Технологические схемы устройства забивной сваи в перфорированной трубе-оболочке

В.А. Ковалев

Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова — институт ОАО «НИЦ «Строительство» (НИИОСП им. Н.М. Герсеванова); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Забивные сваи в пробитых скважинах являются новым направлением в свайном фундаментастроении. Дальнейшие исследования и разработки посвящены совершенствованию конструктивных и технологических схем устройства этих свай с целью увеличения несущей способности главным образом по их боковой поверхности преимущественно в слабых глинистых грунтах.

Материалы и методы. Изучены варианты конструктивных и технологических схем устройства забивных свай в пробитых (продавленных) скважинах в различных грунтовых условиях с учетом действующих нормативных документов и выполненных ранее разработок по увеличению несущей способности набивных свай в пробитых (продавленных) скважинах.

Результаты. Основные технологические операции устройства забивных свай в рассматриваемых грунтовых условиях включают: пробивку (продавливание) скважины обсадной трубой с теряемым башмаком-пробойником до несущего слоя грунта; образование в несущем слое грунта скважины (полости) путем погружения в него башмака-пробойника; установку в башмак-пробойник башмака-уширителя и формирование над ним уширенного основания из жесткого грунтового материала; погружение снаружи обсадной трубы трубы-оболочки с отверстиями; заполнение обсадной трубы жестким и сыпучим грунтовым материалом; извлечение обсадной трубы и забивку (погружение) в заполненную сыпучим грунтовым материалом трубу-оболочку сборной железобетонной сваи с одновременным образованием дополнительных локальных уширений и возможных уплотненных зон грунта на участках отверстий по внешнему контуру трубы-оболочки.

Выводы. Предлагаемые конструктивные и технологические схемы устройства забивных свай в пробитых (продавленных) скважинах позволяют существенно расширить область их применения по грунтовым условиям, повысить несущую способность свай по боковой поверхности и надежность возведения рассматриваемых видов фундаментов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пробитая (продавленная) скважина, обсадная труба с теряемым башмаком-пробойником, башмак-уширитель, уширенное основание из жесткого грунтового материала, труба-оболочка с отверстиями, забивная железобетонная свая

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ковалев В.А. Технологические схемы устройства забивной сваи в перфорированной трубе-оболочке // Строительство: наука и образование. 2019. Т. 9. Вып. 4. Ст. 2. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.4.2

Process diagrams of the driving pile construction in the perforated pipe casing

Vladimir A. Kovalev

Gersevanov Research Institute of Bases and Underground Structures (NIIOSP); Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Driving piles in drilled wells are a new trend in pile foundation engineering. Further research and development are devoted to the improvement of structural and process diagrams of these piles in order to increase the bearing capacity mainly on their side surface, mainly in weak clay soils.

Materials and Methods. The options of flow and process diagrams of driving piles in perforated (penetrated) wells in various soil conditions are studied taking into account the existing regulatory documents and earlier developments on increasing the bearing capacity of driving piles in perforated (penetrated) wells.

Results. The main process operations of the driving piles installation in the soil conditions under consideration include perforation (penetration) of the well with a casing with a loose puncher shoe to the base layer of the soil; formation of a well (cavity) in the base layer of the well by means of immersion of the puncher shoe; installation of a shoe reamer in the puncher shoe and formation of a spread foundation made of hard soil material above; immersion of a casing pipe with holes outside the pipe casing; filling of the casing with hard and bulk soil material; removal of the casing and driving (immersion) into the

pipe casing of the precast concrete pile filled with bulk soil material with simultaneous formation of additional local broadening and possible compacted soil zones on the sections of holes along the outer contour of the pipe casing.

Conclusions. The proposed structural and process diagrams of driving piles in perforated (penetrated) wells allow to significantly expand the scope of their application in terms of soil conditions, increase the side surface bearing capacity of piles and reliability of the construction of the types of foundations under consideration.

KEYWORDS: perforated (penetrated) well, casing with lost shoe puncher, shoe reamer, broadened base made of hard gravel and sludge, pipe casing with holes, reinforced concrete pile

FOR CITATION: Kovalev V.A. Process diagrams of the driving pile construction in the perforated pipe casing. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2019; 9(4):2. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.4.2 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

В статье описываются варианты технологических схем устройства забивных свай с уширенным основанием из втрамбованного (уплотненного) жесткого грунтового материала с возможной их интерпретацией и учетом конкретных грунтовых условий. В частности, рассматриваются варианты устройства забивных свай в пробитых (продавленных) скважинах преимущественно в слабых глинистых, влажных (переувлажненных) и водонасыщенных, частично заторфованных (заиленных), а также насыпных и т.п. грунтах, которые подстилаются несущим слоем грунта с необходимыми физико-механическими характеристиками.

В разработанных нормативных документах (Руководство по проектированию свайных фундаментов¹, СП 50-102-2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов², СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты³, СТО 36554501-018-2009. Проектирование и устройство свайных фундаментов и упрочненных оснований из набивных свай в пробитых скважинах⁴ и др.), опубликованных ранее работах [1–12] и других литературных источниках устройство свайных фундаментов в указанных выше грунтовых условиях, связанных с пробивкой или продавливанием скважин, предлагается осуществлять под защитой обсадных труб. Это не всегда обеспечивает исключение проникновения воды в них в процессе образования скважины, формирования уширенного

основания, отсыпки грунтового материала (или заливки бетона при устройстве набивных, буровых и т.п. свай), а также после извлечения обсадной трубы, что в конечном итоге снижает несущую способность свай по ее боковой поверхности за счет снижения сил трения и сцепления с грунтом отсыпки или окружающим грунтом природного сложения, особенно при наличии высокого уровня подземных вод и в конечном итоге снижает качество.

Важно отметить, что устройство набивных и в последнее время забивных свай в пробитых (продавленных) скважинах заняло достойное место в ряду наиболее прогрессивных, весьма перспективных и конкурентоспособных типов и конструкций фундаментов глубокого заложения. Особенно это заметно при фактически новом направлении устройства забивных свай в пробитых (продавленных) скважинах, так как они обладают всеми преимуществами применяемых в практике строительного производства забивных и набивных свай. Предлагаемые технологические схемы их устройства вполне возможно для выпускаемой номенклатуры забивных свай выполнять существующим парком машин и механизмов и практически не требуют разработки для них принципиально нового навесного оборудования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В разработанных действующих нормативных документах и опубликованных ранее работах и др. источниках устройство свайных фундаментов в слабых глинистых, влажных, водонасыщенных и т.п. грунтах предлагается осуществлять наряду с другими видами свай, преимущественно из забивных (вдавливаемых) сборных, в том числе составных, железобетонных свай с погружением их концов в подстилающие несущие слои грунта. Устройство свайных фундаментов в пробитых (продавленных) скважинах, несмотря на их в целом ряде случаев несомненное преимущество, применяется только для

¹ Руководство по проектированию свайных фундаментов. М.: Стройиздат, 1980.

