УДК 624.159.4

А.И. Полищук¹, А.А. Петухов², Р.В. Шалгинов², А.А. Тарасов²¹Кубанский государственный аграрный университет, г. Краснодар, Россия²Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г.Томск, Россия

ОПЫТ УСИЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ ИНЪЕКЦИОННЫМИ СВАЯМИ

Приводится опыт усиления фундаментов двух реконструируемых административных зданий в г. Томске. При реконструкции рассматривался вопрос надстройки дополнительных этажей. Существующие фундаменты зданий свайные из забивных железобетонных свай. Несущей способности существующих свай было недостаточно для передачи дополнительной нагрузки на основание. При усилении фундаментов принято решение о подведении дополнительных инъекционных свай, которые устраивались в слабых водонасыщенных глинистых грунтах. Результаты испытаний инъекционных свай статической вдавливающей нагрузкой подтвердили их проектную несущую способность. Устройство инъекционных свай позволило решить вопрос надстройки дополнительных этажей.

Ключевые слова: реконструкция, надстройка дополнительных этажей, усиление фундаментов, слабые водонасыщенные глинистые грунты, инъекционная свая.

A.I. Polishchuk¹, A.A. Petukhov², R.V. Shalginov², A.A. Tarasov²¹ Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation²Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering,
Tomsk, Russian Federation

THE EXPERIENCE OF FOUNDATION STRENGTHENING OF RECONSTRUCTED BUILDINGS BY INJECTION PILES

The article describes the experience of foundations strengthening of two reconstructed administrative buildings in Tomsk. During reconstruction the aspect of additional floors build-up is considered. The existing foundations of buildings are of driven reinforced-concrete piles. The bearing capacity of the existing piles is not enough for additional loading of basement. It was decided to strengthen foundations by construction of additional injection piles in weak water-saturated clay soils. The results of injection piles testing by static pushing load confirmed their design bearing capacity. The construction of injection piles allowed to solve the problem of additional floors build-up.

Keywords: reconstruction, additional floors build-up, strengthening of foundations, weak water-saturated clay soils, injection pile.

Способ устройства инъекционных свай

В настоящее время в условиях сложившейся городской застройки часто возникают вопросы реконструкции зданий с увеличением их этажности и переоборудованием подвалов. Часть длительно эксплуатируемых

зданий, в том числе исторических, имеют значительный физический износ (более 60 %), находятся в ограниченно работоспособном состоянии и нуждаются в восстановлении. При реконструкции, восстановлении зданий возникает необходимость усиления фундаментов, упрочнения грунтов основания [1].

Авторами проанализированы различные варианты усиления фундаментов путем передачи части нагрузки от здания на инъекционные сваи [2–7]. При усилении фундаментов реконструируемых зданий в г. Томске получил распространение способ устройства инъекционных свай [2], который прошел экспериментальное обоснование на опытных площадках в г. Кемерово и г. Томске [3–7]. По этому способу устраиваются инъекционные сваи в глинистых грунтах, в том числе водонасыщенных. Суть способа заключается в устройстве скважины без извлечения грунта путем вдавливания перфорированной инъекторной трубы (инъектора) с закрытым конусным наконечником, снабженным диском большего диаметра. При вдавливании в грунт инъектора между стенкой скважины и инъекторной трубой образуется зазор, снижающий усилие вдавливания за счет снятия трения по ее боковой поверхности. Формирование ствола сваи осуществляется путем нагнетания подвижной бетонной смеси через инъектор под давлением с использованием «технологических приемов метода высоконапорной инъекции», разработанных в ОАО «УралНИИАС» (В.В. Лушников [и др.], г. Екатеринбург, 2000 г.) и усовершенствованных авторами.

Усиление фундаментов инъекционными сваями внедрено на объектах в г. Томске при реконструкции и восстановлении зданий в период с 2004 по 2013 г.: здание Генетической клиники НИИ медицинской генетики ТНЦ СО РАМН по ул. Московский тракт, 3; административное здание по ул. Белинского, 32; жилой дом по ул. Усова, 37а; административно-хозяйственный корпус ТГАСУ на пл. Соляной, 2; здание детского сада по ул. Водяной, 31/1; административное здание по ул. Большая Подгорная, 10; административное здание по ул. Р. Люксембург, 13 и другие.

