку грунтовых условий рассматриваемых площадок с обследованием грунтов основания и несущего слоя фундаментов, гидрогеологические наблюдения за появлением подземных вод в подвальных помещениях, оценку технического состояния фундаментов и надземных строительных конструкций зданий, поверочные расчеты и разработку технических решений по их восстановлению (усилению), геотехнический мониторинг состояния зданий.

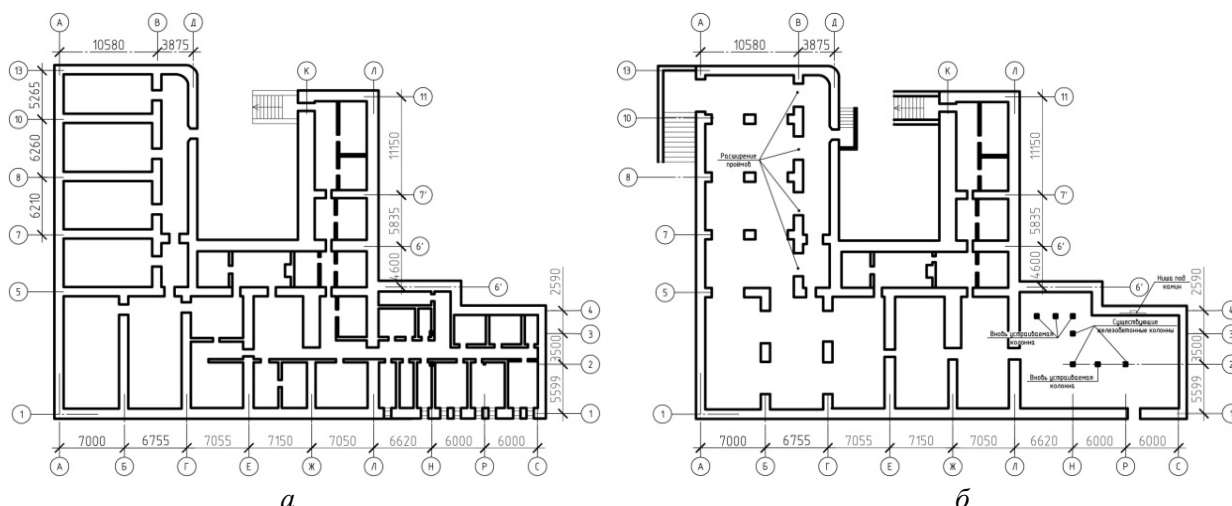


Рис. 2. План подвала административно-торгового здания по пр. Ленина:
а – до реконструкции; б – после реконструкции

Fig. 2. The basement's plan of the administrative and commercial building
in Lenin prospect: *a* is before reconstruction; *b* is after reconstruction

2. Инженерно-геологические условия площадок зданий

Площадки реконструируемых зданий в Томске согласно СП 11-105–97 обычно относятся ко II–III категории сложности инженерно-геологических условий. В геологическом строении площадок в пределах глубины до 12,0–15,0 м принимают участие верхнечетвертичные (aQ_{IV}) отложения высокой поймы р. Томи на контакте с отложениями склона Томь-Яйского водораздела, перекрытые с поверхности современными техногенными отложениями (tQ_{IV}). Характерные инженерно-геологические разрезы площадок (рис. 3) с поверхности представлены: насыпным грунтом супесью либо суглинком с включением шлака, гравия, битого кирпича, торфа; суглинками от текуче- до мягкопластичных с примесью органического вещества до 9 %; супесью текучей, распространенной в толще суглинков в виде линз и прослоев; песком мелким водонасыщенным, распространенным в виде прослоя в подошве суглинистой толщи; галечниковым грунтом с песчаным заполнителем, обводненным.