² СП 50-102-2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов. М., 2004.

³ СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 (с Опечаткой, с Изменениями № 1, 2, 3). М., 2011.

⁴ СТО 36554501-018-2009. Проектирование и устройство свайных фундаментов и упрочненных оснований из набивных свай в пробитых скважинах. НИЦ «Строительство», 2010.

набивных свай (СТО 36554501-018-2009⁴). Устройство фундаментов из забивных свай в пробитых (продавленных) скважинах в настоящее время носит скорее экспериментальный характер, но и этих результатов исследований достаточно, чтобы оценить их как перспективные и конкурентоспособные [6].

Целью предлагаемых и описанных ниже технических решений является дальнейшее их совершенствование, направленное главным образом на увеличение несущей способности забивных и набивных свай в пробитых (продавленных) скважинах и расширение области их применения по грунтовым условиям.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Поставленная цель достигается путем выполнения следующих основных технологических операций с возможной их интерпретацией по вариантам, изображенным на рис. 1 и 2.

По первому варианту технологические операции выполняют преимущественно в маловлажных грунтах, когда при пробивке (продавливании) скважины, формировании скважины-полости и уширенного основания из втрамбованного жесткого грунтового материала (обычно щебня) образуется уплотненная зона грунта по всему контуру скважины и обеспечивается устойчивость ее стенки от обрушения. Операции осуществляют в следующей последовательности (рис. 1):

- погружают копровой или вдавливающей установкой обсадную инвентарную, в том числе толстостенную, трубу 1 в грунт основания вместе с теряемым башмаком-пробойником 2 в ее нижней части, торец которой вставляют в верхнюю полость башмака-пробойника 2, как показано на рис. 1 и узле «А», (или снабженного ободом-ограничителем от смещения трубы 1 при ее погружении в горизонтальной плоскости в его верхней части) на заданную (расчетную) глубину в несущий слой грунта с образованием скважины 3 и уплотненной зоны 4 (рис. 1, а);

- погружают башмак-пробойник 2 штангой-трубой 5 со сменным наконечником, торец которого вставляют во внутреннюю полость башмака-пробойника 2, на необходимую глубину (обычно не более 2–2,5 диаметра — размера в поперечном сечении скважины) с образованием скважины-полости 6 при фиксированном положении обсадной трубы 1 в ее верхней части (рис. 1, б);

- извлекают из обсадной трубы 1 штангу-трубу 5, устанавливают во внутреннюю полость башмака-пробойника 2 башмак-уширитель 7, отсыпают послойно над ним жесткий грунтовой материал 8 (обычно щебень или жесткий бетон) и формируют торцом сменного наконечника штанги-трубы 5 (на рис. 1, с условно не показана) уширенное основание 9 из втрамбованного жесткого грунтового материала

с образованием дополнительной уплотненной зоны грунта 4, после чего над сформированным уширенным основанием 8 отсыпают сыпучий грунтовой материал 10 (отсев щебня, гравийно-песчаная смесь, экологически чистые отходы промышленных производств, близкие по гранулометрическому составу песчаным и т.п. грунтам) или при соответствующем обосновании местный глинистый грунт с влажностью, близкой к оптимальной (см. рис. 1, с);

- устанавливают (погружают) в существующий зазор между стенками скважины 3 и обсадной трубой 1 трубу-оболочку 11 с перфорационными (разгрузочными) отверстиями-окнами, расположенными в шахматном порядке, как это показано на рис. 1, d, соосно относительно вертикальной оси или иным образом по ее периметру и всей высоте с возможным частичным погружением ее торца в уширенное основание (обычно не более 10–15 см), после чего извлекают обсадную трубу 1 (в том числе с приложением к ней вибрации) с заполнением внутренней полости трубы-оболочки 11 грунтом отсыпки из сыпучего грунтового материала 10 и погружают (забивают) в засыпанную полость трубы-оболочки 11 сборную железобетонную сваю 12 с окончательным формированием в нижней части уширенного основания из жесткого грунтового материала 9 и уплотненной зоны 4, локальных уширений 13 из сыпучего грунтового материала по наружной боковой поверхности трубы-оболочки 11 и возможной уплотненной зоны повышенных размеров 4 по всему ее наружному контуру в грунте природного сложения (см. рис. 1, d). На изображенном сечении 1–1 рис. 1, d возможная уплотненная зона грунта природного сложения условно не показана.

Представленная выше технологическая схема при соответствующем обосновании может быть реализована и существенно упрощена без применения штанги-трубы для образования скважины-полости, а формирование уширенного основания в нижней части и локальных уширений по боковой поверхности трубы-оболочки может быть осуществлено только торцом забиваемой (погружаемой) сваи в грунтовой материал отсыпки, в том числе в сочетании с дополнительными мероприятиями при использовании обсадной трубы с самораскрывающимся наконечником по аналогии с работой [11].

По второму варианту технологические операции выполняют преимущественно в слабых глинистых, влажных (переувлажненных) и водонасыщенных грунтах, когда при пробивке (продавливании) скважины практически полностью отсутствует уплотненная зона грунта по всему ее контуру в пределах слоя залегания указанных грунтов и происходит вначале оплывание стенки скважины, а затем смыкание ее со стенкой обсадной трубы в процессе погружения в грунт основания. Операции осуществляют в следующей последовательности, изображенной на рис. 2:

Рис. 1. Технологическая схема устройства сваи по первому варианту: *a* — пробивка (продавливание) обсадной инвентарной обсадной трубой с башмаком-пробойником скважины на расчетную глубину с образованием уплотненной зоны грунта; *b* — установка в обсадную трубу в полость башмака-пробойника торца съемного наконечника штанги-трубы и формирование скважины-полости; *c* — установка в полость башмака-пробойника башмака-уширителя, формирование над башмаком-уширителем уширенного основания из втрамбованного торцом съемного наконечника штанги-трубы жесткого грунтового материала с отсыпкой над ним сыпучего грунтового материала; *d* — установка (погружение) снаружи обсадной трубы трубы-оболочки с разгрузочными (перфорационными) отверстиями-окнами, погружением ее торца в уширенное основание, извлечение обсадной трубы и забивка в трубу-оболочку сваи с погружением ее конца в уширенное основание с окончательным его формированием и уплотненной зоны с одновременным образованием локальных уширений в окружающем грунте природного сложения по боковой наружной поверхности трубы-оболочки; 1 — инвентарная обсадная труба; 2 — башмак-пробойник; 3 — пробитая скважина; 4 — уплотненная зона грунта; 5 — штанга-труба; 6 — скважина-полость; 7 — башмак-уширитель; 8 — жесткий грунтовой материал; 9 — уширенное основание; 10 — сыпучий грунтовой материал; 11 — труба-оболочка с отверстиями; 12 — забивная свая; 13 — локальные уширения по боковой поверхности трубы-оболочки

