

## ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ В ГРУНТАХ С НАПОРНЫМИ ВОДАМИ

Никитенко М.И., Дубатовка И.П.

Возведение зданий многоэтажных и высотных, передающих значительные нагрузки на грунты оснований в сложных инженерно-геологических условиях, требует устройства фундаментов из сплошных железобетонных плит и буронабивных свай с увеличенными диаметрами стволов при их погружении на большие глубины. При этом зачастую при чередовании в основании слоев между толщами глинистых водоупоров водовмещающие песчаные содержат напорные воды, что сопряжено с рядом особенностей проектирования, устройства и испытаний свай в таких грунтах.

В частности, оказывается проблематичным прогноз несущей способности подобных оснований свай по результатам зондирования [1] из-за малой достоверности используемых при расчетах корреляционных зависимостей. В то же время содержащиеся в действующих ТНПА [2, 3, 4] и используемые в расчетах табличные значения сопротивлений грунтов приводятся без учета их обводнения при малых диапазонах глубин. Поэтому требуется проведение затратных по стоимости и времени натурных статических испытаний свай в конкретных условиях объекта.

Применяемые для устройства буронабивных свай под водой приемы проходки скважин, бетонирования и армирования в них стволов могут отличаться и сильно влиять на их прочностные и деформативные характеристики и окружающих грунтов.

На это редко обращают должное внимание, поэтому нежелательные последствия вызывают [5, 6, 7] такие факторы (ошибки):

- образование шлама (рыхлого осадка) в забое скважин при их проходке от осыпания или оплывания извлекаемых грунтов;

- суффозионное разупрочнение грунтов вдоль стенок и в забое скважин при гидродинамическом напоре воды по направлению внутрь скважины от превышения ее уровня снаружи обсадной трубы;

- смешивание с водой литых бетонных смесей в скважине и их размыв от напора водным потоком в песчаных слоях между глинистыми с наклоном их ложа;

- чрезмерно медленный набор прочности литых бетонных смесей в теле ствола сваи на участках скважин с глинистыми грунтами за счет слабого поглощения избыточной воды.

Рассмотрим особенности устройства буронабивных свай в водонасыщенных грунтах для высотных зданий на двух минских объектах: 1 – жилой комплекс «Лазурит» в микрорайоне «Лебяжий», 2 – многофункциональный комплекс Газпрома в границах ул. Филимонова – пр. Независимости – ул. Макаенка .

На 1-м объекте в основании фундаментов залегают преимущественно пески разной крупности и плотности, насыщенные водой без напора и с местным напором, которые подстилаются моренными супесями. Здесь по описанной в [6 и 7] технологии были устроены и испытаны буронабивные сваи  $\varnothing 0,56$  и  $\varnothing 0,8$  м. Для них скважины с глубинами 12-16 м выполняли вибропогружением обсадных труб с уплотненными песчаными пробками внутри, которые вытеснялись внутренней трубой с теряемой крышкой в торце и уплотняли грунты внизу. За счет водного потока бетонированные литыми смесями стволы некоторых свай были размывты, а сопротивление грунтов оснований уменьшились. Зимой бетон в оголовках стволов без консервации оказался размороженным.

Такие дефекты выявили обследования в процессе перепроектирования объекта, в связи с повышением нагрузок на сваи, поскольку при проектных их значениях по 800 кН статические их испытания подтвердили возможность восприятия от 600 кН до 900 кН. Поэтому пришлось уточнить геологическое строение и свойства грунтов в основании, а количество свай увеличить почти вдвое с уменьшением приходящихся на сваи вдавливающих усилий.

Дополнительные сваи в промежутках устроили по технологии непрерывного полого шнека SFA с контрольными их испытаниями.

На 2-м объекте под высотное здание (рис. 1) вместо выполняемых методом «стена в грунте» баретт ЧУП «Моно-ракурс» был запроектирован фундамент в виде сплошной железобетонной плиты толщиной 2,0 м по головам буронабивных свай  $\varnothing 1,18$  м с их заглублением до 29,5 м в слой супеси моренной не менее 0,5 м (рис. 1 и 2). От длин свай по 35 м также отказались во избежание прокалывания слоя супеси и затопления котлована напорной водой из второго уровня.