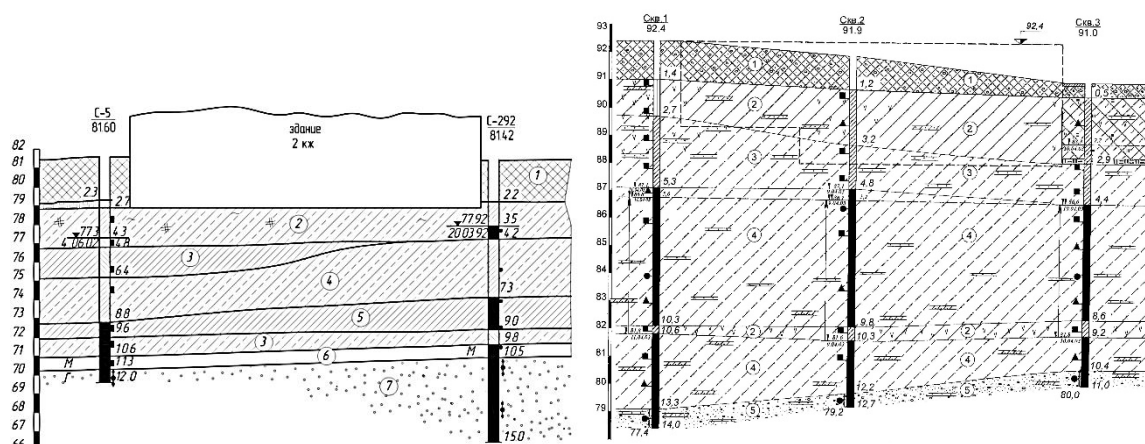


Рис. 3. Характерные инженерно-геологические разрезы площадок реконструируемых зданий
Fig. 3. Typical engineering geological sections of plots in reconstructed buildings

На площадках по условиям залегания, образования и стратиграфической принадлежности обычно вскрываются подземные воды, представленные 2–3 горизонтами. Техногенный водоносный горизонт типа «верховодка» распространяется обычно в толще насыпных грунтов на глубине 2–2,5 м вблизи подошвы фундаментов; водоносный горизонт высокой поймы р. Томи, безнапорный по характеру, встречается в супесях текучих на глубине 4,4–5,3 м. Водоупором служит прослой суглинка мягкопластичного, залегающего на глубине 8,6–10,3 м. Третий горизонт подземной воды – напорный – приурочен к супесям текучим, песку мелкому и гравийным отложениям, встречается на глубине 9,2–10,6 м.

С учетом сложных гидрогеологических условий площадок эксплуатируемых зданий обычно организуются наблюдения за появлением подземных вод в основании фундаментов зданий исторической постройки [7]. В подвальных помещениях по периметру здания оборудовались наблюдательные скважины на глубину 3,5–4,0 м ниже существующего пола подвала. Проведенные наблюдения за изменением уровня подземных вод, результаты их химического анализа свидетельствуют о том, что замачивание основания фундаментов здания происходит из-за сезонного поднятия уровня подземных вод (верховодки) в период снеготаяния и обильных дождей. Кроме того, на формирование уровня подземных вод в основании фундаментов оказывают влияние утечки воды и бытовых отходов из внутренней и наружных канализационных сетей.

3. Основные результаты обследования оснований и фундаментов

При обследовании фундаментов, стен подвалов устанавливалось наличие дефектов и повреждений [6, 8, 9]. Большинство дефектов, повреждений обычно выявлялись у фундаментов под наружные стены и частично – под внутренние стены на участках их примыкания к наружным стенам. При этом наблюдалось расслоение бутовой кладки фундаментов, вывал бутовых камней и оседание фундаментов. Кроме того, известково-песчаный раствор в бутовой кладке фундаментов выкрашивался за счет его длительного интенсивного замачивания.

Результаты оценки загрузки основания фундаментов показывают, что давление (p) по их подошве в большинстве случаев меньше расчетного сопротивления грунта основания (R) при $p/R = 64 \dots 95$ %. Однако неизбежно выявлялись участки основания фундаментов наиболее нагруженные, где с учетом измененных характеристик грунтов при замачивании давление (p) по подошве превышает расчетное сопротивление (R) на 5–50 %. Результаты поверочных расчетов основания фундаментов по деформациям обычно показывают, что абсолютные значения конечных осадок и относительные деформации основания ($\Delta S/L$) фундаментов в большинстве случаев превышают предельно допустимые значения. Однако эти деформации (расчетные) за период длительной эксплуатации здания уже реализованы и основание преимущественно находится в стабилизированном состоянии. Результаты расчетов по несущей способности обычно обеспечивают устойчивость основания фундаментов здания.

Результаты обследования основания и фундаментов, а также стен подвала и других надземных строительных конструкций зданий позволили выявить необходимость выполнения целого комплекса ремонтно-восстановительных работ. При этом предусматривалось усиление фундаментов, стен, перекрытий и других строительных конструкций зданий.