Краткая характеристика реконструируемых зданий

Административное здание по ул. Белинского в г. Томске одноэтажное, с подвалом построено в 1989 году (рис. 1). Его размеры в плане по осям составляют 19,2×19,2 м. Конструктивная схема – сме-

шанная с наружными несущими керамзитобетонными стеновыми панелями и поперечными внутренними несущими железобетонными рамами. Наружные несущие стены по осям 1, А-Г и 4, А-Г опираются на ленточный монолитный железобетонный ростверк однорядного свайного фундамента.

Рис. 1. Общий вид административного здания по ул. Белинского в г. Томске

Существующие фундаменты под внутренние несущие и наружные самонесущие стены выполнены отдельностоящими в виде кустов из 3–4 свай. Сваи – железобетонные призматического сечением 30×30 см с глубиной погружения 5–6 м. При разработке проекта реконструкции здания были предусмотрены: надстройка двух этажей и переоборудование ранее не эксплуатируемого техподполья в цокольный этаж с размещением в нем торговых площадей. Результаты испытания существующих железобетонных свай статической вдавливающей нагрузкой показали, что их несущая способность после реконструкции здания будет недостаточна. Для компенсации недостатка несущей способности было принято решение об усилении фундаментов здания с использованием свай.

Административно-хозяйственный корпус ТГАСУ на пл. Соляной в г. Томске был запроектирован двухэтажным кирпичным прямоугольной формы в плане с размерами между габаритными осями $7,2 \times 30,9$ м. Первый этаж здания планировалось частично использовать для стоянки только двух служебных автомобилей, а второй этаж – для

офисных помещений. Конструктивная схема здания выполнена с несущими продольными стенами, которые опираются на ленточный монолитный ростверк однорядного свайного фундамента. Сваи – железобетонные призматические сечением 30×30 см, погруженные забивкой до глубины 4,5–5,0 м от поверхности планировки. Шаг свай изменяется от 1,1 до 1,3 м. В процессе строительства после устройства фундаментов здания было принято решение об увеличении его этажности до трех этажей и использовании всех помещений первого этажа для стоянки служебных автомобилей. С таким конструктивным решением в 2005 г. здание было сдано в эксплуатацию (рис. 2).

Рис. 2. Общий вид административно-хозяйственного корпуса ТГАСУ на пл. Соляной в г. Томске

Через 6 месяцев в наружной стене главного фасада над отдельными простенками появились вертикальные и наклонные трещины. При устройстве шурфов было выявлено, что при изменении конструктивного решения надземной части здания его фундаментная часть осталась без изменений. Устройство дополнительных гаражных ворот привело к смещению несущих простенков. Нагрузка от простенков передавалась лишь на одну сваю со смещением от центра простенка, а часть свай оказалась на участке ростверка под проемами ворот. В результате ростверк деформировался, что привело к появлению трещин

в стенах здания. Для стабилизации деформаций здания было принято решение об усилении фундаментов здания с использованием свай.

Инженерно-геологические условия площадок реконструируемых зданий

Площадка **административного здания по ул. Белинского** в геоморфологическом отношении расположена в юго-восточной части Западно-Сибирской низменности и приурочена ко второй надпойменной правобережной террасе р. Томи, характеризуется ровным рельефом с абсолютными отметками 98,9 м. Геолого-литологический разрез площадки (рис. 3) с поверхности сложен современными техногенными отложениями (tQ_{IV}) мощностью до 1,7–1,9 м.

