

РАЦИОНАЛЬНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ ДЛЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

THE RATIONAL FOUNDATIONS FOR CATTLE-BREEDING COMPLEXES

*Валерий Ефимович Сеськов, канд. техн. наук, доцент, заведующий отделом "Оснований и фундаментов" РУП "Институт БелНИИС", лауреат премии Совета Министров БССР и Республики Беларусь
Лях Вадим Николаевич, заведующий лабораторией РУП "Институт БелНИИС"*

В статье приводятся результаты исследований несущей способности набивных фундаментов с микросваями в выштампованных котлованах, технология их изготовления при строительстве животноводческих комплексов в разных грунтах, методы расчета при проектировании, экономические показатели.

The article shows the results of researching the bearing capacity of stuffed foundations with micro-piles in stamped pits. The technology of the foundations arrangement while erecting cattle-breeding complexes on various soils, calculation methods for designing and economic indicators are represented.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при строительстве животноводческих комплексов используются трехшарнирные железобетонные прямоугольного сечения рамы в виде арок пролетом до 24,0 м и высотой до 4,0 м, расположенные с шагом до 6,0 м (серия 1.822.1-2/82, 1.822.1-6, 1.822.1-5 и 1.822.1-10-93), разработанные институтом "ЦНИИЭПсельстрой" г. Москва [1].

Наличие трех шарниров приводят к тому, что на фундаменты, на которые опираются эти рамы, передаются распорные (наклонные) нагрузки (N), имеющие вертикальную (P) и горизонтальную (H) составляющие.

Диапазон применения вертикальной составляющей (P) находится в пределах от 94 до 367 кН, а горизонтальной составляющей (H) – от 50 до 322 кН.

Для восприятия нагрузок от трехшарнирных рам должны применяться фундаменты, имеющие повышенную сопротивляемость горизонтальным воздействием на них. С этой целью "ЦНИИЭПсельстроем" были разработаны типовые серии 1.812.1-8.93 "Фундаменты под трехшарнирные железобетонные рамы", которые и применяются в большинстве случаев при строительстве арочников. По типовой номенклатуре объем фундаментов составляет от 0,71 до 1,66 м³, с расходом стали от 31,6 до 54,0 кг на один фундамент. К тому же для восприятия горизонтальных нагрузок более 100 кН делается дополнительно наклонная подготовка объемом 1,0 м³ и более. К тому же фундаменты устраиваются в котлованах глубиной от 1,5 до 3,0 м. Все это ведет к существенному удорожанию работ по их возведению.

Достаточно широкое применение, особенно в 1980-1990 г.г. при строительстве зданий из трехшарнирных рам получили забивные пирамидальные сваи.

Согласно типовой номенклатуре эти сваи могут выполняться как с консолью, в которой расположено гнездо для опоры трехшарнирной рамы, так и без консоли с гнездом для опоры, расположенным в пределах верхнего сечения сваи [2].

Забивные пирамидальные сваи более эффективны по сравнению со сборными фундаментами с наклонной подошвой, так как расход железобетона меньше и находится в диапазоне 0,59 до 0,752 м³ на одну сваю, расход металла до 85 кг/м³. Основным недостатком это трудности забивки пирамидальных свай вследствие большого угла наклона боковых граней, особенно, в песчаных грунтах средней прочности и прочных, а так же в моренных грунтах. Это требует достаточно дорогостоящих дополнительных

работ (лидерные скважины, подмыв и т.д.), а если не удастся забить до проектной отметки, то срезка такой сваи (вследствие большого сечения) очень трудоемка.