Анализ накопленного опыта реконструкции и восстановления зданий [1–9] позволил обобщить способы усиления фундаментов мелкого заложения путем устройства свай различных конструкций. По результатам этой работы составлена классификация способов усиления фундаментов зданий с использованием свай, которая приведена в работе [10].

4. Численное моделирование работы фундаментов, усиливаемых сваями

Оценка напряженно-деформированного состояния грунтов в основании фундаментов реконструируемых зданий выполнялась в трехмерной постановке в ПК Midas GTS NX, частично в ПК Plaxis. На первом этапе разрабатывались расчетные модели, которые при необходимости корректировались. Модели, используемые при моделировании работы фундаментов, свай, стен и других строительных конструкций – Elastic; для грунтов – Mohr-Coulomb и Hardening Soil (HS) [11]. При моделировании вначале создавалась трехмерная модель (первый этап) существующих фундаментов всего здания и выполнялся анализ напряженно-деформированного состояния основания при фактическом конструктивном решении и действующих нагрузках до реконструкции. Сопоставление осадок фундаментов на разных участках здания, полученных при моделировании, с данными расчета позволило оценить достоверность вычисленных результатов расчета.

На втором этапе моделирования выполнялась оценка напряженно-деформированного состояния основания каждого из имеющихся в здании видов фундаментов по отдельности (рис. 4). Рассматривались участки, где изменялось конструктивное решение фундаментов и инженерно-геологические условия, учитывались результаты геотехнического обследования. На этом этапе производился выбор способа усиления фундаментов [5, 12, 13]. Рассматривались (моделировались) различные варианты усиления фундаментов с использованием свай (под подошвой, выносные и др.). При этом изменялись диаметр и длина свай, их количество и плановое расположение (рис. 4, а–в). Основными критериями при выборе способа усиления являлось ограничение дополнительной осадки фундаментов (обычно до 6–12 мм), а также его технологичность и трудоемкость.

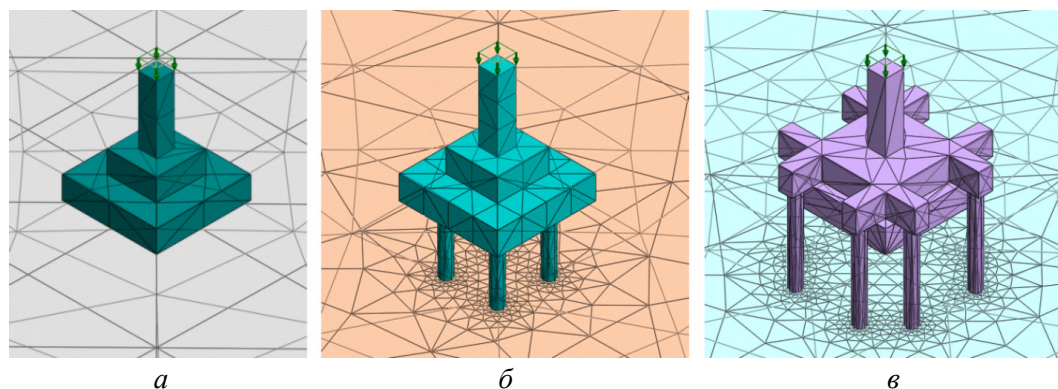


Рис. 4. Расчетные схемы отдельно стоящего фундамента в ПК Midas GTS NX: а – до усиления; б – при устройстве свай под подошвой фундамента; в – при устройстве выносных (примыкающих) свай (верхний слой грунта, окружающий сваю и фундамент, отключен для визуализации)
Fig. 4. The design schemes of a separately standing foundation using Midas GTS NX: a is before strengthening; b is with strengthening using piles underside of foundation; c is strengthening using outrigger (adjoining) piles

В условиях реконструкции и восстановления зданий для моделирования работы свай вблизи подошвы фундаментов обычно использовались характеристики грунтов, для которых предварительно выявлены закономерности их изменения при уплотнении [1–4, 7–9]. Важным вопросом при моделировании дополнительно устраиваемых свай являлся учет изменения напряженно-деформированного состояния основания под подошвой фундамента за счет технологии их устройства. Это особенно актуально для свай вытеснения (вдав-