Рис. 2. Технологическая схема устройства сваи по второму варианту: *a* — пробивка (продавливание) обсадной инвентарной обсадной трубой с башмаком-пробойником скважины на расчетную глубину — до подстилающего несущего слоя грунта с образованием в нем уплотненной зоны; *b* — установка в обсадную трубу в полость башмака-пробойника торца съемного наконечника штанги-трубы и формирование скважины-полости; *c* — установка в полость башмака-пробойника башмака-уширителя, формирование над башмаком-уширителем уширенного основания из втрамбованного торцом съемного наконечника штанги-трубы жесткого грунтового материала с отсыпкой над ним сыпучего грунтового материала и погружением снаружи обсадной трубы трубы-оболочки с отверстиями и погружением ее торца в уширенное основание; *d* — извлечение обсадной трубы и забивка в трубу-оболочку сваи с погружением ее конца в уширенное основание с окончательным его формированием и уплотненной зоны в несущем слое грунта с одновременным образованием локальных уширений в окружающем грунте природного сложения по боковой наружной поверхности трубы-оболочки; 1 — инвентарная обсадная труба; 2 — башмак-пробойник; 3 — верхняя кромка несущего слоя грунта; 4 — пробитая скважина; 5 — уплотненная зона в несущем слое грунта; 6 — штанга-труба; 7 — скважина-полость; 8 — башмак-уширитель; 9 — жесткий грунтовый материал; 10 — уширенное основание; 11 — сыпучий грунтовый материал; 12 — труба-оболочка с отверстиями; 13 — забивная свая; 14 — локальные уширения по боковой поверхности трубы-оболочки

- погружают копровой или вдавливающей установкой обсадную инвентарную трубу 1 в грунт основания вместе с теряемым башмаком-пробойником 2, торец которой вставлен в верхнюю полость башмака-пробойника 2, как показано на рис. 2, а на заданную (расчетную) глубину с частичным погружением его в несущий слой подстилающего грунта 3 и образованием скважины 4 без уплотненной зоны в ее верхней части и уплотненной зоны 5 в несущем слое грунта 3 (см. рис. 2, а);

- погружают башмак-пробойник 2 штангой-трубой 6 со сменным наконечником, торец которого вставляют во внутреннюю полость башмака-пробойника 2, на необходимую глубину (обычно не более 2–2,5 диаметра — размера в поперечном сечении скважины-обсадной трубы) с образованием скважины-полости 7 и уплотненной зоны 5 в несущем слое грунта 3 при фиксированном положении обсадной трубы 1 в ее верхней части (рис. 2, б), т.е. по аналогии с первым вариантом. Применение штанги-трубы как по первому, так и в рассматриваемом варианте для устройства скважины-полости и в дальнейшем для формирования уширенного основания из жесткого грунтового материала объясняется тем, что подстилающий несущий слой природного сложения обладает зачастую повышенными значениями прочностных характеристик, когда его образование обсадной трубой связано с большими энергетическими затратами, в том числе с использованием составного башмака-пробойника [11, 12];

- устанавливают во внутреннюю полость башмака-пробойника 2 башмак-уширитель 8, отсыпают над ним жесткий грунтовой материал 9 (щебень, жесткая бетонная смесь и т.п.) на высоту предполагаемого расчетного уширенного основания (обычно до верхней кромки несущего слоя грунта 3), после чего формируют торцом сменного наконечника штанги-трубы 6 (на рис. 1, с не показано) уширенное основание 10 из втрамбованного жесткого грунтового материала 9 с образованием дополнительной уплотненной зоны в несущем слое грунта 3, затем над сформированным уширенным основанием 10 отсыпают сыпучий грунтовой материал 11 (отсев щебня, гравийно-песчаная смесь, экологически чистые отходы промышленных производств, близкие по гранулометрическому составу песчаным грунтам и т.п.) или при соответствующем обосновании местный глинистый грунт с влажностью, близкой к оптимальной (см. рис. 1, с), как и в первом варианте;

- погружают с внешней стороны обсадной трубы 1 на возможно минимальном расстоянии от ее стенки трубу-оболочку 12 с перфорационными (разгрузочными) отверстиями-окнами, расположенными в шахматном порядке, как это показано на рис. 2, д, соосно относительно вертикальной оси или иным образом по ее периметру и всей высоте с возможным частичным погружением ее торца в уширенное основание (обычно не более 10–15 см), после чего

извлекают обсадную трубу 1 (в том числе с приложением к ней вибрации) с одновременным заполнением внутренней полости трубы-оболочки 12 грунтом отсыпки из сыпучего грунтового материала 11 и погружают (забивают) в засыпанную полость трубы-оболочки 12 сборную железобетонную сваю 13 с окончательным формированием в нижней части уширенного основания из жесткого грунтового материала 10 и уплотненной зоны 5, локальных уширений 14 из сыпучего грунтового материала по наружной боковой поверхности трубы-оболочки 12 в грунте природного сложения (см. рис. 1, д).

В случае необходимости увеличения несущей способности свай с не извлекаемой трубой-оболочкой по обоим вариантам осуществляют, например, путем предварительного погружения (в том числе повторного) в отсыпанный сыпучий материал трубы-оболочки обсадной трубы с самораскрывающимся наконечником, заполнением ее аналогичным материалом и извлечением.

Углы заострения башмака-пробойника, башмака-уширителя и съемного наконечника штанги-трубы назначают из обеспечения наиболее оптимальных условий погружения башмака-пробойника в грунт основания и формирования уширенного основания из жесткого грунтового материала и, как правило, устанавливаются экспериментальным путем или на основе аналогичных исследований в практически сходных инженерно-геологических и др. условиях. В частности, из анализа материалов многочисленных экспериментальных исследований устройства фундаментов в вытрамбованных котлованах и пробивки скважин под набивные сваи углы заострения башмака-пробойника в зависимости от грунтовых условий ориентировочно составляют 30–60°, башмака-уширителя — 60–90°, съемного наконечника — 120–180° или, как было отмечено выше, устанавливаются опытным путем. Башмаки изготавливают чугунными, стальными, бетонными, железобетонными или в их комбинации облегченного типа, а также из прочных композиционных материалов.

