

- где A_z, B_z, A_p, B_p — безразмерные коэффициенты, принимаемые аналогично однолопастным винтовым сваям для z -ой и i -ой лопастей в направлении действия нагрузки, в зависимости от расчетного угла внутреннего трения грунта в рабочей зоне φ_{1z} и φ_{1p} (под рабочей зоной понимается прилегающий к z -ой и p -ой лопастей, равной D_L), ед;
- C_{1z}, C_{1p} — расчетные удельные сцепления глинистого или параметр линейности песчаного грунтов в рабочей зоне z -ой и p -ой лопастей, МПа;
- φ_{1z} и φ_{1p} — расчетные значения углов внутреннего трения грунта в рабочей зоне z -ой и p -ой лопастей, град.;
- γ_{1z}, γ_{1p} — усредненные расчетные значения удельного веса грунта (с учетом взвешивания водой), залегающего выше отметок z -ой и p -ой лопастей и торца винтовой сваи, кН/м³;
- h_z и h_p — глубина залегания z -ой и p -ой лопастей от природного рельефа, м.

Шаг винта лопасти в пределах до $0,6 \cdot D_L$ существенного влияния на несущую способность Φ не оказывает, поэтому расчет Φ можно выполнять как для обычных анкерных плит.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чернюк В.П. и др. Винтовые сваи и анкеры в строительстве. — Мн.: Ураджай, 1993, -178 с.
2. Чернюк В.П., Сташевская Н.А. Устройство для изготовления винтонабивных свай. Сборник конкурсных научных работ молодых ученых, аспирантов и студентов. — Брест, БГТУ, 2004, с.106...108.

УДК 624.15;624.139.34

Чернюк В.П., Сташевская Н.А.

АНКЕРНАЯ СВАЯ И ЕЁ НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ

Анкерные сваи, устройства и приспособления широко применяются в промышленном и гражданском строительстве при возведении мостов, причалов, линий электропередач, башен радиорелейной связи, пневматических сооружений, подпорных стен, транспортных тоннелей, заглубленных подземных сооружений, при прокладке трубопроводов и в других целях [1, 2].

