

горизонтальную нагрузку от активного давления грунта на глубине $z = h = 4,95$ м, определяемого по формуле $\sigma_{ah} = \gamma z \lambda_a + c(\lambda_a - 1)/\text{tg } \varphi$, где коэффициент активного давления грунта ИГЭ2 равен $\lambda_a = \text{tg}^2(45^\circ - \varphi/2) = \text{tg}^2(45^\circ - 26^\circ/2) = \text{tg}^2 32^\circ = 0,6249^2 = 0,39$; $c = 0,5 c_1 = 0,5 \cdot 16 = 8$ кПа < 10 кПа. При шаге свай 1 м погонная треугольная горизонтальная нагрузка на шпунтовую стенку у оси 1 будет равна $\sigma_{ah} = 17$ кН/м, а у оси 14/15 $\sigma_{ah} = 27,3$ кН/м, что вызовет горизонтальные равнодействующие $H = 0,5 \sigma_{ah} z = 0,5 \cdot 17 \cdot 3,41 = 29$ и $67,6$ кН и изгибающие моменты $M = H z/3 = 29 \cdot 3,41 : 3 = 33$ и $111,6$ кН.м.

На изгибающие моменты $M_1 = 33$ кН.м и $M_2 = 111,6$ кН.м подобраны по прочности стальные электросварные трубы из стали класса С235 ($R_y = 23$ кН/см²). На рисунке 1 приведены расчетные схемы буроопускных свай СВ1 и СВ2 из стальных труб 219×6 и 325×7 мм.

При таких диаметрах буроопускных труб требуется бурить скважины диаметром 230 мм и 350 мм. Глубина погружения буроопускных свай определена расчетом согласно СНиП 2.02.03-85 [2].

Для заполнения зазоров между стенками скважин и стальными трубами можно использовать песок, инъецируемый в скважины в виде пульпы (смеси песка с водой), что позволит после устройства обратной засыпки котлована извлечь стальные трубы. Такая возможность предусмотрена п. 6.10.1 П13-01 к СНБ 5.01.01-99 «Проектирование и устройство буронабивных свай», Минск, 2002.

Для определения расчетного значения коэффициента постели грунта ИГЭ6 на боковой поверхности свай принят коэффициент пропорциональности для супеси прочной, окружающей свай, согласно табл. 1 [2] равный $K = 15000$ кН/м⁴, и коэффициент условий работы $\gamma_c = 3$, что для оценки напряженно-деформированного состояния системы «свая-грунт» при одностадийном расчете даст величину $K = 15000 : 3 = 5000$ кН/м⁴ и тогда коэффициент постели будет вычисляться по формуле (1) прил. 1 [2] $c_z = K z$, где z - глубина расположения сечения свай в грунте.

Коэффициент деформации свай определен по формуле (11) прил. 1 [2]

$$\alpha_e = \sqrt{\frac{K b_p}{EI}}$$

где EI - изгибная жесткость стальной буроопускной свай;

b_p - условная ширина свай, принимаемая при диаметрах ствола менее 0,8 м равной $b_p = 1,5 d + 0,5$ м, где d - наружный диаметр сечения свай.

Дальнейший расчет системы «свая-грунт» при одностадийном расчете велся по формулам (30) - (36) прил. 1 СНиП 2.02.03-85 по программе EXCEL при шаге свай 1 м.

Учитывая условную ширину свай СВ1 $b_p = 0,83$ м, рекомендуется скважины для них бурить с шагом не более 0,8 м. Для свай СВ2 условной шириной $b_p = 0,9875$ м можно сохранить шаг 1 м.

Для возможности последующего использования стальных труб рекомендуется заполнить зазоры между скважиной и трубой инъекцией взвеси песка с водой (пульпы). При незначительной разности диаметров эта мера уплотнит контакт стальной трубы с грунтом в заделке свай на глубине 4...6 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет по инженерно-геологическим изысканиям по договору №28/02. Гомельгеосервис, 2002 г., арх. №6792.
2. СНиП02.03-85. Свайные фундаменты/Госстрой СССР.- М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. -48 с.
3. Основания, фундаменты и подземные сооружения/ Под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. (Справочник проектировщика). -М.: Стройиздат, 1985. -480 с.
4. Проект. Офисный центр в границах ул. Гагарина-Пролетарская. Г. Гомель. «Гипроживмаш». Объект № 158-93/02-КЖ, 2003.