Трубы-оболочки с перфорационными отверстиями изготавливают из полимерных и т.п. материалов, а также металла, железобетона, асбестоцемента и др., в том числе из б/у, усиленных в случае необходимости, например, стальными бандажами. Кроме того, трубу-оболочку при соответствующем обосновании можно изготавливать из б/у металлических бочек, сваренных (соединенных) между собой торцами без крышек и днища, например, из 200–216 л диаметром около 60 см, высотой примерно 90 см с антикоррозийным покрытием и герметизацией стыков и других металлических изделий, используемых ранее в строительном производстве в качестве опалубки для формирования оголовков буронабивных и т.п. свай из литого бетона, а также бочек, баков, емкостей, бункеров и т.п. изделий из б/у полимерных материалов (пластик, полиэти-

лен, полиуретан и т.п.) [11, 12]. Применение указанных выше изделий для устройства труб-оболочек способствует их утилизации.

Если минимальный диаметр трубы-оболочки с учетом разгрузочных (перфорационных) отверстий и допустимых отклонений при погружении сваи принимают равным 1,5–2 диаметра (размера в поперечном сечении) забивной или вдавливаемой сваи, т.е. в случае использования призматической сваи 30×30 см (С30), то внутренний диаметр трубы-оболочки принимают равным не менее 50–65 см или устанавливают опытным путем в зависимости от вида материала засыпки.

Оптимальные параметры количества, размеров, расположения перфорационных (разгрузочных) отверстий и других показателей в стенке трубы-оболочки назначают с учетом многофакторности влияния (физико-механические характеристики материала засыпки и окружающих грунтов природного сложения, углы заострения торца погружаемой сваи и т.п.) на основании результатов экспериментальных исследований. В частности, минимальный диаметр (размер в поперечном сечении) разгрузочных отверстий, изображенных на рис. 1 и 2, ориентировочно может быть принят равным 0,25–0,3 диаметра — размера трубы-оболочки.

При наличии в основании в верхней его части водонасыщенных (обводненных) слабых биогенных грунтов с модулем деформации $E \leq 5$ МПа в качестве трубы-оболочки используют б/у обсадные трубы или сварные бочки, емкости и т.п. преимущественно из полимерных материалов без устройства в них разгрузочных (перфорационных) отверстий-окон по аналогии с техническими решениями, изложенными в работах [8, 10–12].

Помимо упомянутых выше вариантов при соответствующем обосновании с учетом грунтовых условий возможны следующие упрощенные варианты устройства забивных свай в перфорированных оболочках, изложенные ниже.

По одному из вариантов основные технологические операции осуществляют в следующей последовательности:

- погружают в грунт основания обсадную трубу с теряемым башмаком-пробойником на заданную глубину, в том числе с образованием возможной уплотненной зоны в окружающем грунте природного сложения;
- устанавливают в полость башмака-пробойника башмак-уширитель;
- отсыпают над башмаком-уширителем последовательно жесткий и сыпучий грунтовый материалы;
- погружают с наружной стороны обсадной трубы трубу-оболочку с отверстиями до несущего слоя грунта природного сложения;
- извлекают обсадную трубу с одновременным заполнением грунтом засыпки трубы-оболочки с отверстиями;

- забивают (погружают) в грунт засыпки трубы-оболочки сборную железобетонную сваю с одновременным формированием уширенного основания под торцом сваи из жесткого и локальных уширений из сыпучего грунтового материала по боковой поверхности трубы-оболочки в окружающем грунте природного сложения на участках расположения отверстий.

В рассматриваемом случае исключаются технологические операции по формированию уширенного основания в описанных выше вариантах трубой-штангой, т.е. частично используются технические решения, рассмотренные в трудах [7, 9].

Кроме того, в некоторых случаях возможен вариант устройства забивных свай в перфорированных оболочках с использованием их в качестве пробивки (продавливания) скважин, осуществляемый в следующей технологической последовательности:

- забивают (погружают) в грунт основания на заданную глубину (до несущего слоя) трубу-оболочку с отверстиями по всей ее длине с закрытым нижним концом, например, в виде защитного кожуха или башмака-пробойника диаметром (размером в поперечном сечении) равным или в зависимости от физико-механических характеристик больше диаметра (размера в поперечном сечении) трубы-оболочки с возможным образованием по всему контуру трубы-оболочки уплотненной зоны грунта природного сложения;
- засыпают трубу-оболочку с отверстиями жестким или сыпучим грунтовым материалом по всей ее длине;
- погружают в засыпанную трубу-оболочку железобетонную сваю заводской готовности до состояния отказа на предельно возможную глубину с одновременным образованием по всей боковой поверхности трубы-оболочки локальных уширений в зоне расположения отверстий и возможным увеличением зоны уплотнения, в том числе под ее торцом, т.е. частично реализуется способ устройства «свая в свае».

В случае использования обсадных труб с отверстиями из полимерных или других относительно низкопрочных материалов, их торцы оборудуют жесткозакрепленными башмаками-пробойниками из прочных, в том числе композитных материалов, а забивку-погружение в грунт основания осуществляют инвентарными или железобетонными сваями, торцы которых вставляют во внутреннюю полость башмаков-пробойников с последующим формированием локальных уширений по наружной боковой поверхности трубы с отверстиями из засыпанного в нее сыпучего или жесткого грунтового материала забиваемой (погружаемой) свай.

Также возможны и другие варианты устройства забивных свай в перфорированных трубах-оболочках.

Что касается определения несущей способности и осадок предлагаемых конструкций и технологических схем рассматриваемых вариантов свайных фундаментов, то они устанавливаются по аналогии с приведенными в СТО 36554501-018-20⁴ расчетами с учетом пояснений, изложенных в работе [5], и последующих уточнений дополнительных расчетных параметров при выполнении обязательных экспериментальных исследований в полевых условиях.

ВЫВОДЫ

Таким образом, предлагаемые конструктивные и технологические схемы устройства свайных фундаментов позволяют существенно расширить область их применения по грунтовым условиям, повысить несущую способность, надежность возведения и являются дальнейшим продолжением ра-

бот по совершенствованию устройства фундаментов в уплотненном грунте, в том числе забивных свай в пробитых скважинах с уширенным основанием из жесткого грунтового материала, но в тоже время, как отмечалось выше, требуют проведения дополнительных экспериментальных исследований в части уточнения расчетных схем по определению несущей способности, осадок и других параметров при возведении рассматриваемых типов фундаментов.