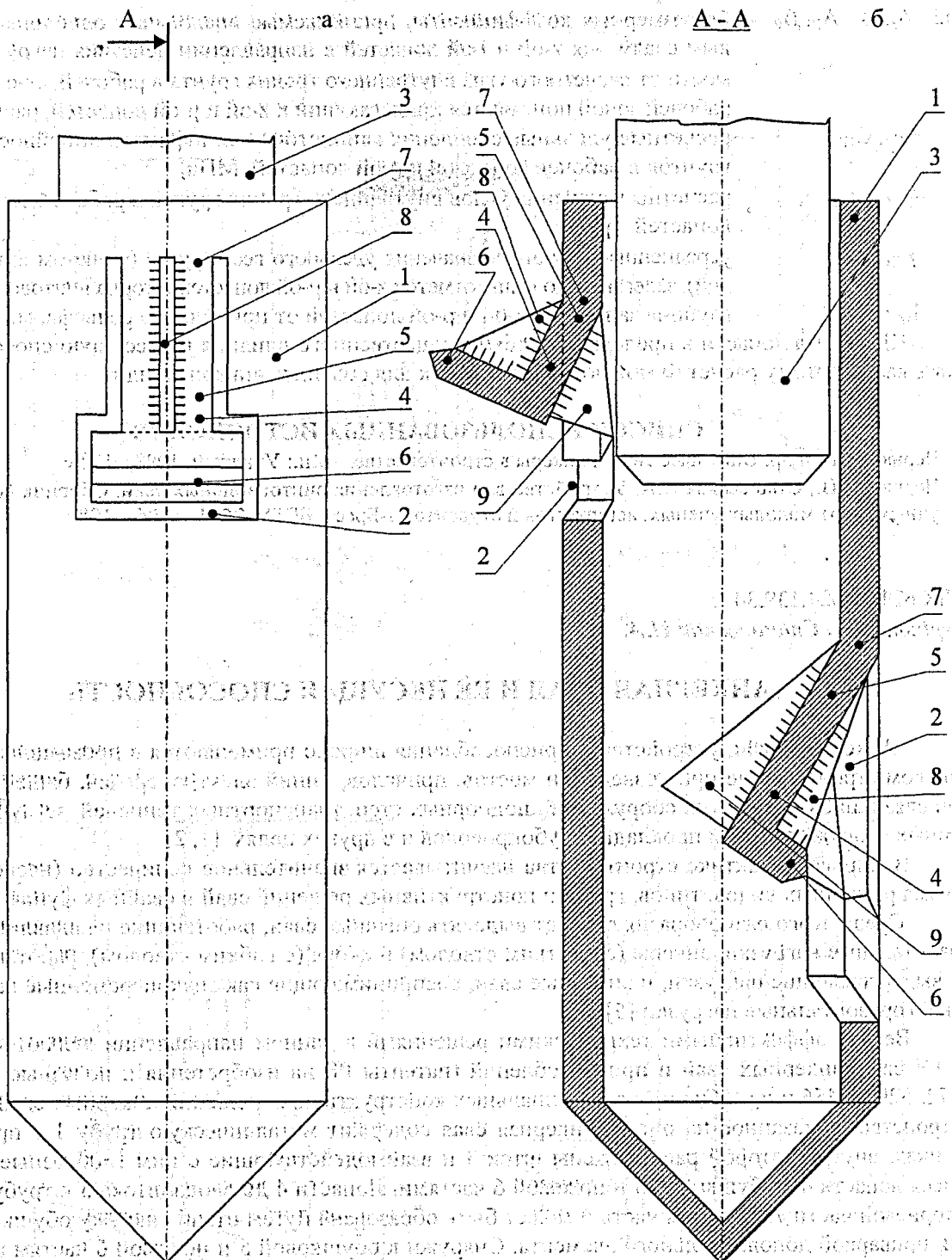
В мировой практике строительства насчитывается значительное количество (несколько тысяч) весьма различных видов, типов, групп и конструктивных решений свай и свайных фундаментов [3, 4].

Среди этого разнообразия следует выделять обычные сваи, работающие на вдавливающие и горизонтальные нагрузки, анкеры (с жестким стволом) и якоря (с гибким стволом), работающие только на выдергивающие нагрузки, и анкерные сваи, воспринимающие как знакопеременные вертикальные, так и горизонтальные нагрузки [5].

Весьма эффективными техническими решениями в данном направлении являются разработки БГТУ свай, анкерных свай и приспособлений (патенты РБ на изобретения и полезные модели №№ 5272, 5298, 5456 и др.). Одним из оригинальных конструктивных решений анкерных свай может быть устройство, показанное на рис.1. Анкерная свая содержит металлическую трубу 1 с прорезями 2 в стенках, внутри которой расположены шток 3 и взаимодействующие с ним L-образные раскрывающиеся лопасти 4 с обушковой 5 и ножевой 6 частями. Лопасти 4 до ввода штока 3 в трубу 1 отогнуты в корневой части 7. Ножевая часть 6 может быть образована путём отгиба наружу обушковой части 5 или приваркой дополнительного элемента. Снаружи к обушковой 5 и ножевой 6 частям приваривается электросваркой наружная косынка 8, а к внутренней стороне обушковой части 5 приваривается внутренняя косынка 9.

Раскрытие каждой лопасти 4 и внедрение её ножевой части 6 в грунт происходит следующим образом. При погружении штока в трубу 1 верхняя лопасть под действием расклинивающих усилий штока 3 через внутреннюю косынку 9 раскрывается, а изогнутая её ножевая часть 6 и наружная косынка 8 через соответствующую им прорезь внедряются в грунт.

