

Выводы.

1. Разработана методика расчётов и усиления балочных конструкций наружным преднапряжением.
2. Предложенная схема снижает в 3 раза изгибающие моменты, т.е. в 3 раза повышается несущая способность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий. Атлас схем и чертежей. А.И. Мальганов и др. Томск, 1990 г.
2. Справочник конструктора-машиностроителя. Том.1. В.И. Анурьев. М., Машиностроение, 2001 г.
3. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции.
4. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции.

В.П. ЧЕРНЮК, канд. техн. наук доцент,

Е.И. ШЛЯХОВА, инженер

*Брестский государственный технический университет,
Республика Беларусь, г. Брест*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ С УШИРЕННОЙ ПЯТОЙ ВЗАМЕН ЗАБИВНЫХ СВАЙ

В настоящее время в строительной отрасли проектируется большое количество мостов, эстакад, зданий и сооружений на забивных сваях. Использование забивных свай считается очень дешёвым способом строительства фундаментов. Однако их применение сопровождается большим количеством сложностей и затруднений при устройстве таких свайных фундаментов.

Можно выделить основные недостатки забивных свай:

- забивные сваи часто трескаются или разрушаются при их устройстве и требуются дополнительные затраты денежных средств на ликвидацию последствий;
- низкая несущая способность свай по грунту основания, достигающая лишь 60 – 100 т, вследствие чего образуются деформации зданий;
- ограниченная длина забивных свай, не превышающая 10 – 15 м. Устройство более глубоких свай требует стыковки двух отдельных свай (модульных) и создаёт большую сложность их качественной забивки в грунт;

– ограниченная возможность устройства забивных свай в городской черте из-за шума и вибрации, превосходящих допустимые их уровни (50 – 70 дБ) в 2 – 2,5 раза и достигающих уровня порядка 120 – 140 дБ. В развитых западноевропейских странах (Великобритании, Франции и др.) забивка свай и использование их в строительных целях запрещены законом по причинам экологии, охраны труда, сохранения исторических ценностей и др.;

– отсутствие заводов, производящих забивные сваи в данном регионе, что существенно увеличивает стоимость работ, добавляя транспортные расходы;

– повышенная стоимость применения забивных свай в сельской местности из-за отсутствия сваебойной техники и самих свай по сравнению с городскими условиями плюс дополнительные транспортные расходы на их доставку в сельскую местность.

Для совершенствования свайных фундаментов и создания альтернативы забивным и другим сваям, авторами был проанализирован зарубежный и отечественный опыт устройства набивных и буронабивных свай, которые уже получили в строительстве, в частности в промышленном и сельскохозяйственном, достаточно широкое и разнообразное применение, как свай построечного изготовления, ввиду ряда их преимуществ по некоторым технико-экономическим показателям перед готовыми забивными сваями, например, несущей способности по грунту основания, энергоэкономности, простоте изготовления и устройства фундаментов, опубликованы две книги, в Германии и России [1, 2].

Основным направлением была выбрана разработка технологии устройства буронабивных свай с уширенным основанием или с уширенной пятой. Эта технология разрабатывалась в расчёте на массовое устройство свай в сложных геологических условиях (в слабых глинистых или песчаных грунтах, в том числе водонасыщенных) и неблагоприятных природно-климатических (сильные ветры, низкие отрицательные температуры воздуха) условиях. Технический результат заключался в создании высокотехнологичных способов сооружения свай с уширениями, обеспечивающими значительную несущую способность свай в грунте, с соблюдением положительного экономического эффекта.

Набивные сваи устраивают в предварительно пройденных в грунте любым способом скважинах (под защитой, без защиты и остающейся в грунте металлической оболочке) с последующим их бетонированием, буронабивные – являются разновидностью первых (набивных), устраиваются без защитной оболочки непосредственно в предварительно пробуренных скважинах.

Несущая способность таких свай по грунту основания на действие вертикальных вдавливающих нагрузок согласно действующему нормативному документу СНиП 2.02.03-85 [3], а также СНБ 5.01.01-99 и ТКП 45-5.01-256-2012, определяется по известной формуле:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{CR} \cdot R \cdot A + \sum U \cdot f_{cf} \cdot h_i \cdot f_i), \quad (1)$$