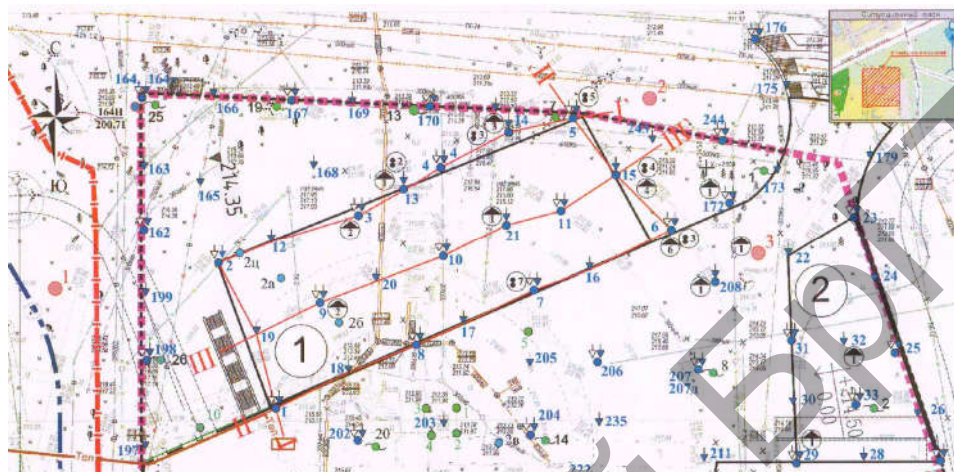


Рисунок 1 – План расположения геологических выработок под высотное здание

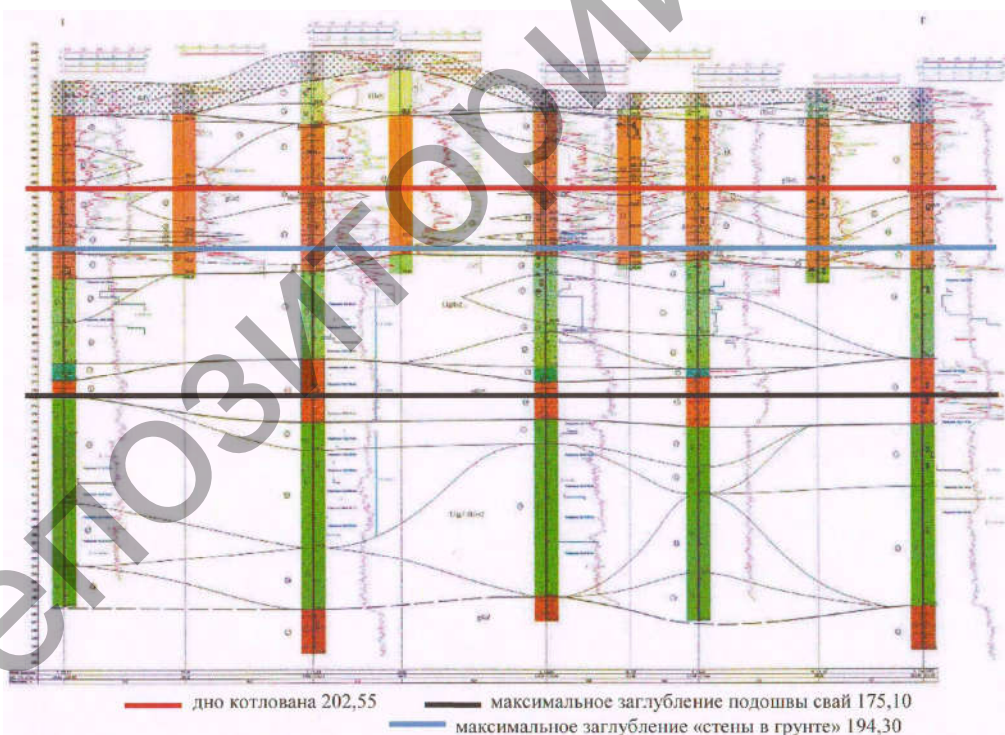


Рисунок 2 – Характерный инженерно-геологический разрез

Сваи на объекте выполнены и испытаны ООО «Геоизол» с его подразделением УП «Геоизолбел». Согласно [3] для их выполнения был принят способ проходки скважин под защитой обсадных труб с опусканием в них арматурных каркасов и подводным бетонированием стволов при помощи ВПТ.