Кроме того, изложенные технические решения устройства забивных свай при соответствующем технико-экономическом обосновании могут быть полностью или частично с некоторой интерпретацией использованы и при устройстве полых забивных свай с теряемым башмаком-пробойником [13–16], а также набивных свай в пробитых (продавленных) скважинах [4, 5, 8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Крутов В.И., Ковалев В.А., Ковалев А.С. Совершенствование технологий устройства забивных свай в пробитых скважинах // Механизация строительства. 2015. № 5 (851). С. 14–17.
2. Пат. РФ 2582530, МПК E02D 5/00. Устройство забивной сваи в пробитой скважине с уширенным основанием / В.И. Крутов, А.С. Ковалев, В.А. Ковалев ; патентообл. А.С. Ковалев. Заявл. № 2014117507/03, 30.04.2014 ; опубл. 27.04.2016. Бюл. № 12.
3. Пат. РФ 2601630, МПК E02D 5/00. Способ устройства забивной сваи / В.И. Крутов, А.С. Ковалев, В.А. Ковалев ; патентообл. А.С. Ковалев. Заявл. № 2014141785/03, 16.10.2014 ; опубл. 10.05.2016. Бюл. № 13.
4. Крутов В.И., Ковалев А.С., Ковалев В.А. Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадочных грунтах. М. : Изд-во АСВ, 2016. 544 с.
5. Крутов В.И., Ковалев А.С., Ковалев В.А. Основания и фундаменты на насыпных грунтах. М. : Изд-во АСВ, 2016. 470 с.
6. Крутов В.И., Когай В.К., Когай В.А., Пономарев Р.Ю. Исследование вдавливаемых железобетонных свай с уширенным основанием // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 10. С. 42–45.
7. Ковалев В.А., Ковалев А.С. Технологические схемы устройства забивных свай в пробитых скважинах // Строительство: наука и образование. 2017. Т. 7. № 1 (22). С. 2. DOI: 10.22227/2305-5502.2017.1.2
8. Ковалев В.А., Ковалев А.С. Разработка технических решений устройства фундаментов в уплотненном грунте // Строительство: наука и образование. 2017. Т. 7. № 2 (23). С. 1. DOI: 10.22227/2305-5502.2017.2.1
9. Патент РФ 2634912, МПК E02D 5/44. Способ устройства забивной сваи в пробитой скважине в слабых водонасыщенных грунтах (варианты) / В.И. Крутов, А.С. Ковалев, В.А. Ковалев; патентообл. В.И. Крутов, А.С. Ковалев, В.А. Ковалев. Заявл. № 2016128786 14.07.2016; опубл. 08.11.2017. Бюл. № 31.
10. Пат. РФ 2640467, МПК E02D 5/60. Способ устройства забивной сваи / В.И. Крутов, А.С. Ковалев, В.А. Ковалев ; патентообл. А.С. Ковалев. Заявл. № 2017112077, 10.04.2017 ; опубл. 09.01.2018. Бюл. № 1.
11. Ковалев В.А., Ковалев А.С. Устройство забивной сваи в пробитой скважине с уширенным основанием // Жилищное строительство. 2018. № 9. С. 42–47.
12. Пат. РФ 2678172, МПК E 02 D 5/44. Способ устройства забивной сваи в пробитой скважине с уширенным основанием / В.И. Крутов, А.С. Ковалев, В.А. Ковалев ; патентообл. А.С. Ковалев. Заявл. № 2018106680, 22.02.2018 ; опубл. 23.01.2019. Бюл. № 3.
13. Ковалев В.А., Ковалев А.С. Устройство круглой полый сваи с уширенным основанием // Жилищное строительство. 2018. № 1–2. С. 66.
14. Пат. РФ 2685719, МПК E02D 5/44. Способ устройства забивной полый сваи с уширенным основанием / В.А. Ковалев, А.С. Ковалев ; патентообл. А.С. Ковалев. Заявл. № 2018130127, 20.08.2018 ; опубл. 23.04.2019. Бюл. № 12.
15. Ковалев В.А., Ковалев А.С. Устройство комбинированных свай в пробитых скважинах // Механизация строительства. 2018. Т. 79. № 5–6. С. 46–54.
16. Ковалев В.А. К вопросу об устройстве забивных свай в пробитых скважинах // Вестник НИЦ «Строительство». 2019. № 1 (20). С. 46–57.

Поступила в редакцию 1 сентября 2019 г.

Принята в доработанном виде 15 ноября 2019 г.

Одобрена для публикации 26 ноября 2019 г.

ОБ АВТОРЕ: **Владимир Александрович Ковалев** — кандидат технических наук, заведующий лабораторией естественных оснований и конструкций; **Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова** — институт ОАО «НИИЦ «Строительство» (НИИОСП им. Н.М. Герсеванова); 109428, г. Москва, Рязанский пр-т, д. 59; vladimir@olimpromekt.ru.

INTRODUCTION

The options of structural diagrams of the arrangement of driving piles with the expanded base from the driven (compacted) hard soil material with its possible interpretation and taking into account specific soil conditions are described. In particular, options of the arrangement of driving piles in the perforated (penetrated) wells mainly in weak clay, damp (hyperhumid) and water-saturated, partially peaty (silted), and also fill-up grounds which are underlain by a bearing layer of soil with necessary physical and mechanical characteristics are considered.

In the developed regulatory documents (Pile foundations design manual⁵, SP (Rules and Regulations) 50-102-2003. Design and construction of pile foundations⁶, SP 24.13330.2011. Pile foundations⁷, STO (Industry Standard) 36554501-018-2009. Design and construction of pile foundations and hardened foundations made of cast-in-situ piles in perforated wells⁸ and others), published earlier in papers [1-12] and other literature sources, the construction of pile foundations in the above soil conditions associated with perforation or penetration of wells is proposed to be carried out under the protection of casing pipes. This does not always ensure the exclusion of water penetration during the formation of the well, the formation of a spread foundation, filling with soil material (or pouring of concrete during the installation of cast-in-situ, boring, etc. piles), as well as after the removal of the casing, which eventually reduces the side surface bearing capacity of the pile by reducing friction and adhesion to the dumping natural surrounding soil, especially in the presence of high levels of groundwater and ultimately reduces the quality.

⁵ Pile foundations design manual. Moscow, Stroyizdat publ., 1980.

⁶ SP (Rules and Regulations) 50-102-2003. Design and construction of pile foundations. Moscow, 2004.

⁷ SP 24.13330.2011 Pile foundations. Revised edition SNiP (construction rules and regulations) 2.02.03-85 (with Misprint, with Amendments No. 1, 2, 3). Moscow, 2011.

⁸ STO (Industry Standard) 36554501-018-2009. Design and construction of piles of pile foundations and reinforced bases made of cast-in-situ piles in perforated wells. "Stroitelstvo" Research and Development Center, 2010.

The construction of cast-in-situ and recently driving piles in perforated (punctured) wells ranked high in a number of progressive, perspective and competitive types and designs of deep foundations. It is most noticeable at actually new direction of the construction of driving piles in the perforated (penetrated) wells as they possess all advantages applied in practice of manufacturing driving and cast-in-situ piles. The proposed flow diagrams of their construction are quite possible for the manufactured range of driving piles to perform the existing fleet of machines and mechanisms and practically do not require development of completely new attachments.