При дальнейшем погружении штока 3 в трубу 1 последовательно сверху вниз раскрываются остальные лопасти 4, а изогнутые их ножевые части 6 внедряются в грунт. После полного погружения штока 3 и последовательного раскрытия всех лопастей 4 производится загрузка сваи полезной вертикальной или горизонтальной нагрузками. При раскрытии лопастей 4 усилие от штока 3 на лопасти 4 передаётся через внутреннюю косынку 9. При этом лопасть 4, её уширенная ножевая 6 и обушковая 5 части внедряются в грунт больше обычного.



а – общий вид; б – продольный разрез.

1 – металлическая труба; 2 – прорези; 3 – шток; 4 – лопасти; 5 – обушковая часть; 6 – ножевая часть; 7 – корневая часть; 8 – наружная косынка; 9 – внутренняя косынка.

Рисунок 1 – Конструкция анкерной сваи с опорными лопастями

Наружная косынка 8 повышает жёсткость ножевой и обушковой частей, внутренняя косынка 9 — раскрывает лопасть 4 в грунт, уплотняет его, что в совокупности с уширенной ножевой частью повышает несущую способность свай по грунту основания и по материалу конструкции.

В качестве материала свай могут быть использованы составные или цельные стержни — деревянные, металлические, железобетонные, а также крупнокусковые камень, галька, валуны. Во избежание трещин, разрывов в месте изгиба может быть применена соответствующая термообработка металла, например, отпуск или отжиг. Для обеспечения забивки анкерной сваи в грунт нижний конец конструкции может быть выполнен острым или закрыт коническим наконечником.

Данная анкерная свая по сравнению с известной (прототипом) по а.с. СССР 647402 обладает повышенной несущей способностью по материалу свай и по грунту основания на действие различных видов нагрузок, а также, как и известная, обладает минимальной материалоемкостью (металлоёмкостью) за счёт рационального изготовления лопастей и простотой конструкции.

Основным требованием, предъявляемым к надёжности работы и качеству погружения свай, является их высокая несущая способность. Под несущей способностью свай понимают предельно допустимую нагрузку, приложенную к ней. Это требование относится и к свайным фундаментам, состоящим из одной или нескольких свай.

На величину несущей способности свай влияют различные факторы, в том числе и производственного характера: метод погружения, точность погружения свай, достигнутая глубина погружения, режим работы сваепогружающего механизма, очередность погружения свай и т.д.

Несущую способность одиночных свай всех видов определяют как наименьшее из двух значений несущих способностей, полученных из условия сопротивления грунта основания и по условию сопротивления материала свай. Несущая способность одиночных свай по условию сопротивления грунта основания зависит от механических свойств грунта и от метода устройства или погружения свай, в то время как по условию сопротивления материала свай — от прочностных характеристик последнего.

Существуют три метода определения несущей способности одиночных свай: расчётный, динамический, основанный на использовании результатов пробной забивки свай, и статический, при котором используют данные, полученные при погружении свай статическими нагрузками или зондированием грунта. Как наименее трудоёмкий и практически не требующий денежных средств, расчётный способ получил наиболее широкое распространение в строительстве при проектировании свайных фундаментов.

Независимо от вида свай, исключая сваи-стойки, несущая способность по грунту основания складывается из сопротивления грунта основания нормальному давлению под нижним концом ствола, под или над лопастями свай (при их наличии) в зависимости от направления действия внешней нагрузки и сопротивления сцепления грунта с боковой поверхностью ствола свай.