ливаемых, инъекционных и др.). Одним из распространенных методов учета изменения свойств грунтов вокруг свай при моделировании является изменение их характеристик в околосвайном массиве (обычно в радиусе 2,5–3,0 диаметра свай). Это характеристики плотности, удельного сцепления, модуля деформации грунта и другие, которые отличаются от характеристик для грунтов естественного сложения [1–4]. Для моделирования свай вытеснения (вдавливаемых и инъекционных) такого подхода недостаточно. Необходимо учитывать не только изменение напряженно-деформированного состояния в основании от давления здания, но и технологию устройства свай, например, за счет вытеснения грунта в стороны по длине ствола сваи путем расширения цилиндрической скважины от практически нулевого диаметра (1–10 мм) до диаметра сваи (250–300 мм). Также можно предусмотреть перемещение острия сваи вниз от 0,5 до 1,0 м. Такой учет можно произвести с использованием инструмента Prescribed displacement – «предписанные перемещения» (для вдавливаемых свай) – либо осесимметричным расширением скважины внутренним давлением (для инъекционных свай) [14–16].

При моделировании вариантов усиления фундаментов (в том числе с учетом понижения отметок пола подвала) производились поэтапные расчеты, учитывающие все технологические операции производства работ с использованием функции Construction stage («поэтапное строительство»). После моделирования исходного состояния (до реконструкции) поэтапно производился расчет при замене (устройстве новых) элементов фундаментов, устройстве свай, экскавации грунта и т.д. Для определения необходимых этапов расчета прорабатывалась вся технологическая схема усиления фундаментов, для которых составлялись геометрические и расчетные схемы.

После анализа результатов моделирования, выбора и корректировки схем усиления для отдельных участков ленточных и отдельно стоящих фундаментов производился третий этап моделирования. Формировалась расчетная схема усиления фундаментов для всего здания в целом. Такой подход позволял учесть взаимовлияние принятых схем усиления фундаментов на смежных участках. После выполненного анализа результатов моделирования производилась корректировка принятой схемы усиления фундаментов на отдельных участках.

Выводы

1. Установлено, что численное моделирование работы фундаментов реконструируемых, восстанавливаемых зданий в ПК Midas GTS NX, ПК Plaxis необходимо выполнять с учетом предыстории их нагружения, подробных данных о техническом состоянии и данных обследования грунтов основания. Такой подход позволяет оценить работу фундаментов зданий на различных этапах их нагружения, вплоть до потери несущей способности основания.

2. При моделировании работы инъекционных свай в глинистых грунтах, устраиваемых для усиления фундаментов реконструируемых зданий, необходимо учитывать технологию их устройства. Это обеспечивает создание условий взаимодействия инъекционных свай с грунтом основания и достоверный прогноз поведения зданий в период их дальнейшей эксплуатации. Для таких свай при их нагружении в расчетной схеме следует предусмотреть возможность расширения скважины при нагнетании подвижной бетонной смеси через инъектор.

3. Моделирование работы фундамента реконструируемого здания (с учетом его усиления сваями) рекомендуется осуществлять поэтапно: вначале рассматривается исходное состояние фундамента и оценка достоверности принятых моделей грунтов, расчетных схем (этап 1). За-

тем ведется разработка технологических схем и моделирование вариантов усиления фундаментов здания (этап 2). Далее делается выбор вариантов усиления фундаментов и моделирование совместной работы усиленных фундаментов для всего здания в целом (этап 3).

