**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**
Т. 8, № 3, 2017
**PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9826/2017.3.07

УДК 624.154.1:692/51

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ СООРУЖЕНИЙ НА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНАХ

А.Н. Власов¹, М.В. Королев¹, Д.Ю. Чунюк², П.М. Королев³

¹Институт прикладной механики Российской академии наук, Москва, Россия

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

³Центр экспертиз, исследований и испытаний в строительстве, Москва, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 06 июня 2017

Принята: 24 июля 2017

Опубликована: 29 сентября 2017

Ключевые слова:

комбинированный свайно-плитный фундамент, задавливаемая свая, устойчивость склонов, технология возведения здания, передача нагрузок на основание

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются вопросы возведения зданий и сооружений на потенциально опасных оползневых склонах. Показаны преимущества устройства фундаментов в таких условиях в виде свай, задавливаемых в грунт статической нагрузкой. Описываются технологии, применяемые для задавливания свай при новом строительстве и при реконструкции зданий. Предлагается новая эффективная технология возведения комбинированных плитно-свайных фундаментов, позволяющая сократить время и стоимость строительства. Суть данной технологии заключается в том, что благодаря определенной последовательности операций по устройству фундамента и возведению верхних конструкций здания сначала нагрузку от неполностью построенного здания воспринимает плитный фундамент, а далее, по мере возведения здания возрастающая нагрузка передается на задавленные через отверстия в плите сваи. Это позволяет полностью использовать несущую способность как фундаментной плиты, так и свай комбинированного фундамента, сократить количество свай и в определенной степени управлять осадками сооружения в процессе его возведения. Приводятся описание и результаты лабораторных и полевых экспериментов на модели по изучению работы плитно-свайных фундаментов, выполненных по предлагаемой технологии. Данная технология может быть использована как для возведения сооружений на потенциально опасных оползневых склонах, так и в обычных условиях для массового промышленного и гражданского строительства. К настоящему времени разработаны все основные элементы предлагаемой технологии, в частности способ определения несущей способности свай в ходе ее погружения с использованием ползуче-релаксационного режима, технология погружения свай в лидерные скважины и технология увеличения несущей способности погружаемых свай.

© ПНИПУ

© **Власов Александр Николаевич** – доктор технических наук, директор, e-mail: iam@iam.ras.ru.

Королев Михаил Владимирович – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией геомеханики, e-mail: M-korolev2009@yandex.ru.

Чунюк Дмитрий Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой механики грунтов и геотехники, e-mail: ChuniukDU@mgsu.ru.

Королев Петр Михайлович – инженер-эксперт, e-mail: korolevpm@mail.ru.

Aleksandr N. Vlasov – Ph.D. in Technical Sciences, the Head, e-mail: iam@iam.ras.ru.

Mikhail V. Korolev – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of Laboratory of the Geomechanics, e-mail: M-korolev2009@yandex.ru.

Dmitrii Iu. Chuniuk – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, e-mail: ChuniukDU@mgsu.ru.

Petr M. Korolev – Engineer-Expert, e-mail: korolevpm@mail.ru.

NEW TECHNOLOGY OF CONSTRUCTING BUILDINGS ON POTENTIALLY DANGEROUS LANDSLIDE SLOPES

A.N. Vlasov¹, M.V. Korolev¹, D.Iu. Chuniuk², P.M. Korolev³

¹Institute of Applied Mechanics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

²National Research University Moscow State of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

³Centre Examinations, Research and Testing in Construction, Moscow, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 06 June 2017

Accepted: 24 July 2017

Published: 29 September 2017

Keywords:

combined pile-slab foundation, inserted pile, slope stability, building production technology, transfer of loads to the base