Для многолопастных анкерных свай глубокого заложения несущая способность по грунту основания при работе на выдёргивающие нагрузки определяется по формулам, мН, в зависимости от расчётной схемы (разработки БГТУ [6...8], рис.2):

— в немерзлых грунтах

$$\phi = m \cdot (m_R \cdot \sum_{z=1}^p R_z \cdot F_z + U \cdot \sum_{i=1}^n m_f \cdot f_i \cdot l_i); \quad (1)$$

— в мерзлых грунтах

$$\phi = m \cdot (\sum_{z=1}^p R_z \cdot F_z + \sum_{i=1}^n R_{cmi} \cdot F_{cmi}) \quad (2)$$

То же, при работе на вдавливающие нагрузки

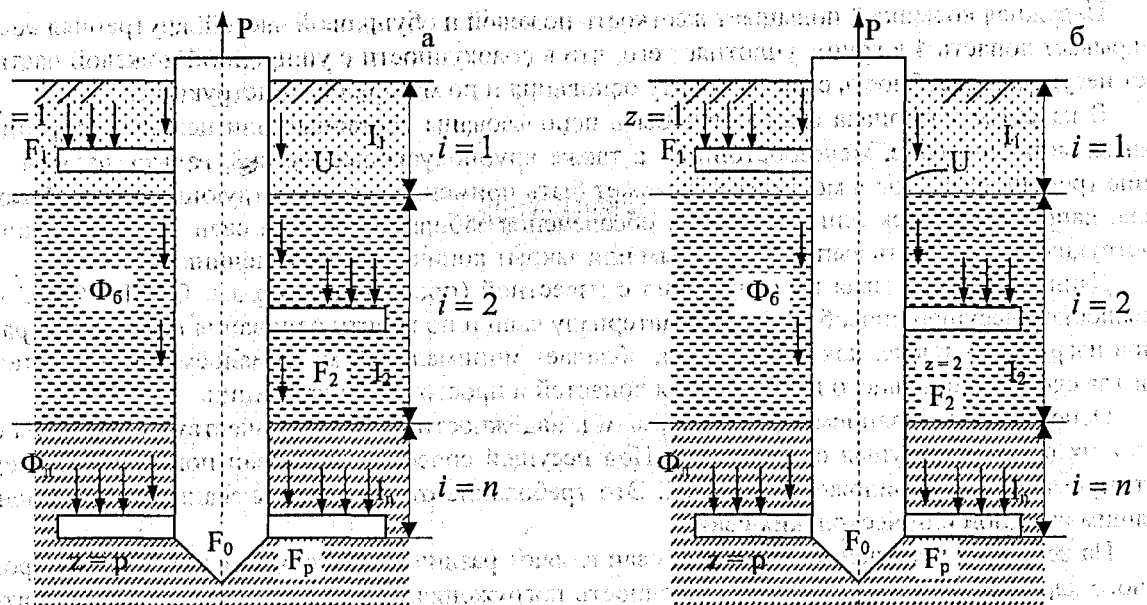
— в немерзлых грунтах

$$\phi = m \cdot [m_R \cdot \sum_{z=1}^p (R_z \cdot F_z + R \cdot F_0) + U \cdot \sum_{i=1}^n m_f \cdot f_i \cdot l_i]; \quad (3)$$

— в мерзлых грунтах

$$\phi = m \cdot [\sum_{z=1}^p (R_z \cdot F_z + R \cdot F_0) + \sum_{i=1}^n R_{cmi} \cdot F_{cmi}], \quad (4)$$

где i — номер слоя в пределах расчётной толщи основания от нижнего конца свай, ед;
 n — число слоёв, на которые разделяется толщина основания в пределах боковой поверхности свай, ед;