Рис. 3. Инженерно-геологический разрез площадки административного здания по ул. Белинского в г. Томске

Рис. 4. Инженерно-геологический разрез площадки административно-хозяйственного корпуса ТГАСУ на пл. Соляной в г. Томске

Далее до вскрытой глубины 12,0 м залегают аллювиальные верхнечетвертичные отложения второй надпойменной террасы р. Томи (aQ_{III}^2). В геологическом строении принимают участие:

1. Современные техногенные отложения – насыпные грунты, представленные супесью серой, пластичной консистенции с включением строительного мусора, гравия до 50 %. Мощность слоя 1,7–1,9 м.
2. Верхнечетвертичные аллювиальные отложения:

- супесь бурая песчанистая пластичная. Мощность слоя 1,5 м.
- супесь бурая песчанистая текучая. Мощность слоя (вскрытая) – 8,6–8,8 м.

В пределах изученной глубины (12 м) вскрыт один водоносный горизонт грунтовых вод на глубине 3,2–3,4 м, что соответствует абсолютным отметкам 95,6–95,7 м.

Площадка **административно-хозяйственного корпуса ТГАСУ на пл. Соляной** в геоморфологическом отношении приурочена к краевой поверхности склона Томь-Яйского водораздела, подверженного в геологическом прошлом глубоким эрозионным процессам. В настоящее время овраги на прилегающей территории засыпаны строительным мусором и глинистыми грунтами. Площадка характеризуется относительно ровным рельефом с абсолютными отметками 112,3–112,7 м. Геолого-литологический разрез площадки (рис. 4) с поверхности до глубины 11 м сложен озерно-аллювиальными отложениями верхне и среднечетвертичного возраста (alQ_{II-III}), перекрытыми современными техногенными отложениями (tQ_{IV}).

В геологическом строении на глубину изученности (11,0 м) принимают участие:

1. Современные техногенные отложения – насыпные грунты, представленные суглинком от бурого до черного цвета, с включением гравия до 15 %, перепревшего навоза, золы. Мощность слоя до 2,5 м.
2. Верхне и среднечетвертичные озерно-аллювиальные отложения:
 - супесь бурая пластичная. Мощность слоя 1,5–1,6 м;
 - супесь бурая текучая с содержанием тонких прослоек песка пылеватого. Мощность слоя 1,7–2,3 м;
 - суглинок буро-серый текучий. Мощность слоя 3,1 м;
 - суглинок буро-серый тугопластичный. Мощность слоя 1,3–1,4 м.

В пределах разведанной глубины (до 11,0 м) был вскрыт один горизонт подземных безнапорных вод на глубине 4,0–4,2 м, что соответствует абсолютным отметкам 108,3–108,5 м.

Усиление фундаментов реконструированных зданий

В качестве основных рассматривались варианты усиления фундаментов реконструируемых зданий с использованием вдавливаемых (многосекционных стальных) свай и инъекционных свай. Применение вдавливаемых свай оказалось невозможным из-за отсутствия упора для

вдавливания (недостаточного собственного веса надземных строительных конструкций здания). При устройстве же инъекционных свай усилие вдавливания инъекторов было минимальным за счет малого диаметра инъекторной трубы и снижения сил трения по ее боковой поверхности [3]. Этот вариант принимался в дальнейшем в проектах усиления фундаментов реконструируемых зданий.

Проектные решения включали подведение дополнительных инъекционных свай в кустах и лентах свайных фундаментов реконструируемых зданий [5, 6]. Количество, длина, диаметр вновь устраиваемых инъекционных свай были определены расчетом в соответствии с разработанной методикой расчета [3, 8]. Предусматривалось устройство инъекционных свай диаметром 210–250 мм, длиной 4,5–5,0 м с заглублением их острия в слой супеси текучей.

Для устройства инъекционных свай применялись инъекторы из стальных прокатных труб диаметром 108 мм, которые в дальнейшем выполняли роль арматуры свай. По длине инъектора располагались отверстия перфорации диаметром 20 мм в шахматном порядке с шагом 80 мм. Наконечник инъектора состоял из стального уширительного диска диаметром 180–190 мм и режущих пластин, расположенных вертикально крест накрест. Погружение инъекторных труб производилось гидроцилиндром, упором служили несущие железобетонные панели и устроенный ростверк (здание по ул. Белинского) и существующий ростверк (здание на пл. Соляной). Усилие вдавливания инъекторов на проектной отметке не превышало 40 кН (здание по ул. Белинского) и 91 кН (здание на пл. Соляной). Инъекторы погружались звеньями по 0,5–1,0 м и стыковались через патрубков на сварке.