Для вращательного бурения скважин под защитой инвентарных обсадных труб  $\varnothing 1180$  мм применяли станки зарубежных фирм «Касагранде» и «Бауэр» (рис. 3). Обсадки погружали

звеньями глубже забоя скважины на 0,5 – 1 м затем и извлекали посредством домкратного столика. Верхние слои супеси извлекали из трубы шнеком, а обводнённый песок вычерпывали желонкой, сливая воду обратно в скважину. Во избежание суффозии грунта в стенках и забое скважин, согласно [2] в обсадку закачивали насосом воду до уровня выше ее зеркала в грунтовом массиве.



Рисунок 3 – Проходка скважин для буронабивных свай и монтаж армокаркаса

Грунт в забое уплотняли погружаемым под воду цементом (200 – 250 кг) в бумажных мешках, выравнивая плоским дном ковшебура и пригружая буровым ставом, что оказалось эффективнее закачки цементного раствора в грунты с напорной водой.

Подводное бетонирование стволов свай (рис. 4) производили методом вертикально перемещаемой трубы (ВПТ) с заливкой из миксера бетонной смеси при осадке конуса 18-22 см через воронку бетонолитной трубы. Бетон при выходе из торца трубы вытеснял воду и грунтовый шлам наверх, которые затем стекали в зумпф.

В начале свайных работ пытались оценить сопротивления грунта под пятнами свай и вдоль стволов испытанием согласно [8] по принципу «труба в трубе» [3] (рис.5), который в напорных водах за счет суффозии привел к недостоверным результатам.

В составе свайного поля (рис. 6) *опытные сваи* испытывали по традиционной схеме согласно [7], но у некоторых из них измеряли осадки не только голов, но и пят для оценки сжатия стволов за счет различия свойств грунтов и бетона по глубинам. При выдергивании сваи № 121 сопротивление грунта сдвигу вдоль ствола длиной 29,5 м составило 524 тс, а у отдельного отрезка ствола длиной 2 м – 15 тс.



Рисунок 4 – Формирование стволов свай посредством заливки бетонной смеси через бетонолитную трубу



Рисунок 5 – Общий вид испытания грунтов по принципу «труба в трубе» с передачей гидродомкратом нагрузки на вдавливаемый штамп и выдергиваемую обсадку