- где γ_c – коэффициент условий работы сваи в грунте; в случае опирания её на пылевато-глинистые грунты со степенью влажностью менее 0,9 и на лессовые грунты $\gamma_c = 0,8$, в остальных случаях $\gamma_c = 1$;
- γ_{CR} – коэффициент условий работы грунта под нижним концом сваи; $\gamma_{CR} = 1$ во всех случаях, за исключением свай с камуфлетными уширениями, для которых этот коэффициент следует принимать $\gamma_{CR} = 1,3$ и свай с уширением, бетонированным подводным способом для которых $\gamma_{CR} = 0,9$, а также опор воздушных линий электропередачи, для которых коэффициент γ_{CR} принимается по указаниям разд. 12 [3];
- R – расчётное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа, принимаемое в зависимости от технологии изготовления сваи согласно указаниям п. 4.7 и табл. 1 [3];
- A – площадь опирания сваи на грунт в направлении действия нагрузки, м², принимаемая равной для набивных и буронабивных свай без уширения площади поперечного сечения ствола; для буровых и набивных свай с уширением – площади поперечного уширения в месте наибольшего его диаметра;
- U – периметр поперечного сечения ствола сваи, м;
- γ_{cf} – коэффициент условий грунта на боковой поверхности ствола сваи, зависящий от способа образования скважины и условий бетонирования и принимаемый по табл. 5 [3];
- f_i – расчётное сопротивление i -го слоя грунта на боковой поверхности ствола сваи, кПа, принимаемое по табл. 2 [3];
- h_i – толщина i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью ствола сваи, м.

Как видно из приведённой формулы (1), несущая способность набивных свай по грунту основания на действие вертикальных вдавливающих нагрузок складывается из двух составляющих: силы сопротивления грунта под нижним концом сваи ($\gamma_c \cdot \gamma_{CR} \cdot R \cdot A$) и силы сопротивления грунта (сцепления, трения) по боковой поверхности ствола ($\sum U \cdot \gamma_c \cdot f_{cf} \cdot h_i \cdot f_i$). Таким образом, возможны два пути повышения несущей способности буронабивных свай построечного изготовления без изменения первоначальных характеристик грунта и конструкции сваи.

Первая составляющая может достичь 50 – 60 % и больше от общей несущей способности сваи по грунту основания в зависимости от её длины, чем короче свая, тем больше доля сопротивления грунта под её нижним концом и наоборот. Следовательно, первый, более рациональный, путь заключается в увеличении первой составляющей формулы (1) за счёт повышения площади опирания сваи A на грунт, равной для буронабивных свай площади уширения в месте наибольшего её диаметра, причём, несущая способность для этой составляющей имеет квадратичную зависимость ($A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$, где D – диаметр уширения).

Здесь имеется два варианта повышения несущей способности. Первый сводится к устройству уширения на нижнем конце сваи (пяты) с последующим его бетонированием, второй – заключается в устройстве под нижним концом сваи уширенного основания (плиты, опоры, башмака, пластины и т.п.), на которое опиралась бы свая в грунте основания.

Второй, менее эффективный, путь состоит в увеличении несущей способности сваи за счёт второй составляющей, причём эта составляющая имеет только линейный характер первого порядка, она значительно меньше первой составляющей, (30 – 40 % от суммарной несущей способности сваи), но и она достаточно весома и существенно влияет на общую несущую способность сваи.

В качестве примера составим прочностные показатели трёх наиболее широко применяемых свай в строительстве: забивной сваи сечением ствола $0,3 \times 0,3$ м, буронабивной сваи без уширения диаметром ствола $0,3$ м и буронабивной сваи диаметром ствола $0,3$ м с уширением диаметром $0,6$ м. Первая имеет площадь опирания на грунт $A = 0,3 \times 0,3 = 0,09$ м², вторая – $A = \frac{3,14}{4} \cdot 0,3^2 = 0,7065$ м², третья – $A = \frac{3,14}{4} \cdot 0,6^2 = 0,2826$ м².

Следовательно, буронабивная свая с уширением имеет преимущество по площади опирания на грунт перед забивной сваей в $0,2826/0,09 = 3,14$ раз, а перед буронабивной сваей без уширения – в $0,2826/0,07065 = 4$ раза.

Таким образом, несущая способность такой буронабивной сваи с небольшим уширением на нижнем конце (пятой) превосходит несущую способность забивной сваи, как минимум, в $2,5 \div 3$ раза, а буронабивную сваю без уширения в $3,5 \div 4$ раза, не считая сопротивления свай по боковой поверхности стволов.

Если уширение в основании сваи увеличивает её несущую способность в разы, то относительно небольшой диаметр ствола сваи значительно экономит бетон. Если диаметр уширения превышает диаметр ствола в 2 раза, как в нашем случае, то увеличение расхода бетона на

образование уширения (пяты) составляет в целом всего несколько процентов. Техническая и экономическая целесообразность устройства фундаментов на сваях с уширенной пятой несомненна, вследствие значительного увеличения их несущей способности, сокращения времени на устройство и экономии затраченного материала (бетона).