MATERIALS AND METHODS

In the developed effective regulatory documents and papers published earlier and other sources the construction of pile foundations in weak clay, damp, water-saturated, etc. soils is offered to carry out along with other kinds of piles, mainly from driving (jacked) precast, including sectional, reinforced concrete piles with immersion of their ends in base layers of soil. Construction of pile foundations in perforated (penetrated) wells, despite their undoubted advantage in a number of cases, is used only for cast-in-situ piles (STO 36554501-018-2009⁴). The construction of foundations made of driving piles in perforated (punctured) wells is now more of an experimental nature, but these research results are enough to evaluate them as promising and competitive [6].

The purpose of the proposed and described below engineering solutions is further improvement, mainly aimed at increasing the bearing capacity of driving and cast-in-situ piles in perforated (punctured) wells and expanding their application area depending on the soil conditions.

RESEARCH RESULTS

The objective is achieved by performing the following main process operations with possible interpretation according to the options shown in Figures 1 and 2.

Option one process operations are carried out mainly in slightly wet soils, when perforating (puncturing) the well, formation of the well-cavity and the

spread foundation from the driven hard soil material (usually crushed stone) forms a compacted zone of the soil along the entire contour of the well and provides stability of its wall from collapse. The operations are carried out in the following sequence (Fig. 1):

- immersion of casing using pile driver or press, including a thick-walled pipe 1 into the foundation soil together with the loose puncher shoe 2 in its lower part, the end of which is inserted into the upper cavity of the puncher shoe 2, as shown in Fig. 1 and the unit "A" (or equipped with a rim-barrier from the displacement of the pipe 1 when it is immersed in a horizontal plane in its upper part) at a given (design) depth in the base layer of soil with the formation of well 3 and compacted zone 4 (Fig. 1, a);
- immerse the puncher shoe by 2 bar-pipe 5 with a replaceable tip, the end of which is inserted into the inner cavity of the puncher shoe 2, at the required depth (usually not more than 2–2.5 diameters — the size in the cross-section of the well) to form a well-cavity 6 with a fixed position of the casing 1 in its upper part (Fig. 1, b);
- remove from the casing pipe 1 bar-pipe 5, install in the internal cavity of the puncher shoe 2 reamer shoe 7, dump in layers hard soil material 8 (usually crushed stone or hard concrete) and form by the end of a replaceable tip of the bar-pipe 5 (Fig. 1, c conditionally it is not shown) spread foundation 9 of compacted hard soil material with formation of the additional compacted zone of a soil 4 then over the generated spread foundation 8 fill up bulk ground material 10 (screening of crushed stone, gravel and sand mixture, environmentally friendly industrial waste, similar in granulometric composition to sandy soils, etc.) or, with appropriate justification, local clay soil with humidity close to the optimal one (see Fig. 1, c);
- install (immerse) in the existing gap between the walls of well 3 and the casing pipe 1 pipe casing 11 with discharge (perforation) holes-windows, located in a staggered order, as shown in Fig. 1, d, in axial alignment in relation to the vertical axis or otherwise along its perimeter and the entire height with the possible partial immersion of its end into the spread foundation (usually not more than 10–15 cm), after that, the casing pipe 1 is removed (including with the application of vibrations) with filling the internal cavity of the pipe casing 11 backfilling soil from the bulk soil material 10 and immersed (driven) in the backfilled cavity of the casing pipe 11 precast concrete pile 12 with the final formation in the lower part of the spread foundation from the hard soil material 9 and compacted zone 4, local broadening of 13 of bulk soil material on the outer side surface of the pipe casing 11 and possible compacted zone of increased dimensions 4 on the whole of its outer contour in the natural soil (see Fig. 1, d). On the represented section 1-1 Fig. 1, d the possible compacted zone of natural soil is not shown conditionally.

The above process flow can be implemented and significantly simplified without the use of a bar-pipe for the formation of a well-cavity, and the formation of an expanded base at the bottom and local broadening on the side surface of the casing pipe is carried out only by the end of the hammered (submerged) pile into the soil material of back filling, including in combination with additional measures when using a casing pipe with a self-opening tip by analogy with the paper [11].

Option two process operations are carried out mainly in weak clay, damp (hyperhumid) and water-saturated soils, when the perforation (penetration) of the well is almost completely absent compacted zone of the soil along its entire contour within the limits of the layer of occurrence of the specified soils and in the beginning wellbore wall collapses, and then its closure with the wall of the casing pipe in during the immersion in the soil base. The operations are carried out in the following sequence, shown in Fig. 2:

- the inventory casing pipe 1 is submersed by pile driver or press in the foundation soil with the loose puncher shoe 2, the end of which is inserted into the upper cavity of the puncher shoe 2, as shown in Fig. 2, and at a given (design) depth with partial immersion in the base layer of the subsoil 3 and the formation of a well 4 without a compacted zone in its upper part and compacted zone 5 in the base layer of soil 3 (see Fig. 2, a);
- the puncher shoe 2 is submersed by bar-pipe 6 with replaceable tip, the end of which is inserted in the inside cavity of the puncher shoe 2, to the required depth (usually no more than 2–2.5 diameters — of the cross-section size of a casing-well) with formation of cavity well 7 and compacted zone 5 in the base layer of soil 3 with fixed position of casing 1 in its upper part (Fig. 2, b), i.e. by analogy with the first option. The use of a bar-pipe both in the first and in the considered option for the installation of a well-cavity and further for formation of the expanded base from a hard soil material is explained by that natural underlying base layer of possesses frequently raised values of strength characteristics when its formation by a casing pipe is connected with the big power costs, including use of a compound puncher shoe [11, 12];
- install in the internal cavity of the puncher shoe 2 reamer shoe 8, hard soil material is poured over it 9 (crushed stone, hard concrete mixture, etc.) to the height of the alleged design spread foundation (usually up to the upper edge of the base layer of soil 3), and then form the end of the removable tip of the bar-pipe 6 (in Fig. 1, c is not shown) spread foundation 10 of compacted hard soil material 9 with the formation of an additional compacted zone in the base layer of soil 3, then over the formed spread foundation 10 bulk soil material is poured 11 (screening of crushed stone, gravel and sand mixture, environmentally friendly industrial waste, similar to the granulometric composition of sandy soils, etc.) or, with appropriate justification,