В качестве инъекционного раствора использовалась мелкозернистая бетонная смесь с модулем крупности инертного заполнителя $M_k = 2,4–2,5$, водоцементным отношением В/Ц = 0,5–0,6, осадкой стандартного конуса 11–14 см. В инъекционный раствор вводились пластифицирующие добавки. Перед бетонированием сваи затрубное пространство в верхней («глухой») части инъектора тампонировалось. Далее производилось поэтапное нагнетание мелкозернистой бетонной смеси в инъектор с кратковременными технологическими перерывами. По окончании инъектирования в системе «свая-грунт» поддерживалось рабочее давление для опрессовки массива грунта.

Административное здание по ул. Белинского. Техническое решение по усилению фундаментов здания приведено на рис. 5.

Рис. 5. Техническое решение по усилению фундаментов административного здания по ул. Белинского, 32 в г. Томске: а – схема расположения существующих (СС) и дополнительно устраиваемых инъекционных (ИС) свай; б – схема усиления отдельностоящих свайных фундаментов под внутренние стены

Всего для усиления фундаментов использована 31 инъекционная свая. Под внутренние кусты устраивались дополнительно 4 инъекционных свай (кусты по осям 2,Б; 2,В; 3,Б; 3,В). Под кусты в осях 2,А; 2,Г; 3,А; 3,Г – по две инъекционные сваи. По осям 1,Б; 4,Б; 1,В; 4,В дополнительно для передачи нагрузок от внутренних несущих железобетонных панелей устраивалось по одной инъекционной свае. Также для устройства входов в цокольный этаж устраивались дополнительные инъекционные сваи на участках в осях А,3-4 и Г,1-2. Расчетно-допускаемая нагрузка на сваю, принятая в проекте, составила $N = 134,5$ кН.

Особенностью проектного решения являлась последовательность изготовления свай и ростверка. Вначале, после откопки грунта в техподполье до проектной отметки, устраивался монолитный железобетонный ростверк. Новый ростверк объединял все существующие железобетонные сваи в кустах и лентах. В ростверке предусматривалась установка закладных деталей в виде стальных труб (гильз), которые позволяли погружать инъекторы и устраивать инъекционные сваи через тело ростверка. Такое решение позволило при погружении инъекторов использовать вес нового ростверка в качестве пригруза и значительно снизить нагрузку на существующие надземные конструкции.

Административно-хозяйственный корпус ТГАСУ на пл. Соляной. Техническое решение по усилению фундаментов здания приведено на рис. 6. Всего для усиления фундаментов использовано 12 инъекционных свай. Инъекционные сваи устраивались под всеми простенками по оси Б, 1-4 между существующих свай. Под каждый простенок по оси Б было подведено по 1-2 инъекционные сваи. Особенностью проектного решения было сопряжение устроенных инъекционных свай с ростверком и включение их в работу под нагрузкой. Инъекционные сваи устраивались непосредственно под подошвой существующего ростверка в шурфах. Для сопряжения применялось специально разработанное решение, позволяющее выполнить сопряжение оголовка инъектора (стальной трубы) с анкеровкой стальных элементов узла в существующий ростверк. Конструкция узла сопряжения выполнялась поэтапно, после передачи домкратом части нагрузок на инъекционную

сваю. После включения свай в работу оголовков инъекционной сваи с узлом сопряжения обетонировался.