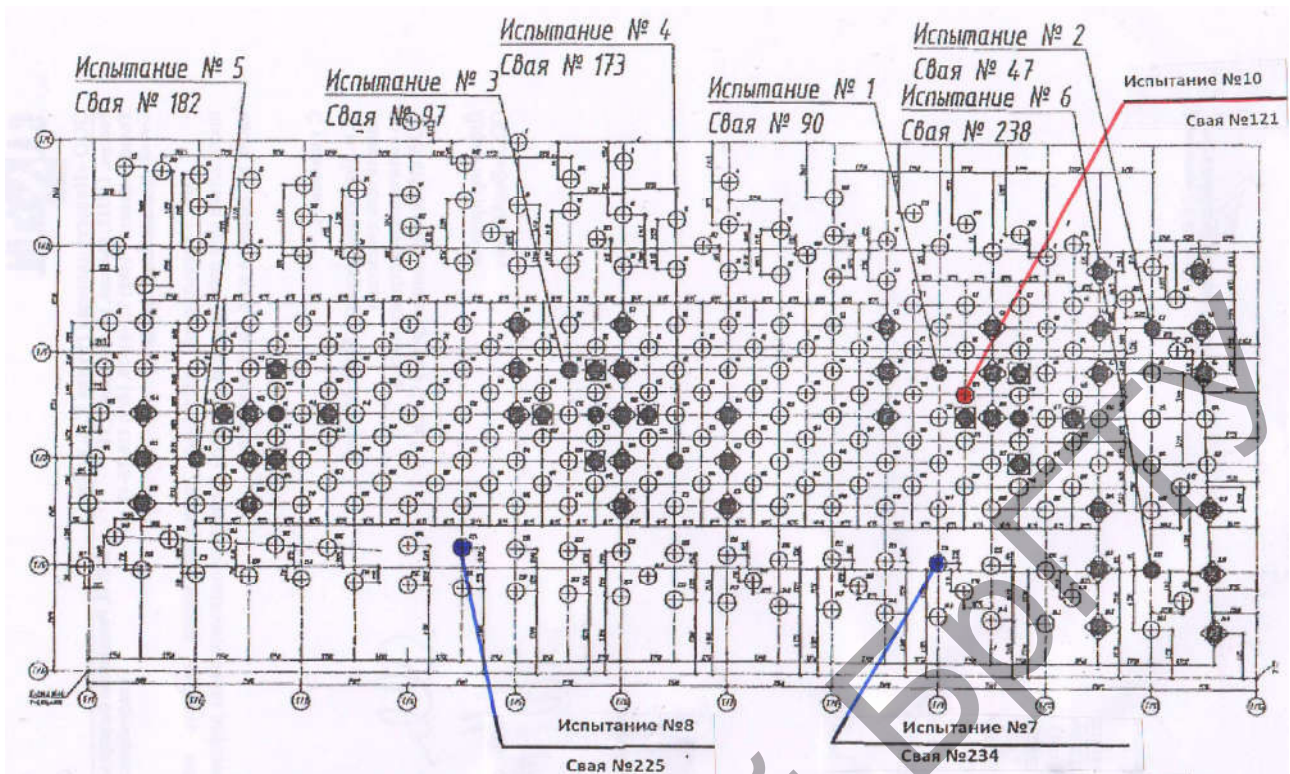


Рисунок 6 – Схема расположения опытных буронабивных свай №№ 47, 90, 97, 121, 173, 182, 225, 234, 238

Для измерения осадки пяти сваи струну прогибомера помещали в приваренной к армокаркасу инъекционной трубке с замоноличиванием в ее нижнем торце и выводили через ролик и прорезь в оголовке ствола к прогибомеру на реперной системе. Осадки пят стволов измерили только у пробных свай № 5 и №10, при первых испытаниях опытных свай №№ 47, 90, 182 и при повторном испытании сваи № 47 (рис. 7-10).

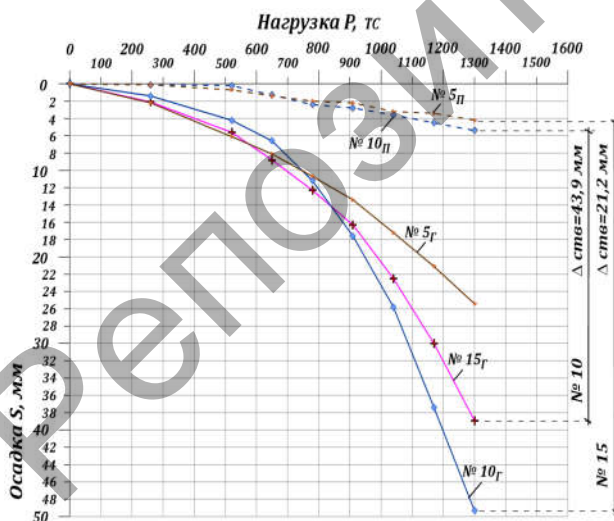


Рисунок 7 – Зависимости  $S = f(P)$  для пробных свай №5, 10, 15: с индексом «г» - головы стволов, с индексом «п» - пяты стволов