Библиографический список

1. Коновалов П.А., Коновалов В.П. Основания и фундаменты реконструируемых зданий. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 384 с.
2. Полищук А.И. Основы проектирования и устройства фундаментов реконструируемых зданий. – Нортхэмптон: STT; Томск: STT, 2007. – 476 с.
3. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов: практ. пособие по проектированию зданий и подземных сооружений в условиях плотной застройки) / «Стройиздат Северо-Запад», группа компаний «Геореконструкция». – СПб., 2010. – 561 с.
4. Braja M.D. Principles of foundation engineering. – 6th ed. – Toronto: Nelson, 2007. – 750 p.
5. Мальганов А.И., Плевков В.С., Полищук А.И. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1992. – 456 с.
6. Оценка работы оснований фундаментов реконструируемых зданий при понижении отметок пола подвала / А.И. Полищук, А.А. Петухов, Р.В. Шалгинов, К.А. Полищук // Фундаменты глубокого заложения и проблемы освоения подземного пространства: тр. междунар. конф. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. – Т. 1. – С. 235–241.
7. Полищук А.И., Петухов А.А., Полищук К.А. О реконструкции подвала административно-торгового здания в сейсмическом районе г. Томска // Міжвідомчий наук.-техн. зб. Будівництво в сейсмічних районах України: зб. наук. праць. / Будівельні конструкції. – Київ: НДІБК, 2008. – Вип. 69. – С. 353–363.
8. Полищук А.И., Петухов А.А., Тарасов А.А. Реконструкция подвальной части административно-торгового здания // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 2. – С. 130–160.
9. Полищук А.И., Тарасов А.А. Оценка несущей способности инъекционных свай в слабых глинистых грунтах для фундаментов реконструируемых зданий // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2017. – № 1. – С. 21–26.
10. Полищук А.И., Петухов А.А. Классификация, численный анализ и практическое применение способов усиления фундаментов сваями в условиях реконструкции зданий // Фундаменты глубокого заложения и геотехнические проблемы территорий: материалы Всерос. нац. конф. с междунар. участием, 29–31 мая 2017 г. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2017. – С. 206–218.
11. Мельников Р.В., Сагитова Р.Х. Калибровка параметров модели Hardening Soil по результатам лабораторных испытаний в программе SoilTest // Академ. вестник УралНИИ-Проект РААСН. – 2016. – № 3. – С. 79–83.
12. Винников Ю.Л., Мірошніченко І.В. Удосконалення методики визначення осідань будівель на набивних палях у пробитих свердловинах // Зб. наук. праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво / Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – Полтава, 2013. – Вип. 3 (38). – С. 82–89.
13. Vynnykov Y., Zotsenko N., Yakovlev A. The use of reserves of bearing capacity of base and foundations during reconstruction of buildings // Reconstruction of Historical Cities and

Geotechnical Engineering: Proc. of Intern. Geotechnical Conf. Dedicated to Tercentenary of Saint Petersburg. – Saint Petersburg; Moscow: ASV Publishers, 2003. – Vol. 1. – P. 367–370.

14. Yamashita K., Yamada T., Hamada J. Recent case histories on monitoring settlement and load sharing of piled rafts in Japan // *Deep Foundations on Bored and Auger Piles* / ed. Van Impe. – London: Taylor & Francis Group, 2009. – P. 181–193.

15. Brandl H. Micropiles for underpinning/undercrossing of historical buildings // *Reconstruction of Historical Cities and Geotechnical Engineering: Proc. of Intern. Geotechnical Conf. Dedicated to Tercentenary of Saint Petersburg.* – Saint Petersburg; Moscow: ASV Publishers, 2003. – Vol. 1. – P. 119–126.

16. Самохвалов М.А., Зазуля Ю.В., Мельников Р.В. Результаты расчетного прогноза взаимодействия буроналивных свай, имеющих контролируемое уширение, с пылеватоглинистым грунтовым основанием // *Геотехника.* – 2016. – № 2. – С. 50–59.

References

1. Konovalov P.A., Konovalov V.P. *Osnovaniia i fundamenty rekonstruiemykh zdaniy* [Bases and foundations of the reconstructed buildings]. 5th ed. Moscow, ASV, 2011, 384 p.

2. Polishchuk A.I. *Osnovy proektirovaniia i ustroistva fundamentov rekonstruiemykh zdaniy* [The basics of design and construction of reconstructed buildings foundations]. Norkhempton, STT, Tomsk, STT, 2007, 476 p.

3. Ulitskii V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G. *Geotekhnicheskoe soprovozhdenie razvitiia gorodov (prakticheskoe posobie po proektirovaniu zdaniy i podzemnykh sooruzhenii v usloviakh plotnoi zastroyki)* [Geotechnical support urban development (a practical guide to the design of buildings and underground structures in dense areas)]. Saint Petersburg, Stroizdat Severo-Zapad, Georekonstruktsiia, 2010, 561 p.

4. Braja M.D. *Principles of foundation engineering.* Sixth edition. Toronto (Canada), Nelson, 2007, 750 p.

5. Mal'ganov A.I., Plevkov V.S., Polishchuk A.I. *Vosstanovlenie i usilenie stroitel'nykh konstruktsii avariinykh i rekonstruiemykh zdaniy* [The restoration and strengthening of building structures of emergency and reconstructed buildings]. Tomsk, Tomskii universitet, 1992, 456 p.

6. Polishchuk A.I., Petukhov A.A., Shalginov R.V., Polishchuk K.A. *Otsenka raboty osnovanii fundamentov rekonstruiemykh zdaniy pri ponizhenii otmetok pola podvala* [Evaluation of work of foundations reconstructed buildings at lower elevations basement floor]. *Trudy mezhdunarodnoi konferentsii «Fundamenty glubokogo zalozeniia i problemy osvoeniia podzemnogo prostranstva»*, Perm', 2011, vol. 1, pp. 235-241.