Рис. 6. Техническое решение по усилению фундаментов административно-хозяйственного корпуса ТГАСУ на пл. Соляная, 2: а – фасад здания в осях 4-1/Б с изображением существующих (С-1) и устроенных инъекционных (ИС 1-12) свай; б – схема расположения существующих железобетонных и устроенных инъекционных свай

Для контроля несущей способности устроенных инъекционных свай производились их испытания статической вдавливающей нагруз-

кой в соответствии с ГОСТ 5686-94. Загрузочная установка состояла из упорной конструкции (существующий ростверк), гидравлического домкрата и реперной системы. Всего было испытано 7 свай (здание по ул. Белинского) и 2 сваи (здание на пл. Соляной). Несущая способность (F_d) для испытываемых инъекционных свай составила 170–200 кН (здание по ул. Белинского) и 256–263 кН (здание на пл. Соляной). Несущая способность инъекционных свай, предусмотренная в проектах, была подтверждена испытаниями статической вдавливающей нагрузкой, что обеспечило проектное решение по реконструкции зданий.

Библиографический список

1. Полищук А.И. Основы проектирования и устройства фундаментов реконструируемых зданий. – Нортхэмптон: STT, 2007. – 476 с.
2. Пат. 2238366. Российская Федерация, МПК7 Е 02 D 5/34. Способ устройства инъекционной сваи / Полищук А.И., Герасимов О.В., Петухов А.А., Андриенко Ю.Б., Нуйкин С.С. ; опубл. 20.10.04, Бюл. № 29.
3. Петухов А.А. Совершенствование способа устройства инъекционных свай в слабых глинистых грунтах для условий реконструкции зданий: автореф. дис. ... канд. техн. наук: – Томск, 2006. – 22 с.
4. Полищук А.И., Петухов А.А. Усиление фундаментов реконструируемых зданий в г. Томске с использованием инъекционных свай // Научно-практические и теоретические проблемы геотехники: межвуз. темат. сб. тр. / С.Петербург. гос. архит.-строит. ун-т. – СПб, 2007. – С. 162–171.
5. Экспериментальные исследования процессов устройства и работы инъекционных свай в глинистых грунтах / А.И. Полищук, А.А. Петухов, Р.В. Шалгинов, А.А. Тарасов // Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции: сб. тр. науч.-техн. конф. посвященной 100-летию со дня рождения Б.И. Далматова / С.Петербург. гос. архит.-строит. ун-т. – СПб, 2010. – С. 275–280.
6. Полищук А.И., Петухов А.А. Усиление фундаментов зданий в г. Томске с использованием свай / А.И. Полищук, А.А. Петухов // Геотехнические проблемы строительства на просадочных грунтах в сейсмических районах: тр. III Центрально-Азиатского междунар. Геотехн. симпозиума / Науч.-исслед. и проект.-изыск. ин-т.

«САНИИОСП» гос. комитета стр-ва и арх. респ. Таджикистан. – Душанбе, 2005. – Т. 1. – С. 198–201.

7. Петухов, А.А., Шалгинов Р.В., Тарасов А.А. Практическое использование инъекционных свай при реконструкции зданий в г. Томске // Знания, умения, навыки: материалы унив. науч.-практ. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – С. 78–80.

8. Шалгинов, Р.В. Совершенствование метода расчета инъекционных свай в глинистых грунтах для условий реконструкции зданий: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Тюмень, 2010. – 23 с.

References

1. Polishchuk A.I. Osnovi proektirovaniya i ustroystva fundamentov rekonstruirovannykh zdaniy [The basics of design and construction of reconstructed buildings foundations]. Northampton: STT; Tomsk: STT, 2007. 476 s.

2. Patent 2238366. RF, MPK7 E 02 D 5/34. Sposob ustroystva inyectionsionnoi svai / Polishchuk A.I., Gerasimov O.V., Petuchov A.A., Andrienko Yu.B., Nuikin S.S.; opubl. 20.10.04, buyl. № 29.

3. Petukhov A.A. Sovershenstvovanie sposoba ustroystva in "eksionnykh svay v slabikh glinistikh gruntakh dlia uslovii rekonstrukcii zdaniy [The perfection of injection pile calculation method in clay soils for the conditions of buildings reconstruction]. Abstract of the thesis of doctor degree dissertatia, Tomsk, 2006. 22 s.