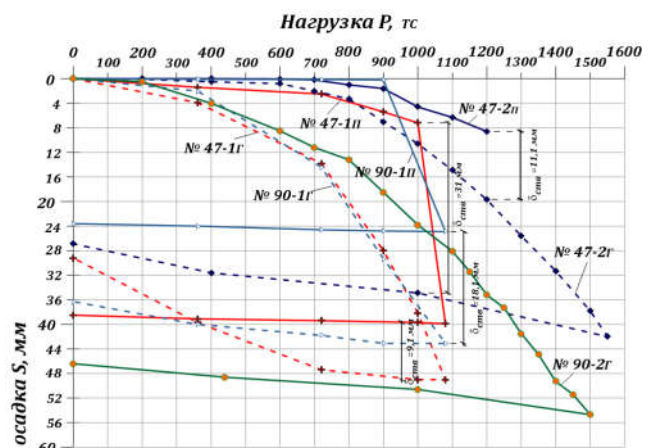


Рисунок 8 – Зависимости  $S = f(P)$  для опытных свай: №47-1, №90-1 (1-е испытание), № 47-2, №90-2 (2-е испытание): с индексом «г» - головы стволов, «п» - пяты стволов

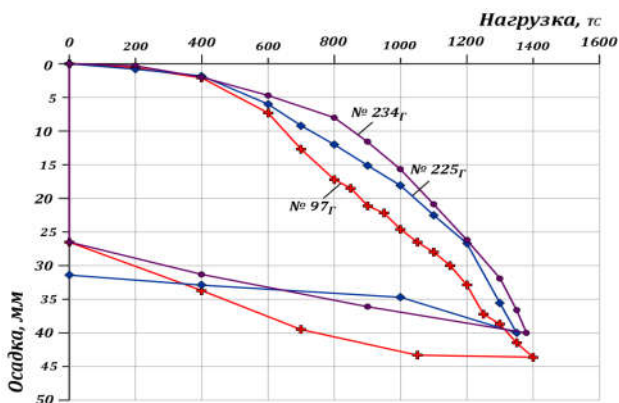


Рисунок 9 – Зависимости  $S = f(P)$  для опытных свай №97, №225, №234 (осадки голов)

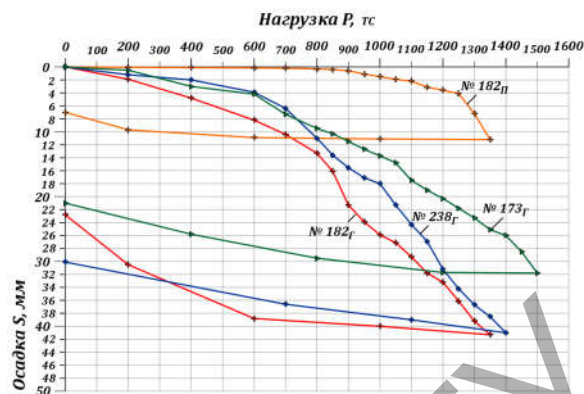


Рисунок 10 – Зависимости  $S = f(P)$  для опытных свай №173, №182: с индексом «г» - головы стволов, «п» - пята ствола сваи №182

Поскольку скважины бурили с отметки на 2 м выше подошвы фундаментной плиты, то перед бетонированием ее подготовки удаляли избыточную толщину грунта. При этом осмотр оголовков стволов свай выявил наличие у них дефектов (рис. 11).



Рисунок 11 – Вид на свайное поле при отрывке котлована до низа бетонной подготовки под фундаментную плиту и дефекты отдельных голов свай

Для оценки фактических прочности и однородности уложенного в стволы свай бетона специалистами РУП «Институт БелНИИС», ООО «Технотест», ОАО «Стройкомплекс» и ООО «НПП «Спецпроект», помимо освидетельствований, привели их ультразвуковые и сейсмоакустические исследования с лабораторными испытаниями высверленных из стволов свай кернов, в том числе на всю их длину.

При проектном классе бетона по прочности С35/45 фактические его значения на верхних отрезках стволов свай оказались в диапазоне от С8/10 до С28/30.

Расчетами было доказано, что при отличии приходящихся на сваи проектных вдавливающих усилий имеющаяся прочность стволов свай достаточна для восприятия таких нагрузок. Даже при малой прочности бетона в оголовке сваи №90 и наличии полости она при вдавливании выдержала испытательную нагрузку 1500 тс без разрушения. Все дефектные оголовки можно было усилить по двум предложенным ПЧУП «Моноракурс» вариантам.

Возникновение дефектов при бетонировании стволов буронабивных свай вызвала споры и разногласия у многих специалистов. При этом в виде причин было названо много факторов, включая нарушение технологических процессов, некачественный состав бетона от разных поставщиков и другие.