ABSTRACT

This article considers the issues of producing buildings and constructions on potentially dangerous landslide slopes. It shows the advantages of the foundation setting in such conditions using piles which are set into the ground by a static load. The technologies which are used to insert piles during new construction operations and during the reconstruction of buildings are also described in this article. A new efficient technology is proposed for production of combined piled foundations which allows reducing construction time and costs. The idea of the technology is that due to a certain sequence of operations related to the construction of foundations and upper structures of the building, the load from an incompletely constructed building is firstly perceived by the slab foundation, and then, as the building is constructed, the increasing load is transferred to the piles set through the holes in the plate. On the one hand, this makes it possible to fully utilize the bearing capacity of both the foundation slab and the pile of the combined foundation, and, on the other hand, to reduce the number of piles and, to some extent, control the structure settlement when it is being constructed. In addition, the description and the results of laboratory and field experiments are given using the testing model of studying the piled foundations which has been developed according to the proposed technology. This technology can be used both to build structures on potentially dangerous landslide slopes, as well as in ordinary conditions of mass industrial and civil constructions. Nowadays all the main elements of the proposed technology have been worked out. In particular, a method determining the bearing capacity of piles when they are inserted using the creeping relaxation regime, the technology of piling into leading wells, and the technology of increasing the bearing capacity of immersed piles.

© PNRPU

Берега озерной части многих водохранилищ, даже на равнинных реках, часто являются достаточно высокими и крутыми. Это осложняет возможность использования участков земли расположенных вблизи потенциально опасных оползневых склонов для строительства капитальных сооружений. Темпы переработки некоторых участков берегов ряда водохранилищ весьма высоки. Например, скорость отступления абразивных берегов Угличского водохранилища (на участках общей протяженностью 130 км) может достигать величины 0,5–1,5 м в год и более. Как показывают результаты многолетних наблюдений, тенденции к стабилизации таких склонов не прослеживается [1]. Таким образом, здание, построенное даже за пределами прибрежной зоны (20 м), через несколько лет может оказаться в опасной близости от оползневого склона [2].

При возведении здания и сооружения вблизи потенциально опасного оползневого откоса желательно минимизировать вертикальную нагрузку от здания на верхнюю часть оползневого массива. Ввиду этого применение фундаментов мелкого заложения нецелесообразно, так как может привести к обрушению береговой части массива. В этих случаях более предпочтительными являются фундаменты глубокого заложения, в частности свайные фундаменты, которые передают нагрузки от сооружения на нижнюю часть массива за пределы потенциальной линии скольжения.

Свайные фундаменты различают по способам устройства:

- сваи, погружаемые в грунт динамической нагрузкой (забивные, вибропогружаемые);
- буронабивные;
- сваи, погружаемые в грунт статической нагрузкой (задавливаемые) [3].

Устройство фундаментов из забивных свай или свай, погружаемых вибропогружателями, в непосредственной близости от оползневого склона представляется достаточно опасным, так как в этом случае на массив грунта будут передаваться значительные динамические нагрузки. Применение буронабивных или буроинъекционных свай сдерживает то обстоятельство, что для полного включения их в работу свайный фундамент должен претерпеть определенные осадки (порядка 3–7 см), чтобы полностью мобилизовались силы трения и сопротивления по боковой поверхности сваи. Наиболее привлекательными в таких условиях являются сваи, погружаемые статической нагрузкой (задавливаемые сваи). Они обладают рядом важных преимуществ [4]:

- при производстве работ они не создают динамических нагрузок на грунт, расположенные рядом строения и саму погружаемую сваю;
- в процессе погружения по величине усилия задавливания можно точно определить несущую способность каждой сваи [5];
- поскольку сваи являются предварительно напряженными вдавливающей нагрузкой, такой фундамент будет практически «безосадочным».

К настоящему времени разработаны оборудование и технология устройства таких фундаментов: свая погружается в грунт вертикальным статическим усилием, которое создается нагрузочной системой домкратов или лебедок. Для этого используются специальные сваепогружающие установки (СПУ). Основная проблема такой технологии следующая: восприятие реактивного усилия при задавливании сваи, направленного вертикально вверх, достигается с помощью следующих методов:

- использование в момент задавливания сваи временных статических пригрузов;
- применение винтовых буров-анкеров на аутригерах СПУ, которые при погружении сваи заглубляются в грунт и воспринимают реактивную составляющую;
- применение СПУ установленных на базе тяжелых гусеничных кранов (СКГ-40, ДЭК-50) или экскаваторов (ЭО-6122), в этом случае сама масса СПУ (30–60 т) обеспечивает восприятие реактивной составляющей задавливания [6].