В 90-х годах в РУП "Институт БелНИИС" были разработаны набивные фундаменты с микросваями в выштампованных котлованах (далее ФСМ) и оборудование для их устройства [3-8]. В последние годы проведены работы по усовершенствованию оборудования, штампов, которые помогут широко применяться в практике строительства зданий с трехшарнирными рамами и другими видами зданий с горизонтальными нагрузками. Оборудование по изготовлению ФСМ в 1992 году было передано по договорам КНР, Украине, России.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ФСМ

ФСМ изготавливается в результате групповой забивки штампов-скважинообразователей с последующим бетонированием скважин микросвай и котлована ростверка. Изготовление скважин и котлована под ФСМ осуществляется с применением комплекта специальных штампов-скважинообразователей (фото 1, таблица 1) по конструкторской документации ТО-461.21, ТО-468, ТО-580, ТО-581, выполненных по форме ФСМ и навешенных на копрах типа С-878С, С-995, С-996 и др. снабженных приводом на серийно выпускаемых сваебойных установках.



Фото 1 - Общий вид штампа-скважинообразователя ФСМ

Таблице 1 - Технические параметры штампов-скважинообразователей

Показатель	Шифр рабочего чертежа штампа			
	ТО-461.21	ТО-468	ТО-580	ТО-581
Размеры ростверка, мм:				
в плане, а×в	900×700	1200×1100	1400×1000	1000×800
высота	500	500	500	500
Размеры микросвай, мм:				
диаметр в верхней части	140	150	160	150
диаметр в нижней части	70	100	90	80
длина	1000	1000	1000	1000
Количество микросвай, шт.	3	4	4	3

Забивка и извлечение штампа-скважинообразователя из грунта осуществляется сваебойной установкой. В зависимости от назначения, конструктивных решений фундаментов (ленты, столбчатые, отдельные для распорных нагрузок), передаваемых нагрузок и грунтовых условий применяются ФСМ различных размеров, примеры технических характеристик которых указаны в таблице 2.

Таблица 2 - Геометрические параметры натуральных образцов набивных ФСМ

Опытная площадка (марка штампа ФСМ)	Количество ФСМ в кусте (количество микросвай)	Размеры заглубленного ростверка, мм			Размеры микросвай, мм			Объем бетона, м ³
		длина, а	ширина, b	высота, h	длина, l	диаметр по верху	диаметр по низу	
№1, №2 №3, №5 (ТО 461.21)	2 (6)	1500	900	500	1000	140	70	0,814
№4 (ТО 468)	1 (4)	1500	900	500	1000	150	100	0,744
№6 (ТО 461.21)	1 (3)	900	700	500	1000	140	70	0,392

Технология устройства ФСМ под трехшарнирные рамы сельскохозяйственных зданий показана на фото 2 - 5.



Фото 2 - Установка штампа-скважинообразователя ФСМ на точку забивки

В таблице 3 приведено сопоставление ФСМ с другими фундаментами под трехшарнирные рамы в идентичных грунтовых условиях и с одинаковыми распорными нагрузками на них. Анализ таблицы показывает, что ФСМ является наиболее экономичным вариантом.



Фото 3 - Забивка, извлечение штампа-скважинообразователя ФСМ и переезд сваебойки на другую точку



Фото 4 - Выштампованный котлован под ФСМ и его бетонирование



Фото 5 - Готовый ФСМ под опоры трехшарнирных рам

Таблица 3 - Сопоставление параметров набивных ФСМ с другими фундаментами под трехшарнирные рамы

Вид фундамента	Вид грунтового основания	Допустимая нагрузка, кН		Деформация грунтового основания, мм		Объем бетона (и других материалов), м ³	Вес арматуры, кг		
		вертикальная	горизонтальная	вертикальная	горизонтальная				
ФСМ	Суглинок моренный	330	180	9,0÷11,0	8,0÷11,0	0,750	28,0-30,0		
	Песок мелкий средней прочности			4,0÷6,0	8,0÷10,5				
Свая пирамидальная забивная СПК 3.80.70	Суглинок моренный			12,0÷14,0	8,0÷10,5	0,752	50,0-58,0		
	Песок мелкий средней прочности			8,0÷10,0	8,0÷10,0				
Сборный фундамент с наклонной подошвой Ф18.15.12	Суглинок моренный					до 15,0	до 12,0	1,02 (1,01)	36,1
То же, Ф24.12.12	Песок мелкий средней прочности					до 12,0	до 10,0	1,42 (1,37)	46,6
Набивной фундамент с наклонной подошвой оголовка и двумя вытрамбованными сваями длиной до 2,0 м	Суглинок моренный					до 14,0	до 12,0	0,75÷0,80 (0,5-0,8)	30,0-34,0
	Песок мелкий средней прочности			до 12,0	до 10,0				