$$\phi_0 = mu \sum_{i=1}^n m_f f_i I_i$$

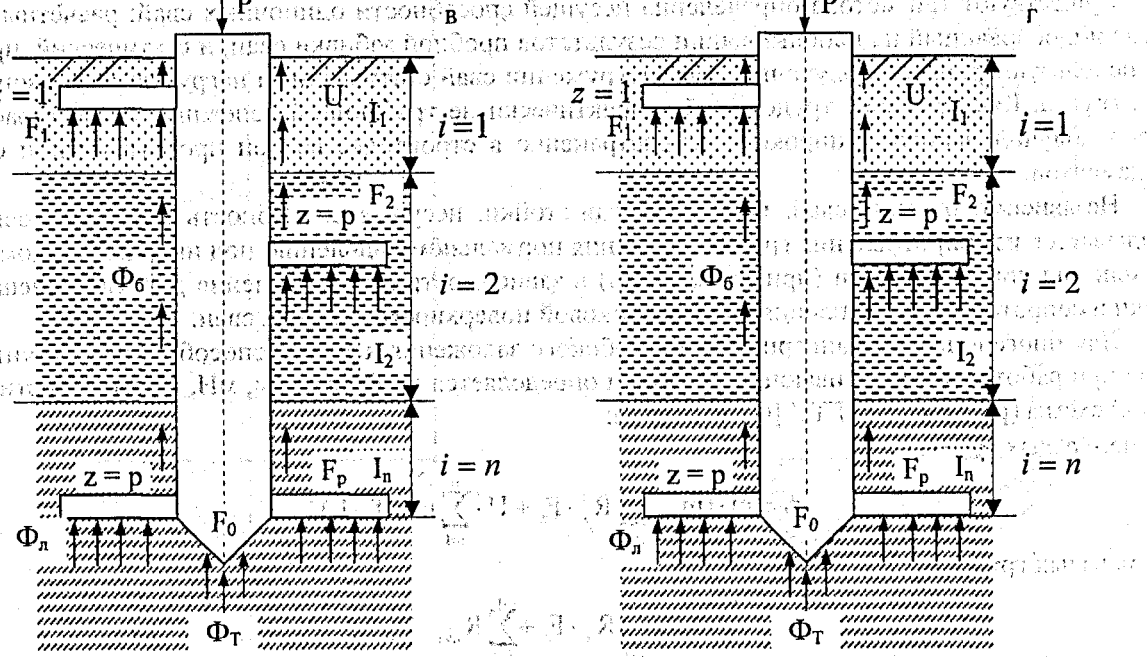
$$\phi_0 = m \sum_{i=1}^n R_{cmi} F_{cmi}$$

$$\phi_n = mm_R \sum_{z=1}^p R_z F_z$$

$$\phi_n = m \sum_{z=1}^p R_z F_z$$

$$\phi = \phi_0 + \phi_n$$

$$\phi = \phi_0 + \phi_n$$



$$\phi_0 = mu \sum_{i=1}^n m_f f_i I_i$$

$$\phi_0 = mu \sum_{i=1}^n m_f f_i I_i$$

$$\phi_n + \phi_T = mm_R \sum_{z=1}^p (R_z F_z + R F_0)$$

$$\phi_n + \phi_T = mm_R \sum_{z=1}^p (R_z F_z + R F_0)$$

$$\phi = \phi_0 + \phi_n + \phi_T$$

$$\phi = \phi_0 + \phi_n + \phi_T$$

а, б – на действие выдёргивающей нагрузки в немерзлых и мерзлых грунтах;
в, г – на действие вдавливающей нагрузки