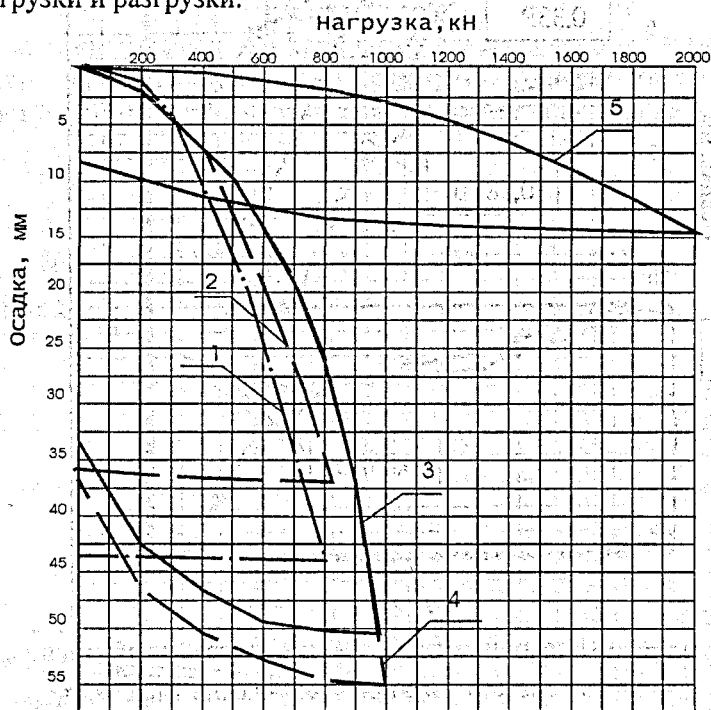
УДК 624.154.34

Синякевич П.М.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ СВАЙ С ПОВТОРНЫМИ ЦИКЛАМИ ИХ ЗАГРУЖЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ВДАВЛИВАЮЩИМИ НАГРУЗКАМИ

На данный момент в литературных источниках имеется большое количество данных натурных испытаний свай и свайных фундаментов статической вдавливающей нагрузкой. Для большинства опытов приводится зависимость $S=f(P)$ только до значений испытательной нагрузки. Однако эти дан-

ные не позволяют оценивать доли упругих и остаточных деформаций. Такая возможность имеется лишь в ограниченном объеме, когда в экспериментах производятся не только загрузки, но и разгрузки свай ступенями с фиксацией соответствующих значений деформаций основания (осадок свай). В частности, по результатам опытных данных, выполненных на площадке возведения жилого дома в квартале ул. Бурдейного-Якубовского [7], получены диаграммы испытания свай (рис. 1), на которых представлены ветви загрузки и разгрузки.



1..4 — одиночные сваи
5 — спаренные сваи совместно с ростверком.

Рисунок 1 – Результаты статических испытаний свай, в том числе совместно с ростверком под жилой дом по ул. Бурдейного-Якубовского в г. Минске.

Как видно из этих диаграмм, общие деформации складываются из упругих и остаточных деформаций.

Повторные ветви загрузки-разгрузки приводятся вообще довольно редко. Доли упругих и остаточных деформаций можно оценить по данным статических испытаний натуральных свай на вдавливающие нагрузки [1, 2, 3].

Для иллюстрации этого на рис. 2 построены графики зависимости “нагрузка – осадка” при наличии нескольких циклов загрузки и разгрузки.