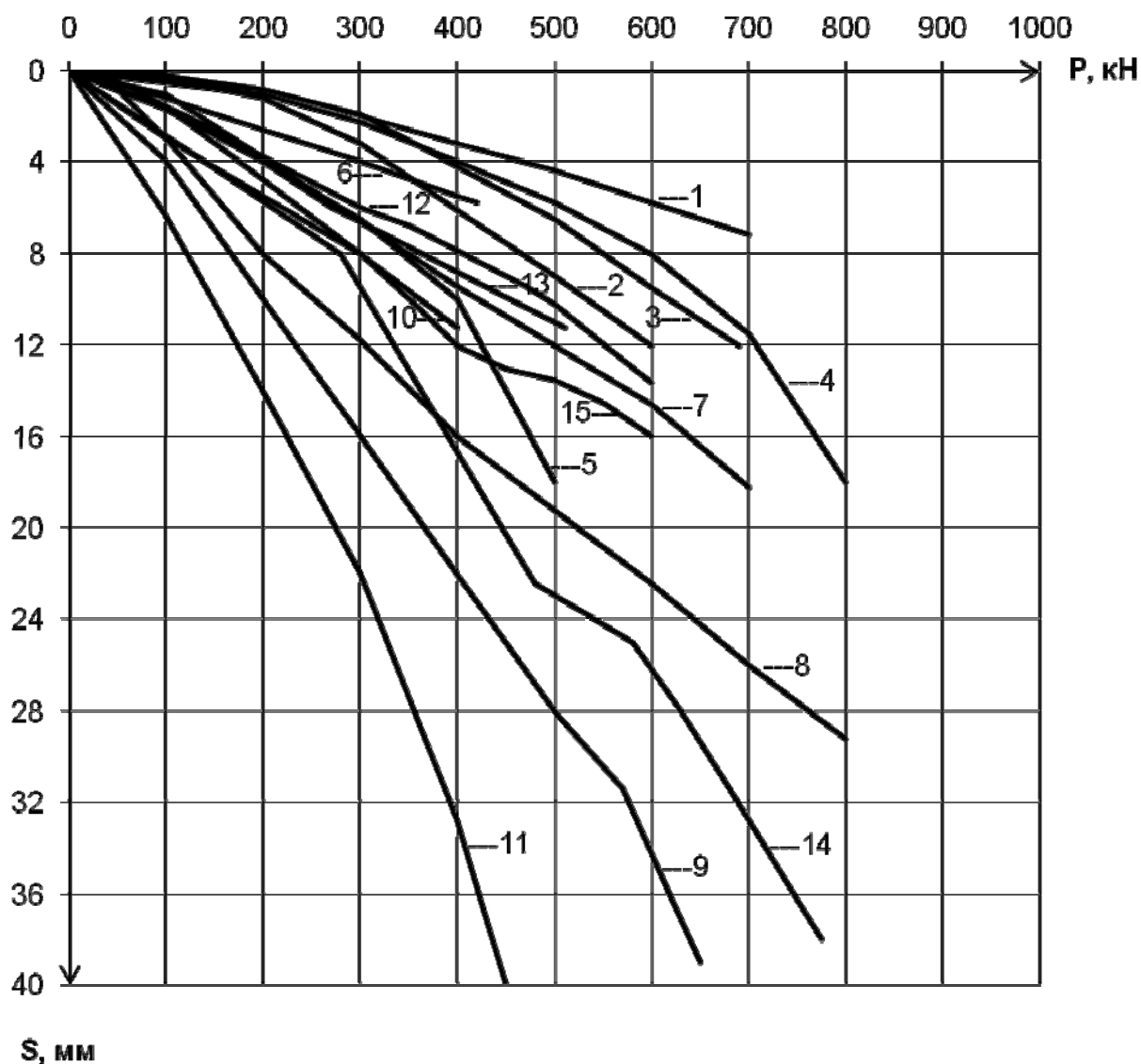
Примечания.