В последнее время задавливаемые статической нагрузкой сваи стали часто использоваться для усиления фундаментов зданий при реконструкции зданий [4, 7, 8]. Для этого существующий фундамент мелкого заложения реконструируемого здания дополняют железобетонным ростверком с отверстиями для пропуска свай и закладными деталями с последующим креплением к ним установки задавливания. После этого производят погружение свай статической нагрузкой при помощи нагрузочного устройства (силовых цилиндров), а реактивное усилие от задавливания воспринимается весом самого здания. Затем верхний конец погруженных свай закрепляют в ростверке. Такая технология успешно использовалась для усиления фундаментов ряда зданий в Москве (например, зданий по адресам: Волхонский пер., д. 3, Глинцевский пер., д. 5/7, Петровский пер., д. 6, Чистый пер., д. 10/2, здания музея и гостиничного комплекса в г. Рыбинске и др.) [8, 9]. Для реализации этой технологии ряд специализированных фирм («Фундатор», «Эмеральд») разработали мобильные компактные установки, позволяющие задавливать металлические сваи с закрытым нижним концом диаметром 80–250 мм на глубину 10–15 м. Такие сваи обладают несущей способностью 30–70 т.

В последние годы также получили развитие комбинированные свайно-плитные фундаменты [10, 11], которые достаточно эффективны в некоторых случаях, однако конструкция плиты и свай не позволяют полностью эффективно использовать несущую способность всего массива грунта [12–14].

В лаборатории геомеханики ИПРИМ РАН разработана новая технология строительства зданий, в том числе вблизи оползневых склонов, с использованием свай задавливаемых статической нагрузкой, суть которой заключается в следующем. На первом этапе устраивают фундамент мелкого заложения из сборного или монолитного железобетона, в теле которого имеются отверстия для последующего пропуска свай и закладные детали для крепления установки для задавливания свай в грунт. Далее на этом фундаменте начинает возводиться здание, но не полностью, а до определенного количества этажей. Ширина подошвы фундамента рассчитывается исходя из условия, чтобы давление под подошвой от веса части недостроенного по высоте здания не превышало расчетного сопротивления грунта и массив сохранял свою устойчивость. При этом нагрузка, передаваемая на фундамент здания, должна быть не меньше усилия, требуемого для задавливания одной сваи. Далее к закладным деталям фундамента прикрепляют установку для задавливания свай, включающую подвижную раму с захватами и силовые гидроцилиндры. Затем одновременно продолжают возводить верхние строения здания и осуществлять поочередное погружение (задавливание) свай и их замоноличивание в ростверк. Задавливание свай производится в зависимости от расстояния до склона: первыми погружаются сваи, находящиеся дальше от бровки откоса (рис. 1).

Рис. 1. Схема возведения здания вблизи от оползневого склона: *а* – первый этап: устройство плиты и возведение здания до определенного количества этажей; *б* – второй этап: задавливание свай до проектной отметки с одновременным возведением верхних конструкций
Fig. 1. Building production scheme near the landslide slope, *a* is the first stage including the installation of the slab and the building production with a certain number of floors; *b* is the second stage including the insert of piles till a design reference mark with a simultaneous production of upper structures

По мере задавливания свай и, соответственно, повышения несущей способности фундаментов здание можно возводить до проектного количества этажей. Такой фундамент на первой стадии строительства работает как фундамент мелкого заложения, передавая нагрузку от недостроенной части здания на верхнюю часть массива грунта. В момент погружения свай фундамент-ростверк вместе с недостроенным зданием выполняет функцию пригрузки, обеспечивающей восприятие реактивного усилия от задавливания свай. После устройства и замоноличивания свай в плиту-ростверк комбинированный свайно-плитный передает большую часть нагрузки на более глубокие слои грунта.

Предлагаемый способ возведения зданий обладает рядом существенных преимуществ:

- при устройстве фундамента на грунт не передаются динамические нагрузки;
- поскольку задавливание свай осуществляется одновременно с возведением верхних конструкций, общая продолжительность строительства сокращается на 10–15 %;

- общая стоимость фундаментов сокращается на 30–35 % за счет того, что ростверк воспринимает часть нагрузки на здание, что позволяет уменьшить количество свай;
- повышается надежность такого комбинированного фундамента, так как в процессе погружения по усилию вдавливания определяется реальная несущая способность каждой сваи;
- фундамент, возведенный по предлагаемой технологии, будет испытывать осадки только до погружения свай;
- в случае возникновения на первой стадии неравномерных осадок, изменяя последовательность задавливания свай, можно в определенной степени «управлять» осадками сооружения и выравнивать возможные крены.