Все же такое положение правильнее увязывать с недостаточно изученными особенностями подводного бетонирования методом ВПТ на глубину до 29,5 м, исходя из применения смесей с осадкой конуса свыше 18 см, при формировании стволов свай Ø1,2 м в многослойных грунтах на объекте при наличии в основании напорных вод.

*В этой связи попытаемся рассмотреть физику процессов при выполнении технологических процессов.*

Бетон при выходе через нижний торец бетонолитной трубы заполняет обсадку и при подъеме вверх вытесняет более легкую воду вместе со взвешенным в ней грунтовым шламом, а при перемешивании с этой пульпой дополнительно разжижается с ухудшением прочностных свойств бетона из такой смеси. Положение усугубляется наличием в песке между глинистыми слоями напорных вод при сочетании направления фильтрующих потоков вертикально вверх с горизонтальным движением.

Хотя при подводном бетонировании стволов буронабивных свай применяли предусмотренную [3, 9, 10] доливку внутрь обсадки воды выше ее уровня снаружи, но вероятность подъема вверх зашламованной бетонной смеси была велика за счет большой ширины зазора в свету между обсадной и бетонолитной трубами, когда в силу контактной фильтрации напорная вода перемещает в своем потоке такую смесь.

К сожалению, в [3] не заложен разработанный в 7-е годы к.т.н. Арабаджяном И.Р в бывшем ВНИИГС г. Ленинграда (ныне Санкт-Петербург) способ [9], позволяющий исключить указанные недостатки. На него имеется ссылка в п. 6.7.5 и справочном приложении [10] при бетонировании траншейных и свайных стен с использованием бетонных смесей на гравии с осадкой конуса от 3 до 6 см, на щебне – от 6 до 9 см, которые уплотняются вибраторами, прикрепленными жестко на нижнем звене бетонолитной трубы (рис. 12). Наш практический опыт показал, что такие смеси с пластифицирующими добавками обладают подвижностью, удобством укладываемости и высоким качеством бетонирования, исключая дефекты в стенах. При этом без снижения класса бетона по прочности экономится цемент до 100-150 кг на 1м<sup>3</sup> смеси.

Помимо упомянутого проблемного вопроса на объекте потребовалось оценить влияние работ по устройству буронабивных свай и возведению смежных с высотным зданием других строений на изменчивость свойств грунтов в межсвайных промежутках с учетом особенностей имеющихся геологических и гидрогеологических условий. Для этого авторами проекта фундамента при научно-техническом сопровождении РУП «Институт БелНИИС» была разработана программа проведения УП «Геосервис» дополнительных инженерно-геологических изысканий.



Рисунок 12 – Нижнее звено бетонолитной трубы с жестко прикрепленной вибробулавой для уплотнения выходящей из нее в глинистую суспензию полужесткой бетонной смеси

Но при их выполнении в затопленном котловане (рис. 13) получены недостоверные данные за счет их искажения в водонасыщенном состоянии. Намокание супеси с малым содержанием глинистых фракций ускорило и за счет контактной фильтрации напорной воды вдоль обсадки были получены уменьшенные сопротивления грунтов при их зондировании.



Рисунок 13 – Затопленный водой котлован с оголовками свай под высотное здание

Замачивание верхней толщи супеси атмосферными осадками происходило еще до испытаний свай и не могло сказаться на их конечных результатах. Тем более, что за 2 месяца до повторных испытаний свай №№ 47 и 90 динамические процессы с разжижением песков прекратились, взвешенные частицы выпали в осадок, прочность бетона в стволах возросла, а сопротивление основания увеличилось почти в 1,5 раза, что характерно и для всех остальных свай. Дополнительный резерв кроется в неучтенном сопротивлении грунта сжатию под подошвой фундаментной плиты.

В свете сказанного можно выразить мнение об избыточности принятых мер по устройству под фундаментной плитой для высотного здания дополнительных свай с их изготовлением по технологии SFA [11] и заглублением в слои грунта со вторым напорным горизонтом подземных вод, которые только размывают закачиваемую литую бетонную смесь. Считаем, что при этом были получены результаты весьма удручающие.