Из этих графиков видно, что повторные ветви нагружения имеют минимальные значения осадок до нагрузок, предшествующих тем, после которых производилась разгрузка. Это обстоятельство имеет большое значение с позиции оценки несущей способности основания свай по результатам их статических испытаний. Так, например, действующие нормативные документы (СНБ 5.01.01-99, СНиП 2.02.03-85) в качестве несущей способности предписывают принимать то значение усилия, при котором осадка составляет $0,2 \cdot S_{пред}$. Однако из рис. 2 видно, что даже при нагрузке в 1,33 раза больше этих значений осадка не достигает предельных значений, и даже не возникает полного исчерпания несущей способности основания (не затухающие во времени деформации).

На графике (рис. 2) можно выделить главную ветвь нагрузки (штриховая линия), обладающую особым свойством, а именно: если довести процесс нагружения до какой-либо точки этой кривой, а затем разгрузить сваю и вновь нагрузить, то кривая разгрузки не совпадет с первоначальной кривой нагрузки (так называемая петля гистерезиса) [5]. Причем это произойдет в случае, если каждую ступень нагрузки или разгрузки выдерживать до полной стабилизации ветви упругих деформаций или осадки. Новая же ветвь кривой при повторной нагрузке, несколько превышающей ту нагрузку, которая соответствует началу ее уменьшения, вновь будет совпадать с главной ветвью кривой нагрузки.

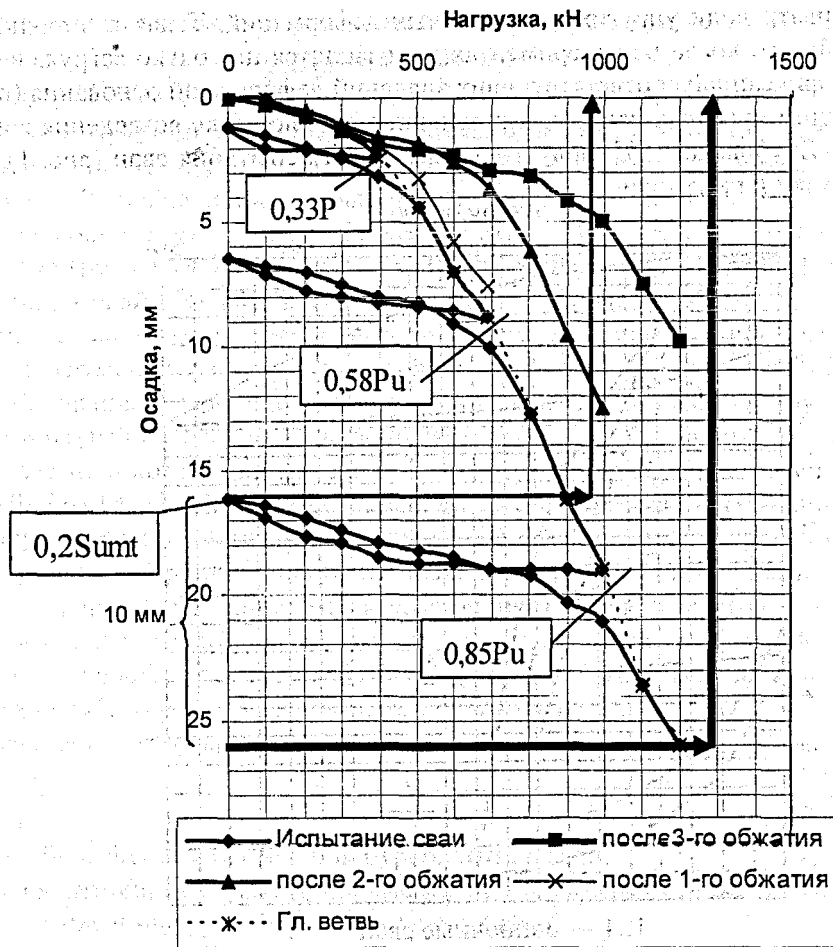


Рисунок 2 – График зависимости “нагрузка – осадка” для буронабивной сваи в абсолютных величинах