Для экспериментальной проверки метода в лабораторных и полевых условиях была поставлена серия опытов на модели комбинированного свайно-плитного фундамента. Принципиальная схема полевой установки показана на рис. 2.

Рис. 2. Схема полевой установки: 1 – анкера; 2 – нагрузочная рама; 3 – плита с отверстиями; 4 – задавливаемые сваи; 5 – домкрат; 6 – домкраты для погружения свай; 7 – месдозы; 8 – измерительная рама; 9 – тензостанция; 10 – маслостанция с манометром

Fig. 2. The field arrangement scheme: 1 is the anchor; 2 is the loading frame; 3 is the plate with holes; 4 are the set piles; 5 is the jack, 6 are the jacks for piling; 7 are the load meters; 8 is the measuring frame; 9 is the strain gauge scanner recorder, 10 is the oil station with a manometer

Полевые эксперименты на модели комбинированного фундамента проводились на опытной площадке на берегу Угличского водохранилища. Грунт основания – моренные суглинки в мягкопластичном состоянии.

Эксперименты в лабораторных и полевых условиях проводились по одинаковой методике. В лабораторных экспериментах на первой стадии на грунт, помещенный в лоток (песок средней крупности), устанавливалась модель плитного фундамента, состоящего из двух пластин, имеющих по углам отверстия для пропуска моделей свай. Один динамометр устанавливался между пластинами, а другой – на верхней пластине (рис. 3, 4).

С помощью гидродомкрата модель плитного фундамента нагружалась ступенчато возрастающей вертикальной нагрузкой, и измерялась осадка нижней пластины. Нагружение велось до тех пор, пока давление под нижней пластиной не достигало величины 200 кПа. На втором этапе с помощью гидроцилиндров через отверстия в пластинах последовательно осуществлялось погружение свай статической нагрузкой. При этом регистрировалось усилие погружения свай. На заключительном этапе оголовки свай жестко фиксировались в верхней пластине. При этом сваи могли свободно перемещаться в отверстиях нижней пластины. Далее к верхней пластине продолжала прикладываться ступенчато возрастающая

сжимающая нагрузка, и измерялись вертикальные перемещения нижней пластины. Величина общей нагрузки измерялась динамометром, установленным на верхней пластине, а величина нагрузки, передаваемой на грунт нижней пластиной, – динамометром, установленным между пластинами. Разница между полной нагрузкой и нагрузкой, передаваемой на грунт нижней пластиной, соответствовала суммарной нагрузке, воспринимаемой сваями. В полевых экспериментах нагрузка измерялась месдозами (рис. 5).

Рис. 3. Схема эксперимента по исследованию работы свайно-плитного фундамента: *а* – первый этап; *б* – второй этап
Fig. 3. The experimental scheme of studying the pile-slab foundation:
a is the first stage; *b* is the second stage

Рис. 4. Лабораторный эксперимент по исследованию работы комбинированного свайно-плитного фундамента по предлагаемой технологии
Fig. 4. Laboratory experiment of studying the combined pile-slab foundation using the proposed technology

Как видно из графиков, на первом этапе (до задавливания свай) вся нагрузка передается на плиту (ростверк) и зависимость между нагрузкой и осадкой фундамента носит линейный характер. На втором этапе (после задавливания свай и закрепления их оголовков в ростверке) большая часть нагрузки начинает восприниматься сваями, а давление под подошвой плиты почти не увеличивается. При этом общая осадка фундамента при увеличении общей нагрузки увеличивается незначительно.

Рис. 5. График зависимости осадок комбинированного свайно-плитного фундамента от нагрузки (а) и график нагрузки, воспринимаемой комбинированным фундаментом и отдельно ростверком (б)

Fig. 5. The settlement of the combined pile-and-slab foundation depending on the load (a) and the load graph perceived by the combined foundation and grillage separately (b)

Предлагаемая технология была внедрена при проектировании храма Архангела Михаила в деревне Данилово Московской области [15].

К настоящему времени разработаны все основные элементы предлагаемой технологии, в частности способ определения несущей способности свай в ходе ее погружения с использованием ползуче-релаксационного режима, технология погружения свай в лидерные скважины и технология увеличения несущей способности погружаемых свай.