4. Polishchuk A.I., Petuchov A.A. Usilenie fundamentov rekonstruirovannykh zdaniy v g. Tomske s ispolzovaniem inyectionsionnykh svaj [Strengthening the foundations of reconstructed buildings in Tomsk with injecting piles]. *Mezhvuzovskij tematicheskij sbornik trudov "Nauchno-prakticheskie i teoreticheskie problemy geotekhniki"*. Peterburgskii gosudarstvennyy arhitekturno-stroitelnyy universitet, 2007, pp.162-171.

5. Polishchuk A.I., Petuchov A.A., Shalginov R.V., Tarasov A.A. Eksperimentalnye issledovaniya protsessov ustroystva i raboti inyectionsionnykh svai v glinistikh gruntakh [Experimental study of the device and work injecting piles in clay soils]. *Sbornik trudov nauchno-tehnicheskoi konferentsii, posvuashchyonnoi 100-letiyu so dnya rojdeniya B.I. Dalmatova "Aktualnye voprosy geotekhniki pri reshenii slojnykh zadach novogo stroitelstva i rekonstruktsii"*. Peterburgskii gosudarstvennyy arhitekturno-stroitelnyy universitet, 2010, pp. 275-280.

6. Polishchuk A.I., Petuchov A.A. Usilenie fundamentov rekonstruirovannykh zdaniy v g. Tomske s ispolzovaniem svaj [Strengthening the foundations of reconstructed buildings in Tomsk with piles]. *Trudy III Tsentralno-Aziatskogo mezhdunarodnogo Geotekhnicheskogo simposiuma "Goe-*

tehnicheskii problem stroitelstva na prosadochnih gruntah v seismicheskikh raionah”, Dushanbe, 2005, vol. 1, pp. 198-201.

7. Petuchov A.A., Polishchuk A.I., Shalginov R.V., Tarasov A.A. Prakticheskoe ispolzovanie inyectionsnikh svaj pri rekonstruktsii zdaniy v g. Tomske [Practical use of injecting piles for reconstruction in Tomsk]. *Materialy universitetskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii “Znaniya, umeniya, naviki”*, Tomsk, 2007, pp. 78-80.

8. Shalginov R.V. Sovershensvovanie metoda raschyota inyectionnoy svai v glinistiyk gruntakh dlya usloviy rekonstruktsii zdaniy [Improvement in the method of calculation of injecting piles in clay soils conditions for reconstruction of buildings]. Abstract of the thesis of doctor degree dissertatia. Tomsk, 2010. 23 s.

Об авторах

Полищук Анатолий Иванович (Краснодар, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Основания и фундаменты» Кубанского государственного аграрного университета; e-mail: ofpai@mail.ru

Петухов Аркадий Александрович (Томск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Основания, фундаменты и испытания сооружений» Томского государственного архитектурно-строительного университета; e-mail: paa5579@mail.ru

Шалгинов Роман Валерьевич (Томск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Основания, фундаменты и испытания сооружений» Томского государственного архитектурно-строительного университета; e-mail: paa5579@mail.ru

Тарасов Александр Александрович (Томск, Россия) – старший преподаватель кафедры «Основания, фундаменты и испытания сооружений» Томского государственного архитектурно-строительного университета; e-mail: paa5579@mail.ru

About the authors

Polishchyk Anatolii Ivanovich (Krasnodar, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief of Department of «Bases

and foundations», Kuban State Agrarian University; e-mail: ofpai@mail.ru

Petukhov Arkadii Aleksandrovich (Tomsk, Russian Federation) – Ph.D Technical Sciences, Associate Professor, Department of « Bases, foundations and structure testing», Tomsk State University Of Architecture And Buildings; e-mail: paa5579@mail.ru

Shalginov Roman Valerievich (Tomsk, Russian Federation) – Ph.D Technical Sciences, Associate Professor, Department of « Bases, foundations and structure testing», Tomsk state university of architecture and buildings; e-mail: paa5579@mail.ru

Tarasov Aleksandr Aleksandrovich (Tomsk, Russian Federation) – Assistant Professor, Department of «Bases, foundations and structure testing», Tomsk State University Of Architecture And Buildings; e-mail: paa5579@mail.ru

Получено 27.03.2014