В мировой практике известны различные способы устройства свай с уширением. Это сваи, разбуриваемые специальным уширителем механического действия, но они сложны, известны способы создания уширения взрывами (камуфлетные сваи), но они весьма опасны, а также ударами, но они требуют применения той же дорогостоящей техники. Однако широкого распространения такие сваи до сих пор пока не получили, ввиду отсутствия эффективной технологии образования уширений в грунте, устройства свай и возможности контроля качества и размеров получаемого уширения.

Авторами БрГТУ предложено более полусотни разработок для образования уширений и уширенных основания как в забое, так и в стенках скважин. Все они защищены 70 патентами РБ, РФ на изобретения и полезные модели, а также а.с. СССР. Часть из них, наиболее эффективных и работоспособных в применении, обладающих новизной, полезностью и существенными отличиями в техническом и изобретательском плане показана на рис. 1.

Представленные на данном рисунке разработки позволяют образовывать уширения в забое скважин путём:

а) – электрогидравлического удара в скважине (патент РБ на полезную модель (п.м.) № 1641);

б) – раздвижки в скважине шаров посредством конуса или клина (авторское свидетельство (а.с.) СССР №1177437, патент РБ на п.м. № 2081);

в) – выпрямления в скважине предварительно изогнутой и опущенной в неё пластины (патенты РБ на изобретения (изобр.) № 9410,14968, на п.м. № 5631);

г) – размыва стенок скважины в забое водой посредством размывного устройства или гидромонитора (патент РБ на изобр. № 9160);

д) – вмятия в забой скважины упругого эластичного шара;

е) – падения на воду в скважине через поплавков груза (патент РБ на изобр. № 8712);

ж) – размыва грунта в забое скважине вантусом (патент РБ на изобр. № 8700);

з) – втрамбовывания щебня или гальки в забой скважины в мешках (патент РБ на п.м. № 5283);

и) – взрывания заряда ВВ в забое скважины с применением специального приспособления в виде катушки (патент РБ на п.м. № 6937);

к) – вращения с осевым усилием абразивного материала в забое скважины (патент РБ на п.м. № 7703).