Ветвь разгрузки может начинаться от любой точки главной диаграммы. Все ветви разгрузки являются упругими участками деформации, причем они оказываются параллельными между собой. Поэтому можно утверждать, что эти ветви выражают примерно пропорциональную зависимость упругих деформаций от вдавливающих нагрузок. При повторном нагружении сваи следует ожидать возобновление цикла упругой деформации от $P=0$ до $P=0,35 \cdot P_{пред}$, т.к. в этих пределах все остаточные деформации, свойственные данному грунту, могут считаться уже практически завершившимися на предыдущем цикле загрузки. При дальнейшем повышении нагрузки накопление остаточных деформаций может возобновиться и криволинейная зависимость осадки от нагрузки становится продолжением ее главной ветви.

Если после каждого цикла загрузки осадки поместить в начало координат, то можно визуально увидеть уменьшение доли остаточных деформаций по сравнению с упругими и соответственно увеличение несущей способности сваи при одной и той же величине осадки от данного вдавливающего усилия на сваю (рис. 2).

Для более детального получения вывода нами проведены испытания моделей свай в песках. На рис. 3 показан график зависимости “нагрузка-осадка” для модели забивной сваи. Из этого графика видно, что повторные ветви загрузки также имеют минимальные значения осадок до нагрузок, предшествующих тем, после которых производилась разгрузка.

В практических целях из выше описанного процесса можно извлечь существенную пользу от предварительного обжатия сваи. Согласно условию норм [6], по данным статических испытаний натурной сваи за несущую способность ее основания F_d сваи принимается:

$$F_d = \gamma_c \cdot F_{un} / \gamma_n \tag{1.1}$$

- где γ_c – коэффициент условий работы;
- γ_n – коэффициент надежности по грунту;
- F_{un} – частное значение предельного сопротивления сваи, соответствующее осадке сваи s , полученной по формуле:

$$s = \xi \cdot S_{\text{умт}}, \quad (1.2)$$

здесь $\xi=0,2$ – коэффициент перехода к осадке отдельной сваи;
 $S_{\text{умт}}$ – предельное значение осадки свайного фундамента проектируемого здания, установленного нормами; (например для каркасного типа здания $S_{\text{умт}} \approx 8$ см.)

$$s = 0,2 \cdot 8 = 1,6 \text{ см.}$$

Таким образом, при данной осадке для свай без предварительного напряжения предельное сопротивление сваи составит $F_{\text{ум}}=900$ кН (рис. 2). После третьего цикла обжатия при осадке $s=10$ мм сопротивление сваи будет $F_{\text{ум}}=1200$ кН, что больше предыдущего значения на 33%.