### Выводы

1. Выявленные на объекте «Строительство многофункционального комплекса в г. Минске в границах ул. Филимонов – пр. Независимости – ул. Макаенка» особенности устройства буронабивных свай с большими диаметрами и длинами стволов в слоях грунтов с напорными водами свидетельствуют о необходимости совершенствования технологических процессов с изменением предписаний действующих в Республике Беларусь ТНПА.

2. Выполненные натурные испытания запроектированных буронабивных свай в имеющихся геологических и гидрогеологических условиях объекта свидетельствуют о возможности восприятия приходящихся на них вдавливающих нагрузок даже при наличии в оголовках снижения прочности бетона в сравнении с проектными. При этом следует учитывать их взаимодействие при близком расположении между ними в пределах свайного поля (как единого армированного сваями основания) и дополнительного резерва сопротивлений грунтов под фундаментной плитой.

3. Возникшие на упомянутом объекте оголовки свай с дефектами, даже при их наличии локально по длине некоторых стволов, можно достаточно просто усилить в соответствии с разработанными ПЧУП «Моноракурс» двумя вариантами.

4. В сравнении с традиционной технологией устройства буронабивных свай в водонасыщенных грунтах, включая наличие в них напорных вод, более эффективным является использование вибрационных способов проходки скважин посредством погружаемых обсадных труб с нижними торцами, заглушенными теряемыми крышками или пробками из уплотненного грунта, а также малоподвижных бетонных смесей при формировании стволов.

5. При проектировании буронабивных свай в грунтах с напорными водами, особенно при наличии их потоков в горизонтальном направлении, следует обязательно предусматривать меры по исключению суффозионного размыва укладываемой в скважины бетонной смеси и окружающего грунта, причем такие меры должны найти отражение в предписаниях действующих ТНПА при их совершенствовании.

### Список источников

1. Пособие П 2-2000 к СНБ 5.01.01-99. «Проектирование забивных и набивных свай по результатам зондирования грунтов» / Минстройархитектуры РБ. – Мн., 2001. – 23 с.
2. ТКП 45-5.01-254-2012 Основания и фундаменты зданий и сооружений. Сваи забивные. Правила проектирования и устройства / Минстройархитектуры РБ. – Мн., 2013. – 137 с.
3. Пособие П 13-01 к СНБ 5.01.01-99. Проектирование и устройство буронабивных свай. – Минстройархитектуры РБ. – Мн., 2002. – 43 с.
4. Пособие П 19-04 к СНБ 5.01.01-99. Проектирование и устройство фундаментов из свай с уплотненным основанием / Минстройархитектуры РБ. – Мн., 2006. – 88 с.
5. Никитенко, М.И. Некоторые проблемы свайных фундаментов в геотехнической практике Беларуси / М.И. Никитенко, В.Ю. Журавский // Строительная наука и техника. – Минск, 2008. – № 4(19). – С. 44–51.
6. Никитенко, М. Важные особенности устройства и взаимодействия различных свай с грунтами / М. Никитенко, Б. Моради, Аль-Робай А. // Архитектура и строительство, – Минск. – № 2. – С. 58-68.
7. Никитенко, М. Прогноз несущей способности вибробивных свай / М. Никитенко // Главный инженер в строительстве. – Минск, 2014. - № 11(23). –С.37-41.
8. СТБ 2242-2011. Грунты. Методы полевых испытаний сваями / Минстройархитектуры РБ. – Мн., 2012. – 36 с.
9. ВСН-261-74 / Минмонтажспецстрой СССР. Указания по вибрационной укладке бетона под водой способом ВПТ. – М., 1975. – 75 с.
10. Пособие П 14-01 к СНБ 5.01.01-99. Проектирование и устройство свайных и траншейных стен / Минстройархитектуры РБ. – Мн., 2002. – 64 с.
11. Никитенко, М.И. Методы определения несущей способности буронабивных свай по технологии SFA / М.И. Никитенко, С.Б. Моради, Н.В. Черношей // Строительная наука и техника. – Минск, 2008. – № 1(34). – С. 43–49.