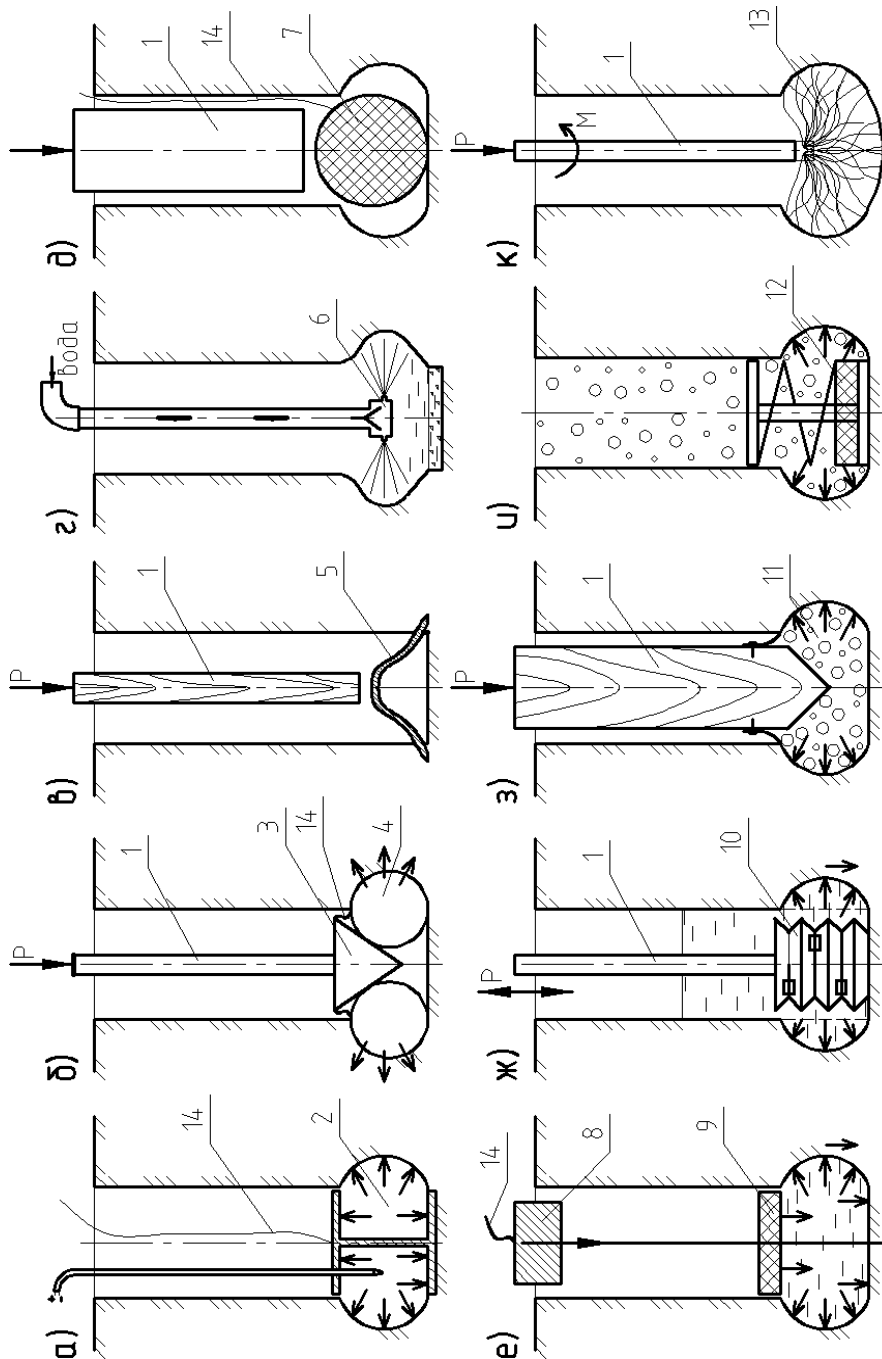


Рис.1. Прогрессивные конструкции устройств и приспособлений для образования уширений в забое скважин:

1 – шток; 2 – разрядное устройство с проводами; 3 – конус; 4 – шары (два или три); 5 – изогнутая заострённая пластина; 6 – размывное устройство (монитор); 7 – упругий резиновый шар; 8 – ударный груз; 9 – поплавок; 10 – вантус с отверстиями; 11 – мешок с щебнем или галькой; 12 – заряд взрывчатого вещества; 13 – абразивный проволочный материал; 14 – гибкая тяга.

Большинство из представленных устройств для образования уширений в скважинах обладают простой конструкцией и технологичностью производства работ. Некоторые из них успешно прошли модельные, лабораторные и производственные испытания, готовятся к внедрению в условиях белорусского региона.

После устройства уширений в скважинах они могут в дальнейшем армироваться сетками или каркасами и вместе со скважинами заполняться бетонной смесью и уплотнятся подвесными трамбовками, в результате чего после затвердевания бетонной смеси в грунте образуют полноценные буронабивные сваи с уширенной пятой.

Подобные конструкции свай за рубежом начали применяться более века тому назад и в качестве фундаментных конструкций (опор) достаточно широко применяются и в настоящее время, только под другими названиями (сваи Страуса, «Беното», «Франки», частотрамбованные, вибронабивные, пневмонабивные, камуфлетные, вытрамбованные выштампованные). Для устройства таких свай требуются специальные технологии. Буронабивные сваи с уширенной пятой используются в строительстве в таких развитых странах как Япония, США, Великобритания, Франция, в том числе в России (например, при строительстве крымского моста) и Беларуси (при строительстве теплиц в Минской области). Помимо приведённых на рис. 1 решений значительное количество устройств для образования уширений в скважинах приведено в недавно опубликованной книге [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернюк В.П., Ивасюк П.П. Производство свайных работ в особых условиях. – Германия, LAP LAMBERT Academic Publishing. 2016 – 195 с.
2. Чернюк В.П., Шляхова Е.И. Технология свайных работ в особых условиях строительства/Учебное пособие. – М.: РУСАЙНС, 2019, – 242 с.
3. СНиП 2.02.03-85 Строительные нормы и правила. Свайные фундаменты/ Госстрой СССР, - М: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48 с.
4. Чернюк В.П., Шляхова Е.И. Технические средства и способы бурения скважин с уширениями в строительстве и горном деле/ Учебное пособие. – М.: РУСАЙНС, 2020, – 139 с.

П.Н. ПЕКЛОВ, канд. техн. наук доцент
Военный институт (инженерно-технический), г. Санкт-Петербург

К ВОПРОСУ О СТЕПЕНИ ДИСКРЕТИЗАЦИИ ПРИ РАСЧЁТЕ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ НА СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Сейсмические воздействия относятся к числу кинематических и возникают в сооружениях, в связи с колебаниями их оснований при движении поверхности земли во время землетрясения или при подземных