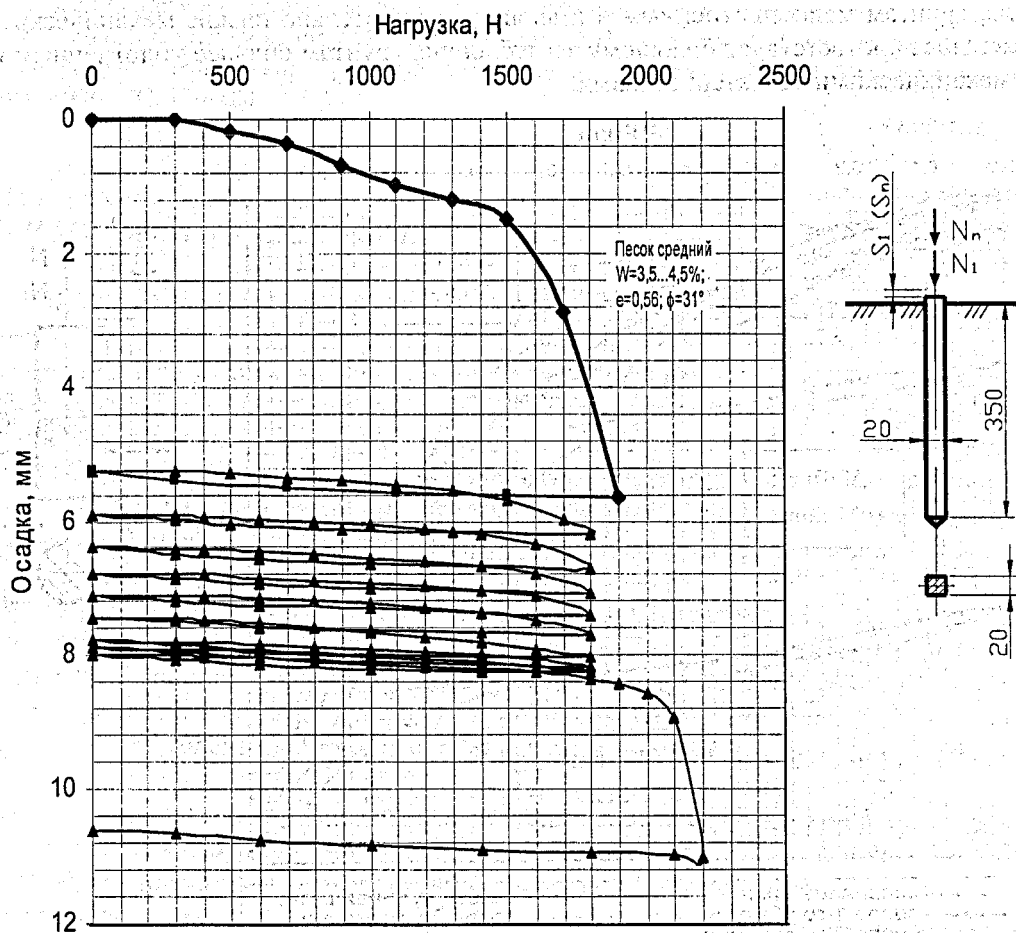


Рисунок 3 – График зависимости “нагрузка-осадка” для модели забивной сваи

Из выше описанного можно заключить, что при предварительном обжатии свай возрастает доля упругих деформаций по сравнению с остаточными, а от одной и той же нагрузки общая величина осадки уменьшается. Иначе говоря, при одинаковых величинах общих осадок увеличивается значение испытательной нагрузки. Таким образом, после предварительного обжатия для осадки $S_i=0,2 \cdot S_{\text{умт}}$ можно получить большее значение несущей способности.

Чаще всего графики “нагрузка-осадка” строятся в абсолютных величинах. Объективную оценку протекающего процесса, показанного на таком графике нельзя дать в силу произвола при выборе горизонтального и вертикального масштабов.

Исходя из этого, данные графика на рис. 2 были обработаны в безразмерных координатах (рис.4). Отношение промежуточных значений: перемещений S_i и нагрузок P_i для всех опытных данных к их предельным значениям $S_{\text{умт}}$ и $P_{\text{умт}}$ изображаются в единой системе безразмерных координат. Такая обработка опытных результатов обеспечивает возможность сопоставимости зависимостей для свай различного масштаба и получения уравнений связи между относительными параметрами:

$$\frac{S_i}{S_{umt}} = f\left(\frac{P_i}{P_{umt}}\right) \quad (1.3)$$

С использованием зависимости (1.3) были обработаны результаты большого количества испытаний [8] с построением графиков “нагрузка – осадка” в относительных величинах. Анализ этих графиков выявил следующие особенности:

1. Все графики имеют общие начальную и конечную точки в системе безразмерных координат.
2. Графики характеризуются выпуклой кривизной, что указывает на нелинейность деформирования оснований свай и рост перемещений при последующих ступенях нагружения, вплоть до достижения предельных деформаций сдвига и сжатия (уплотнение до внутреннего выпора).
3. Кривизна графиков в неявном виде отражает свойства основания: большая присуща сваям малого заглубления, грунтам малоуплотненным и имеющим сравнительно низкие механические характеристики; меньшая соответствует большому заглублению, грунтам сильнее уплотненным и с повышенными механическими характеристиками.