Рисунок 2 – Расчётные схемы для определения несущей способности анкерной сваи

- z — номер лопасти анкерной сваи в пределах от дневной поверхности до нижнего конца сваи, ед;
- p — число лопастей анкерной сваи в пределах боковой поверхности ствола, ед;
- m — коэффициент условий работы сваи в грунте, ед, принимаемый согласно СНБ 5.01.01-99 «Основания и фундаменты зданий и сооружений»;
- R — расчетное сопротивление под нижним концом сваи, МПа;
- R_z — расчетное сопротивление под или над z -той лопастью, МПа;
- F_o — площадь опирания торца сваи на грунт, m^2 ;
- F_z — площадь опирания на грунт z -ой лопасти анкерной сваи в направлении действия нагрузки, m^2 ;
- F_p — площадь опирания на грунт нижней лопасти анкерной сваи в направлении действия нагрузки, m^2 ;
- f_i — расчетное сопротивление i -го слоя основания на боковой поверхности сваи, МПа;
- l_i — толщина i -го слоя грунта, соприкасающаяся с боковой поверхностью сваи, м;
- U — наружный периметр поперечного сечения ствола сваи, м;
- R_{cmi} — расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу по поверхности смерзания для середины i -го слоя грунта, МПа;
- $F_{cmi} = U \cdot l_i$ — площадь поверхности смерзания i -го слоя мерзлого грунта с боковой поверхностью сваи, m^2 ;
- m_R, m_f — коэффициенты условий работы грунта соответственно под или над уширениями либо лопастями, по длине ствола и под нижним концом сваи, принимаемые независимо друг от друга в зависимости от вида грунта и способа устройства, ед, определяемые согласно СНБ 5.01.01-99 «Основания и фундаменты зданий и сооружений», $m_R=0,8...1,2$ и $m_f=0,5...1,0$.

Лопастей анкерных свай и якорей под действием выдергивающей нагрузки перемещаются в две фазы. В первой фазе вышележащий грунт уплотняется и в нём образуется ядро, которое имеет форму конуса с вершиной по оси анкера. Такое ядро при дальнейшем увеличении нагрузки на сваю действует как тело, расклинивающее, уплотняющее и сдвигающее грунт. При перемещении сваи во второй фазе образуется коническое тело выпора (при мелком заложении лопасти) или происходит вдавливание грунта в стороны уплотнённым ядром (при глубоком заложении лопасти).

При приложении выдергивающей нагрузки напряжения в грунте анкерных свай и якорей глубокого заложения концентрируются в зоне над лопастью, не выходя на поверхность основания, а мелко-го заложения — у поверхности основания.

Несущую способность анкерных свай мелкого заложения при работе на выдергивающие нагрузки следует определять другими способами (методами Бреннеке, ЦНИИлесосплава или по [8]). В расчётах немецкого инженера начала прошлого века Бреннеке сопротивление выдергиванию анкерной сваи или анкера приравнивалось весу усечённого конуса грунта. В результате опытов ЦНИИлесосплава как в лабораторных, так и в естественных условиях была выведена эмпирическая формула, устанавливающая зависимость между допустимой выдергивающей силой P , диаметром лопасти D_L , глубиной её погружения H , углом внутреннего трения грунта ϕ и плотностью γ с учётом возникающих сил трения грунта. Обе методики являются несовершенными, а более точным — способ расчёта по [8].

Одним из факторов, влияющих на несущую способность анкерных и винтовых свай как при вдавливающих нагрузках, так и при выдергивании, являются глубина погружения их лопастей. В однородных грунтах с увеличением глубины погружения до критической несущая способность анкерной сваи растёт непрерывно и интенсивно, критическая глубина находится на границе изменения схемы работы анкера от мелкозаглубленного до глубокозаглубленного.

Анализ результатов испытаний анкерных свай, которые проводились в разнообразных грунтовых условиях на мерзлых и немерзлых грунтах, позволяет рекомендовать оптимальную глубину погружения стволов свай в однородных грунтах: глинистых — более $(12...15) \cdot l$, песчаных — более $(15...20) \cdot l$, где l — длина лопастей от ствола.

Стволы анкерных свай и анкеров рекомендуется изготавливать в виде отдельных металлических труб или стержней. Они имеют незначительные по сравнению с анкерующими лопастями размеры. Поэтому несущая способность такого анкера или якоря весьма велика и определяется в основном параметрами лопасти и глубиной её погружения в грунт.

При размерах лопастей свай и анкеров, работающих на вдавливающие и выдёргивающие нагрузки, в немерзлых грунтах, длиной более 1,2 м и глубиной погружения более 10 м, несущую способность следует определять по данным испытания свай статическими нагрузками.