1. Для фундамента Ф18.15.12 в скобках указан объем дополнительной уплотненной песчаной подготовки.
2. Для фундамента Ф24.12.12 в скобках указан объем дополнительной бетонной подготовки.
3. Для набивного фундамента с наклонной подошвой оголовка в скобках указан дополнительный объем щебня втрамбованного в основание.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ФСМ

Особенностью ФСМ является то, что в процессе забивки штампа происходит интенсивное уплотнение грунтов, как по глубине, так и в стороны от оси фундамента. Это способствует получению одной из наиболее высоких удельных несущих способностей (до 3000 кН/м² бетона) среди всех видов фундаментов, применяемых в настоящее время в строительной отрасли Беларуси.

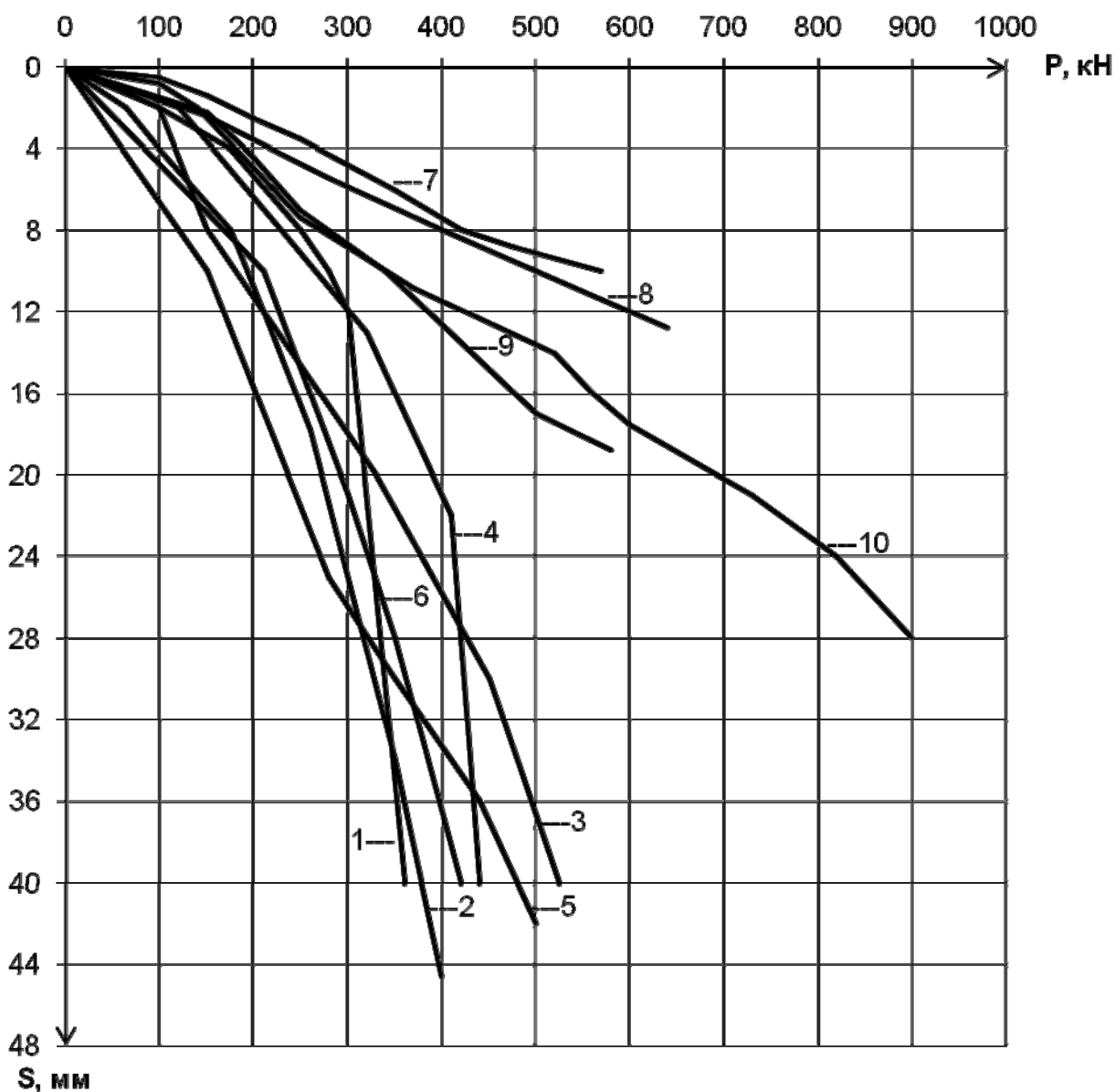
Для разработки методов расчета ФСМ были проведены натурные испытания в основных видах грунтов Беларуси. На вертикальные и горизонтальные нагрузки. На рисунке 1 приведены результаты некоторых испытаний в песчаных грунтах различной прочности, а на рисунке 2 в глинистых различного генезиса (моренных, лессовидных, озерно-ледниковых, аллювиальных). Всего было выполнено более 40 статических испытаний натуральных образцов ФСМ.