Fig. 1. Process flow of the pile arrangement according to the first option: *a* — perforation (penetration) with a inventory casing pipe with a puncher shoe of the well to the design depth with the formation of a compacted zone of soil; *b* — installation in the casing pipe in the cavity of the end of the removable tip of the bar-pipe and the formation of a well-cavity; *c* — installation of a puncher shoe in the cavity of the reamer shoe, formation of a broadened base above the reamer shoe from a removable tip of a bar-pipe embedded in the face of the removable tip of a rod-pipe of a rigid ground material with the dumping of loose ground material above it and immersion outside the casing pipe with holes and immersion of its end in the broadened base; *d* — installation (immersion) of the casing and driving into the casing pipe of the pile with immersion of its end into the broadened base with its final formation and compacted zone in the base layer of the soil with simultaneous formation of local broadening in the natural surrounding soil of the outer surface side of the casing pipe; 1 — inventory casing; 2 — puncher shoe; 3 — top edge of the foundation soil; 4 — driven well; 5 — compacted zone with soil base layer; 6 — well-cavity; 7 — reamer shoe; 8 — hard soil material; 9 — spread foundation; 10 — bulk soil material; 11 — pipe casing with holes; 12 — driving pile; 13 — local broadening on the side of the pipe casing

Fig. 2. Process flow of the pile according to the second option: *a* — perforation (penetration) with a inventory casing pipe with a puncher shoe to the design depth — up to the subsoil base layer with the formation of a compacted zone in it; *b* — installation in the casing pipe in the cavity of the end of the removable tip of the bar-pipe and the formation of a well-cavity; *c* — installation of a puncher shoe in the cavity of the reamer shoe, formation of a broadened base above the reamer shoe from a removable tip of a bar-pipe embedded in the face of the removable tip of a rod-pipe of a rigid ground material with the dumping of loose ground material above it and immersion outside the casing pipe with holes and immersion of its end in the broadened base; *d* — removal of the casing and driving into the casing pipe of the pile with immersion of its end into the broadened base with its final formation and compacted zone in the base layer of the soil with simultaneous formation of local broadening in the natural surrounding soil of the outer surface side of the casing pipe; 1 — inventory casing; 2 — puncher shoe; 3 — top edge of the foundation soil; 4 — driven well; 5 — compacted zone with soil base layer; 6 — bar-pipe; 7 — well-cavity; 8 — reamer shoe; 9 — hard soil material; 10 — spread foundation; 11 — bulk soil material; 12 — pipe casing with holes; 13 — driving pile; 14 — local broadening on the side of the pipe casing

local clay soil with humidity close to the optimal one (see Fig. 1, c), as in the first option;

- immerse the external side of the casing 1 at the minimum possible distance from the wall of the pipe casing 12 with perforation (discharge) holes-windows, arranged in a staggered order, as shown in Fig. 2, d, in axial alignment in relation to the vertical axis or otherwise along its perimeter and the entire height with the possible partial immersion of its end into the spread foundation (usually not more than 10–15 cm), after that, the casing pipe 1 is removed (including with the application of vibrations) with simultaneous filling of the internal cavity of the pipe casing 12 with backfilling soil of bulk soil material 11 and immersed (driven) in the backfilled cavity of the casing pipe casing 12 a precast concrete pile 13 with the final formation in the lower part of the spread foundation made of hard soil material 10 and compacted zone 5, local broadening 14 from bulk soil material on the external side surface of the casing pipe 12 in the natural soil (see Fig. 1, d).

When it is necessary to increase the bearing capacity of a pile with a non-extractable casing pipe in both options, for example, by means of preliminary immersion (including repeated immersion) in the dumped bulk material of the casing pipe with a self-opening tip, filling it with similar material and extraction.

Cutting angles of the puncher shoe, the shoe reamer and the removable tip of the bar-pipe are intended to provide the most optimal conditions for immersion of the puncher shoe in the soil and the formation of an spread foundation of hard soil material, and are usually established by experiment or on the basis of similar research in almost similar engineering and geological, etc. conditions. Thus, based on the analysis of materials of numerous experimental researches of the construction of the foundations in the rammed pits and perforation of wells for cast-in-situ piles, cutting angles of a puncher shoe depending on soil conditions approximately make 30–60°, a shoe reamer — 60–90°, a detachable tip — 120–180° or, as noted above, are established by experience. Shoes are made of cast iron, steel, concrete, reinforced concrete or in their combination of lightweight type, as well as of durable composite materials.

Pipe casings with perforations are made of polymeric and similar materials, as well as metal, reinforced concrete, asbestos cement, etc., including used ones, reinforced if necessary, e.g. with steel bandings. In addition, the pipe casing with the appropriate justification can be made of used metal barrels, welded (connected) to each other ends without lids and bottoms, for example, from 200–216 liter with the diameter of about 60 cm, a height of about 90 cm with anticorrosion coating and sealing joints, etc., of metal products used earlier in the construction industry as formwork for the formation of the tips of bore piles, etc., piles of poured concrete, as well as barrels, tanks, containers, bunkers, etc., products of used polymeric materials (plastic, polyethylene, polyurethane, etc.) [11, 12]. The use of the above

mentioned products for the installation of pipe casings facilitates their disposal.

If the minimum diameter of the pipe casing taking into account the discharge (perforation) holes and tolerances in the process of pile sinking is equal to 1.5–2 diameter (cross-sectional size) of the driving or jacked pile, i.e. in the case of using a prismatic pile 30 × 30 cm (C30), the inside diameter of the pipe casing is equal to at least 50–65 cm or set experimentally depending on the type of backfill material.

Optimal parameters of quantity, dimensions, location of discharge (perforation) holes and other parameters in the pipe casing wall are determined taking into account multifactorial influence (physical and mechanical characteristics of backfill material and surrounding soils of natural composition, angles of sharpening of the end of the sinking pile, etc.) on the basis of the results of experimental studies. In particular, the minimum diameter (cross-sectional size) of the discharge holes shown in Figures 1 and 2 can be roughly assumed to be 0.25–0.3 diameter — the size of the pipe casing.

In the presence of water-saturated (watered) weak biogenic soils with a deformation module $E \leq 5$ MPa in the upper part of the base, used casing pipes or welded barrels, containers, etc., are used as a shell pipe, mainly made of polymeric materials without the installation of discharge (perforation) holes-windows by analogy with the design solutions described in the papers [8, 10–12].

In addition to the options mentioned above, the following simplified options for the construction of driving piles, as described below, are possible, provided that the soil conditions are properly justified and considered.

One of the options is used to carry out the main process operations in the following sequence:

- immersion of the casing pipes with the loose puncher shoe into the foundation soil at a predetermined depth, including the formation of a possible compacted zone in the surrounding natural soil;
- a reamer shoe is installed in the cavity of the puncher shoe;
- hard and loose soil material are dumped over the reamer shoe;
- immersion from the external side of the casing pipe in a perforated pipe casing up to the natural base layer of the soil;
- the casing pipe with simultaneous filling with soil of pipe casing with holes is extracted;
- precast concrete pile is driven (sunk) into the backfilling soil of the casing pipe with simultaneous formation of the expanded base under the end of the pile of hard and local broadening from bulk soil material on the side surface of the casing pipe in the natural surrounding soil in the areas of holes.

In the considered case process operations on formation of the expanded base in the above described options of the bar-pipe are excluded, i.e. the design solutions considered in the papers are partially used [7, 9].