Библиографический список

1. Королев М.В., Королев П.М., Остякова А.В. Особенности Угличского водохранилища и комплексная система его мониторинга // Современные проблемы водохранилищ и их водосбросов: тр. междунар. науч.-практ. конф., Пермь, 29–31 мая 2015 г. – Пермь, 2015. – С. 97–102.
2. Остякова А.В. Факторы и направления исследования динамики берегов водохранилищ // Современные проблемы водохранилищ и их водосбросов: сб. тр. междунар. науч.-практ. конф., Пермь 28–30 мая 2013 г.: в 3 т. Т. 1. Управление водными ресурсами. Гидро- и геодинамические процессы. – Пермь, 2013. – С. 276–282.
3. Механика грунтов, основания и фундаменты: учебник для вузов / С.Б. Ухов, В.В. Семенов, В.В. Знаменский, З.Г. Тер-Мартirosян, С.Н. Чернышев; под ред. С.Б. Ухова. – М., 1994. – 527 с.
4. Эффективные методы усиления фундаментов при реконструкции зданий и сооружений / М.В. Королев, М.С. Гутерман, Г.Е. Скрылев, Д.В. Сажин / Современные методы инженерных изысканий в строительстве: сб. тр. Моск. гос. строит. ун-та. – М.: Изд-во Моск. гос. строит. ун-та, 2003. – С. 253–264.
5. Тер-Мартirosян З.Г., Королев М.В., Конаш В.М. Взаимодействие задавливаемой сваи с однородными неоднородным основанием с учетом нелинейных и реологических свойств грунтов // Вестник Моск. гос. строит. ун-та. – 2008. – № 2. – С. 63–80.
6. Установки для статического вдавливания свай [Электронный ресурс]. – URL: <http://anler-group.ru/staticeskoe-vdavlivanie-svaj> (дата обращения: 31.03.2017).

7. Конаш В.М., Королев М.В. Способ усиления фундамента здания: пат. № 2352722 Рос. Федерация. Заявл. 27.11.07; опубл. 20.04.09.
8. Технология усиления фундаментов и устройства ограждения котлованов погружением свай статической нагрузкой / Е.Н. Яковлев, В.М. Ефременко, В.М. Конаш, М.В. Королев // Материалы междунар. конф., Санкт-Петербург, 8–12 сентября. – СПб., 1998. – С. 380.
9. Ефремова В.Е. Усиление фундамента гостиничного комплекса в городе Рыбинске вдавливаемыми сваями // European Research. – 2016. – № 4 (15). – С. 62–64.
10. Чунюк Д.Ю., Курилин Н.О. Оценка эффективности работы составляющих комбинированного свайно-плитного фундамента // Научное обозрение. – 2016. – № 16. – С. 6–10.
11. Чунюк Д.Ю., Курилин Н.О. Возможные методы расчета комбинированных свайно-плитных фундаментов // Научное обозрение. – 2016. – № 18. – С. 6–10.
12. Численное моделирование строительства зданий с фундаментами глубокого заложения в условиях плотной городской застройки / А.Н. Власов [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 2. – С. 170–179.
13. Meshcheryakov G.N., Doubrovsky M.P. Conceptual techniques for full-scale physical modeling of pressed-in pile behavior // Physical Modelling in Geotechnics: Proceedings of the 7th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics 2010, ICPMG 2010. – 2010. – P. 817–822.
14. Ter-Martirosyan Z.G., Pronozin Ya.A., Stepanov M.A. Feasibility of pile-shell foundations with prestressed soil beds // Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 2012. – № 4. – P. 1–5.
15. Королев М.В., Черкасова Л.И., Остякова А.В. Особенности обследования и восстановления зданий православных храмов: моногр. Сер. Библиотека научных разработок и проектов НИУ МГСУ. – М.: Изд-во Моск. гос. стрит. ун-та, 2016. – 201 с.