При определении несущей способности анкерных свай на вдавливающие нагрузки характеристики и расчётные сопротивления грунтов относятся к грунтам, залегающим под лопастями, а при работе на выдёргивающие нагрузки – над лопастями свай.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показывают высокую надёжность работы и несущую способность предлагаемых БГТУ анкерных свай.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спиридонов В.В., Пчелин В.Н., Чернюк В.Н. Конструкции анкерных устройств и приспособлений с опорными лопастями. Обзорная информация «Строительство предприятий нефтяной и газовой промышленности». Серия: «Механизация строительства», вып.5.-М.:Информнефтегазстрой,1983,-65с.
2. Спиридонов В.В., Пчелин В.Н., Чернюк В.Н. Анкерные устройства и приспособления в строительстве. Обзорная информация «Строительство предприятий нефтяной и газовой промышленности». Серия: «Линейное трубопроводное строительство», вып.2.-М.:ВНИИПКтехоргнефтегазстрой,1986,-65с.
3. Чернюк В.П., Пчелин В.Н., Сеськов В.Е. Эффективные конструкции анкерных и винтовых свай в промышленном и гражданском строительстве. Экспресс-информация. Серия: «Строительство. Архитектура».-Мн.:БелНИИТИ,1983,-22с.
4. Спиридонов В.В., Пчелин В.Н., Чернюк В.П. Основания и фундаменты нефтегазопромысловых объектов в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов. Обзорная информация «Основные направления развития отрасли». Серия: «Строительство нефтепромысловых объектов», вып.9.-М.: ВНИИПКтехоргнефтегазстрой,1990,-44с.
5. Чернюк В.Н., Пчелин В.Н., Черноиван В.Н. Винтовые сваи и анкеры в строительстве.-Мн.: «Ураджай»,1993,-178с.
6. Рекомендации по устройству и методике расчёта анкерных свай в условиях распространения вечномёрзлых грунтов. Р407-80.-М.:ВНИИСТ,1981,-34с.
7. Рекомендации по устройству и методике расчёта анкерных свай в условиях распространения вечномёрзлых грунтов. Р480-82.-М.:ВНИИСТ,1983,-36с.
8. Чернюк В.П., Пойта П.С. Расчёт, проектирование и устройство свайных фундаментов.-Брест, облтипография,1998,-216с.

УДК 624.12+624.15

Уласик Т.М.

МОДЕЛЬ КОНТАКТНОГО СДВИГА В ПРОЧНОСТНЫХ ИСПЫТАНИЯХ ГРУНТОВ

Испытания грунтов на срез (сдвиг) предполагают определенные условия, при которых сдвиговые или срезные приборы работают на основе моделей, позволяющих оценить как начальное напряженное состояние, так и состояние предельного равновесия грунта.

За основу модели контактного сдвига принято допущение: вся зона деформаций грунта разделяется на зону упругих деформаций и область пластических деформаций. Модель контактного сдвига соответствует феноменологической модели. При этом условная граница, отделяющая слой пластических деформаций скольжения зерен грунта от области упругих деформаций в массиве грунта, располагается нормально по отношению к дилатантной составляющей сдвига $\Delta\sigma_d$. Деформации формоизменения при сдвиге, связанные с явлениями дилатансии или контракции, ведет к расширению или сужению полосы сдвига. Дилатантные напряжения неотъемлемо связаны с дилатантными перемещениями и упругими деформациями, происходящими в исследуемом грунте. От того, насколько значительными будут изменения нормального давления, зависит весь процесс сдвига грунта.

Дилатантные перемещения для условий «стесненной» дилатансии, определенные нами при испытании песка крупного, среднеоднородного ($U_{max} = 6,28$) довольно незначительны и составляют $\delta_d = 0,14$ мм, $\sigma_o = 0,1$ МПа; $\delta_d = 0,19$ мм, $\sigma_o = 0,2$ МПа с коэффициентом упругого отпора $K = 420$ МН/м³. Соответствующие им дилатантные напряжения составили 0,05 МПа и 0,075 МПа. Очевидно, что пере-