1 - пески крупные и средней крупности естественного сложения (ТО 461); 2, 3, 4 - то же, насыпные (ТО 461); 5 - то же, с прослоями песков малопрочных естественного сложения (ТО 580); 6, 7, 8, 9 - пески мелкие естественного сложения (ТО 461); 10, 11 - пески мелкие насыпные (ТО 461); 12, 13 - пески мелкие намывные (ТО 461); 14 - песок пылеватый насыпной (ТО 461); 15 - песчано-глинистый грунт насыпной (ТО 461).

Рисунок 1 - Графики зависимости осадки (S) от вертикальной нагрузки (P) для ФСМ (ТО 461 и ТО 580) при статических испытаниях в песчаных грунтах.

Анализ результатов испытаний показывает, что несущая способность колеблется от 400 до 1200 кН и зависит от плотности грунтов (прочности), размеров штампов, т.е. все это влияет на сопротивление грунта по подошве заглубленного ростверка, острию микросвай и боковой поверхности микросвай; нормальным давлением грунта по боковой поверхности микросвай (боковым отпором), вызванным конусообразной формой микросвай и ростверка.



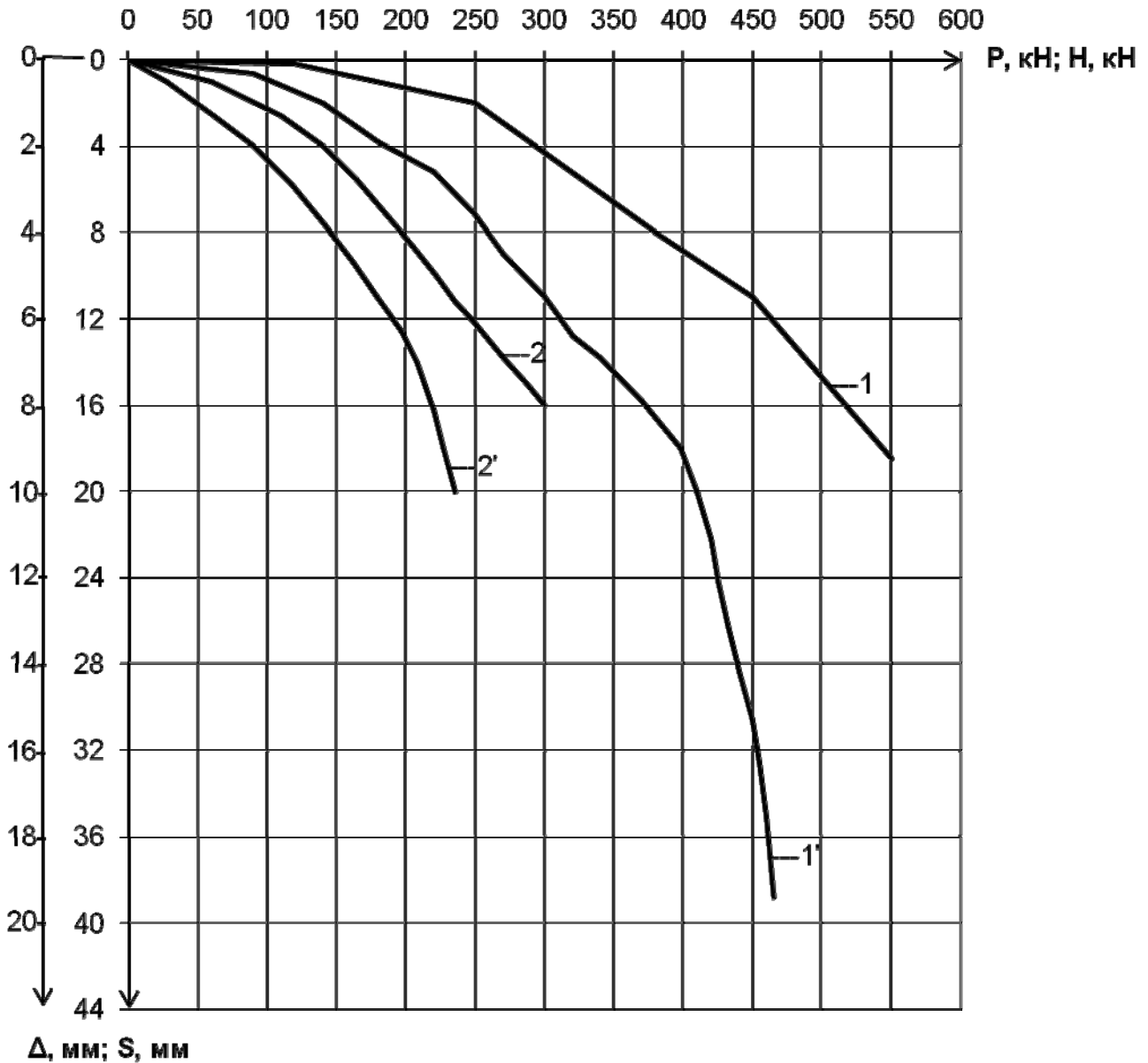
1, 2 - ленточные глины с тугопластичным показателем текучести (ТО 461);
 3, 4, 5, 6 - суглинки с показателем текучести от текучего до тугопластичного (ТО 461);
 7, 8, 9 - супеси с пластичным и твердым показателем текучести (ТО 461); 10 - супесь с пластичным показателем текучести (ТО 468).