References

1. Korolev M.V., Ostyakova A.V., Korolev P.M. Osobennosti Uglichskogo vodokhranilishcha i kompleksnaia sistema ego monitoringa [Features of the Uglich reservoir and its complex monitoring system]. *Proceedings of the International Scientific-Practical Conference "Modern problems of reservoirs and their spillways"*, 29-31 May, Perm, 2015, pp. 97-102.
2. Ostyakova A.V. Faktory i napravleniia issledovaniia dinamiki beregov vodokhranilishch [Factors and directions of the study of reservoir banks dynamics]. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Modern Problems of Reservoirs and Their Spillways"*, 28-30 May, Perm, 2013, vol. 1: Water resources management. Hydro- and geodynamic processes; pp. 276-282.
3. Ukhov S.B., Semenov V.V., Znamensky V.V., Ter-Martirosyan Z.G., Chernyshev S.N. Mekhanika gruntov, osnovaniia i fundamenty [Soil mechanics, bases and foundations]. Ed. S.B. Ukhov. Moscow, 1994, 527 p.
4. Korolev M.V., Guterman M.S., Skrylev G.E., Sazhin D.V. Effektivnye metody usileniia fundamentov pri rekonstruktsii zdani i sooruzhenii [Effective methods of reinforcing foundations in the reconstruction of buildings and structures]. *Sbornik trudov Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta "Sovremennye metody inzhenernykh izyskani v stroitel'stve"*, Moscow, 2003, pp. 253-264.

5. Ter-Martirosyan Z.G., Korolev M.V., Konash V.M. Vzaimodeistvie zadavlivayemoy svai s odnorodnymi neodnorodnym osnovaniem s uchetom nelineynykh i reologicheskikh svoystv gruntov [Interaction of a crushed pile with homogeneous non-uniform bases taking into account non-linear and rheological properties of soils]. *Vestnik MGSU*, 2008, no. 2, pp. 63-80.
6. Ustanovki dlia staticheskogo vdavlivaniia svai [Installations for static pile pressing], available at: <http://anler-group.ru/staticheskoe-vdavlivanie-svai> (accessed 31 March 2017).
7. Konash V.M., Korolev M.V. Sposob usileniia fundamenta zdaniia [The way to strengthen the foundation of the building]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2352722 (2009).
8. Yakovlev E.N., Efremenko V.M., Konash V.M., Korolev M.V. Tekhnologiya usileniia fundamentov i ustroystva ogradzheniia kotlovanov pogruzheniem svai staticheskoi nagruzkoi [Technology of reinforcing foundations and devices for protecting pits from piling with static loads]. *Proceedings of International Conference*, 8-12 September, Saint Petersburg, 1998, pp. 380.
9. Efremova V.E. Usilenie fundamenta gostinichnogo kompleksa v gorode Rybinske vdavlivayemyi svaiami [Strengthening the foundation of the hotel complex in the city of Rybinsk with piles]. *European studies*, 2016, no. 4 (15), pp. 62-64.
10. Chuniuk D.Yu., Kurilin N.O. Otsenka effektivnosti raboty sostavlyaiushchikh kombinirovannogo svaino-plitnogo fundamenta [Evaluation of the efficiency of components of the combined pile-plate foundation]. *Scientific review*, 2016, no. 16, pp. 6-10.
11. Chuniuk D.Yu., Kurilin N.O. Vozmozhnye metody rascheta kombinirovannykh svaino-plitnykh fundamentov [Possible methods for calculating combined pile-plate foundations]. *Scientific review*, 2016, no. 18, pp. 6-10.
12. Vlasov A.N., Volkov-Bogorodsky D.B., Znamensky V.V., Mnushkin M.G. Chislennoe modelirovanie stroitel'stva zdaniy s fundamentami glubokogo zalo-zheniia v usloviakh plotnoi gorodskoi zastroyki [Numerical modeling of construction of buildings with deep foundations in conditions of dense urban development]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 2, pp. 170-179.
13. Meshcheryakov G.N., Doubrovsky M.P. Conceptual techniques for full-scale physical modeling of pressed-in pile behavior. *Proceedings of the 7th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics*, 2010, pp. 817-822.
14. Ter-Martirosyan Z.G., Pronozin Ya.A., Stepanov M.A. Feasibility of pile-shell foundations with prestressed soil beds. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2012, pp. 1-5.
15. Korolev M.V., Cherkasova L.I., Ostiakova A.V. Osobennosti obsledovaniia i vosstanovleniia zdaniy pravoslavnykh khramov [Features of inspection and restoration of buildings of Orthodox churches]. Moscow, *Moskovskii gosudarstvennyi stroitelnyi universitet*, 2016, 201 p.