In addition, in some cases, it is possible to install driving piles in perforated casings using them as a perforation (penetration) of wells in the following process sequence:

- driven (sunk) in the foundation soil at a given depth (up to the base layer) of the casing pipe with holes along its entire length with a closed bottom end, for example, in the form of a protective casing or a puncher shoe with a diameter (cross-section size) equal to or depending on the physical and mechanical characteristics of a larger diameter (cross-section size) of the pipe casing with the possible formation of the entire contour of the pipe casing of natural compacted soil zone;
- the pipe casing with holes is filled with hard and bulk soil material through the full length;
- the ready to use reinforced concrete pile is sunk into the backfilled pipe casing to the maximum possible depth with simultaneous formation of local broadening of the entire side surface of the pipe casing in the area of holes and possible increase of the compaction zone, including under its end, i.e. the method of “pile in the pile” is partially implemented.

In the case of casing with holes made of polymeric or other relatively low-strength materials, their ends are equipped with rigidly fastened puncher shoes made of strong, including composite materials, and driving and immersion in the foundation soil are carried out with inventory or reinforced concrete piles, the ends of which are inserted into the inner cavity of the puncher shoes with the subsequent formation of local widening on the external side surface of the pipe with holes from the filled in bulk or hard soil material driven (submerged) piles.

Other options of driving piles in perforated pipe casings are also possible.

As to definition of bearing capacity and a sediment of offered designs and process flows of considered options of the pile foundations they are established by analogy with the calculations resulted in STO 36554501-018-20 taking into account the explanations stated in paper [5], and the subsequent specifications of additional calculation parameters at performance of mandatory experimental researches in field conditions.

CONCLUSIONS

The proposed structural and process diagrams of pile foundations allow to expand significantly the scope of their application in terms of soil conditions, to increase the load-bearing capacity and reliability of erection and are a further improvement of foundations construction in compacted soil, including driving piles in punched wells with an expanded base made of hard gravel and sludge, but, as noted above, require additional experimental studies in terms of refinement of design diagrams for the definition of bearing capacity, sediments and other parameters during the erection of considered types of the foundations.

The stated design solutions of the arrangement of driving piles at the corresponding feasibility study can be completely or partially used with some interpretation also during the installation of hollow driving piles with a loose punch shoe [13–16], and also cast-in-situ piles in the perforated (penetrated) wells [4, 5, 8].

REFERENCES

1. Krutov V.I., Kovalev A.S., Kovalev V.A. Improvement of technologies of the device of driven piles in the punched wells. *Construction Mechanization*. 2015; 5(851):14-17. (rus.).
2. Patent Russian Federation 2582530, MPK E2D 5/00. *Drive pile device in punched well with wider base* / V.I. Krutov, A.S. Kovalev, V.A. Kovalev ; proprietor A.S. Kovalev. Application: No. 2014117507/03, 30.04.2014; publ. 27.04.2016. Bull. No. 12. (rus.).
3. Patent Russian Federation 2601630, MPK E02D 5/30. *Driven pile installation method* / V.I. Krutov, A.S. Kovalev, V.A. Kovalev ; proprietor A.S. Kovalev. Application: No. 2014141785/03, 16.10.2014; publ. 10.05.2016. Bull. No. 13 (rus.).
4. Krutov V.I., Kovalev A.S., Kovalev V.A. *Designing and installation of bases and foundations on collapsible soils*. Moscow, ASV Publ., 2016; 544. (rus.).
5. Krutov V.I., Kovalev A.S., Kovalev V.A. *Basements and foundations on the fillings of soils*. Moscow, ASV Publ., 2016; 470. (rus.).
6. Krutov V.I., Kogay V.K., Kogay V.A., Ponomarev R.Yu. Study of jacked reinforced concrete blunt piles. *Industrial and Civil Engineering*. 2016; 10:42-45. (rus.).
7. Kovalev V.A., Kovalev A.S. Process diagrams for installation of driven piles in penetrated wells. *Construction: Science and Education*. 2017; 7:1(22):2. DOI: 10.22227/2305-5502.2017.1.2 (rus.).
8. Kovalev V.A., Kovalev A.S. Specification of engineering proposals for foundations on compacted fills. *Construction: Science and Education*. 2017; 7:2(23):1. DOI: 10.22227/2305-5502.2017.2.1 (rus.).
9. Patent Russian Federation 2634912, MPK E02D 5/44. *Method of driving a driven pile in punctured well in weak water-saturated soil (variants)* / V.I. Krutov, A.S. Kovalev, V.A. Kovalev ; proprietores V.I. Krutov, A.S. Kovalev, V.A. Kovalev. Application: No. 2016128786, 14.07.2016; publ. 08.11.2017. Bull. No. 31. (rus.).
10. Patent Russian Federation 2640467, MPK E02D 5/60. *Driven pile installation method* / V.I. Krutov, A.S. Kovalev, V.A. Kovalev ; proprietor A.S. Kovalev. Application: No. 2017112077, 10.04.2017; publ. 09.01.2018. Bull. No. 1. (rus.).

11. Kovalev V.A., Kovalev A.S. Installation of a driven pile in punched well with widened base. *Housing Construction*. 2018; 9:42-47. (rus.).

12. Patent Russian Federation 2678172, MPK E02D 5/44. *Method device driven piles in the punched hole with widen base* / V.I. Krutov, A.S. Kovalev, V.A. Kovalev ; proprietor A.S. Kovalev. Application: No. 2018106680, 22.02.2018; publ. 23.01.2019. Bull. No. 3. (rus.).

13. Kovalev V.A., Kovalev A.S. Installation of a round hollow blunt pile. *Housing Construction*. 2018; 1-2:66-68. (rus.).

14. Patent Russian Federation 2685719, MPK E02D 5/44. *Method device driven hollow piles with widen base* / V.A. Kovalev, A.S. Kovalev ; proprietor A.S. Kovalev. Application: No. 2018130127, 20.08.2018; publ. 23.04.2019. Bull. No. 12. (rus.).

15. Kovalev V.A., Kovalev A.S. Construction of composite piles in the broken wells. *Construction Mechanization*. 2018; 79(5):46-54. (rus.).

16. Kovalev V.A. On the question about the installation of driven piles in punched wells. *Bulletin of Science and Research Center "Stroytelstvo"*. 2019; 1(20):46-57. (rus.).

Received September 1, 2019.

Adopted in a revised form on November 15, 2019.

Approved for publication November 26, 2019.

B I O N O T E S: **Vladimir A. Kovalev** — Candidate of Technical Sciences; **Gersevanov Research Institute of Bases and Underground Structures (NIIOSP)**; 59 Ryazanskiy prospect, Moscow, 109428, Russian Federation; vladimir@olimproekt.ru.