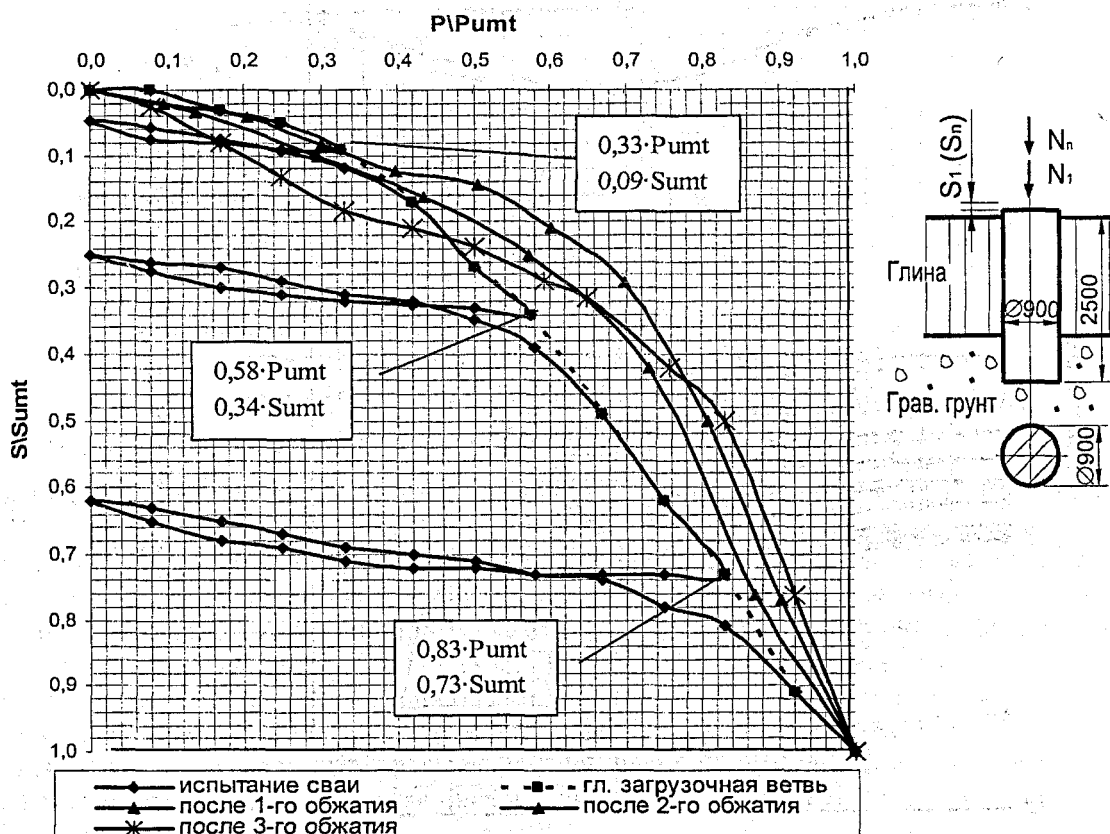


Рисунок 4 – Графики зависимости “нагрузка – осадка” для буронабивной сваи в относительных величинах

4. Графики остаются одинаковыми для моделей свай как во всем диапазоне масштабов вплоть до натурального размера, так и в пределах части этого диапазона, что открывает широкие возможности для экстраполирования результатов испытаний. На кривизну графиков не влияют размеры и форма поперечного сечения свай.