7. Polishchuk A.I., Petukhov A.A., Polishchuk K.A. *O rekonstruktsii podvala administrativno-torgovogo zdaniia v seismicheskom raione g.Tomska* [On the reconstruction of the basement of the administrative-commercial building in a seismic area of Tomsk]. *Mizhvidomchii naukovu-tekhnichnii zbirnik. Budivnitstvo v seismichnikh raionakh Ukraini. Zbirnik naukovikh prats'. Budivel'ni konstruktsii*, 2008, iss. 69, pp. 353-363.

8. Polishchuk A.I., Petukhov A.A., Tarasov A.A. *Rekonstruktsiia podval'noi chasti administrativno-torgovogo zdaniia* [Reconstruction of basement part of the administrative and trade building]. *Vestnik Permskogo natsional'no issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2015, no. 2, pp. 130-160.

9. Polishchuk A.I., Tarasov A.A. *Otsenka nesushchei sposobnosti in'eksionnykh svai v slabykh glinistykh gruntakh dlia fundamentov rekonstruiemykh zdaniy* [Evaluation of the

bearing capacity of injection piles in soft clay soils for foundations of the reconstructed buildings]. *Osnovaniia, fundamenty i mekhanika gruntov*, 2017, no. 1, pp. 21-26.

10. Polischuk A.I., Petuhov A.A. Klassifikatsiya, chislennyiy analiz i prakticheskoe primenenie sposobov usileniya fundamentov svayami v usloviyah rekonstruktsii zdaniy [Classification, numerical analysis and practical application of methods for strengthening foundation in conditions of buildings reconstruction]. *Fundamentyi glubokogo zalozheniya i geotekhnicheskie problemyi territoriy. Materialyi Vserossiyskoy natsionalnoy konferentsii s mezhdunarodnyim uchastiem*, 29-31 May 2017, Perm, 2017, pp. 206-218.

11. Mel'nikov R.V., Sagitova R.Kh. Kalibrovka parametrov modeli Hardening Soil po rezul'tatam laboratornykh ispytaniy v programme SoilTest [Calibration of the model parameters Hardening Soil the results of laboratory tests in the program SoilTest]. *Akademicheskii vestnik UralNIIProekt RAASN*, 2016, no. 3, pp. 79-83.

12. Vinnikov, Iu.L., Miroshnichenko I.B. Udoskonalennia metodiki viznachennia osidan' budivel' na nabivnikh paliakh u probitikh sverdlovinakh [Improved methods of determining the residue of the buildings on piles in punched wells]. *Zbirnik naukovikh prats'. Seriya: Galuzeve mashinobuduvannia, budivnitstvo*, 2013, iss. 3 (38), pp. 82-89.

13. Vynnykov Y., Zotsenko N., Yakovlev A. The use of reserves of bearing capacity of base and foundations during reconstruction of buildings. *Reconstruction of Historical Cities and Geotechnical Engineering. Proceedings Of International Geotechnical Conference Dedicated to Tercentenary of Saint-Petersburg*, Saint-Petersburg, Moscow, ASV, 2003, vol. 1, pp. 367-370.

14. Yamashita K., Yamada T., Hamada J. Recent case histories on monitoring settlement and load sharing of piled rafts in Japan. *Deep foundations on bored and auger piles*. Ed. Van Impe. London, Taylor & Francis Group, 2009, pp. 181-193.

15. Brandl H. Micropiles for underpinning/undercrossing of historical buildings. *Reconstruction of Historical Cities and Geotechnical Engineerin. Proceedings Of International Geotechnical Conference Dedicated to Tercentenary of Saint-Petersburg*, Saint-Petersburg, Moscow, ASV, 2003, vol. 1, pp. 119-126.

16. Samokhvalov M.A., Zazulia Iu.V., Mel'nikov R.V. Rezul'taty raschetnogo prognoza vzaimodeistviia buroin»ektsionnykh svai, imeiushchikh kontroliruemoe ushirenie, s pylevato-glinistym gruntovym osnovaniem [The results of computational prediction of interaction of the piles with controlled broadening, with a silty-clay subgrade]. *Geotekhnika*, 2016, no. 2, pp. 50-59.