ВЫВОДЫ

1. Графики статических испытаний свай на вдавливающую нагрузку, в которых приводятся ветви загрузки и разгрузки позволяют оценить доли упругих и остаточных деформаций.
2. При предварительном напряжении свай возрастает доля упругих деформаций по сравнению с остаточными, а от одной и той же нагрузки общая величина осадки уменьшается.
3. Построение графиков “нагрузка - осадка” в безразмерных координатах дает возможность более объективно оценить характер работы свай.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романов Д.А. Методы статических испытаний и оценки несущей способности свай.-Киев "Будівельник", 1967. – 29 с.
2. 10. Konferencija s mezinarodni ucasti. Zakladani Staveb. Brno. – 1989.
3. 17. Konferencija s mezinarodni ucasti. Zakladani Staveb. Brno. – 1989.
4. 25. Konferencija s mezinarodni ucasti. Zakladani Staveb. Brno. – 1989.
5. Березанцев В.Г. Механика грунтов, основания и фундаменты: Трансжелдориздат.-М., 1961 – 340 с.
6. СНБ 5.01.01-99. Основания и фундаменты зданий и сооружений/ Минстройархитектуры РБ.- Минск.: ГП "Минсктиппроект", 1999. –36 с.
7. Несущая способность буронабивных свай с уширениями / М.И. Никитенко, В.В. Роговенко, В.А. Сернов // Вестник БНТУ. Серия "Архитектура и строительство". – 2000. - №6. – С. 23-27.
8. Расчет оснований анкеров, свайных фундаментов и глубоких опор по предельным состояниям с применением приближенного моделирования /Ю.А.Соболевский, В.Н.Суходоев, М.И.Никитенко // Проблемы применения рациональных конструкций фундаментов в условиях белорусской ССР: Тез. докл. научно-техн. конф. – Витебск, 1976. – С. 170-184.

УДК 624.154

Чернюк В.П., Самкевич В.А., Пчелин В.Н.

ВИНТОВЫЕ СВАИ И РАСЧЕТ ИХ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

Высокая несущая и анкерующая способность, небольшая стоимость и простота конструкций фундаментов из винтовых свай, анкеров и якорей позволяют считать данный тип фундаментов прогрессивным и эффективным техническим решением. В частности, винтовые анкерные сваи, устройства и приспособления хорошо работают на вдавливающие, выдергивающие и знакопеременные нагрузки, возникающие от влияния температурных воздействий, массы конструкций и вышележащих элементов, ветровых и снеговых нагрузок, сил морозного пучения грунта, динамических усилий, гидростатического напора и др.

Возможность снижения материалоемкости (до 50%), трудоемкости (на 30...60%), стоимости возведения фундаментов (на 25...40%), сроков выполнения работ, надежности защемления конструкций обуславливают широкое применение анкерных винтовых свай и устройств при строительстве трубопроводов, линий электропередач, мостов, причалов, башен радиорелейной связи, пневматических сооружений, заглубленных сооружений, транспортных тоннелей, подпорных стен, опускных колодцев и т.п.

Винтовые сваи известны давно и применялись уже несколько десятков тысяч лет назад в Индии, Мексике, России и других районах. Высокую эффективность винтовые сваи, устройства и приспособления обеспечивают в неблагоприятных природно-климатических и мерзлотно-грунтовых условиях, преимущественно в районах распространения слабых, болотистых, водонасыщенных, пластичных и пластично-мерзлых грунтов, характеризующихся незначительными прочностными, деформативными и механическими характеристиками.

Винтовых свай в практике строительства насчитывается значительное количество, разнообразных по конструктивному решению и техническому исполнению [1, 2]. Одна из таких винтовых свай, разработанная в БГТУ и защищенная патентом РБ №5245, представлена на рис. 1.

Конструкция состоит из ствола 1, режущего резца 2 и наконечника 3. Резец 2 содержит режущую часть 4 переменного сечения и хвостовую часть 5, заведенную в продольную прорезь 6 с уширением 7 внизу в стволе 1 трубы и снабженную упором 8, с возможностью продольного перемещения в прорези 6 и освобождения от нее в уширении 7.

Для образования винтонабивной сваи в грунте необходимо сначала погружение устройства в грунт, выемку его из грунта с последующим бетонированием образовавшейся полости.

Для погружения устройства в грунт к оголовку ствола 1 прикладывают осевое усилие подачи P и крутящий момент $M_{кр}$, посредством которых труба с резцом 2 завинчивается в грунт, образуя в нем винтообразную канавку 9 (рис. 1а). При этом резец хвостовой частью 5 ориентируется в продольной прорези 6 благодаря наличию упора 8 в хвостовой части 5 и режущей части 4 переменного сечения. После погружения устройства до проектной отметки осевое усилие подачи P убирают, а завинчивание