Рисунок 2 - Графики зависимости осадки (S) от вертикальной нагрузки (P) для ФСМ (ТО 461 и ТО 468) при статических испытаниях в пылевато-глинистых грунтах.

Проведены испытания ФСМ на совместное действие вертикальных и горизонтальных нагрузок (рисунки 3 и 4), которые показывают, что в зависимости от применяемого штампа (ТО-461, ТО-468, ТО-580) фундамент воспринимает вертикальную нагрузку до 800 кН и горизонтальную до 350 кН.

На основании экспериментальных и теоретических исследований разработана методика расчета по несущей способности, где учитывается сопротивление грунта под ростверком, концами микросвай и на боковой их поверхности.

Методы расчета в статье не приводятся, а достаточно подробно они изложены в работах [9,10]. В данной статье приводим лишь основные принципы расчета. Расчет оснований ФСМ по несущей способности на горизонтальную нагрузку производится из следующих условий:



1, 1' - кривые $S = f(P)$ соответственно без замачивания и с замачиванием грунта; 2, 2' - то же, для кривой $\Delta = f(H)$.

Рисунок 3 - Графики зависимости осадки (S) и горизонтального перемещения (Δ) от вертикальной нагрузки (P) и горизонтальной нагрузки (H) в лессовидных суглинках с замачиванием основания для ФСМ (ТО 468).

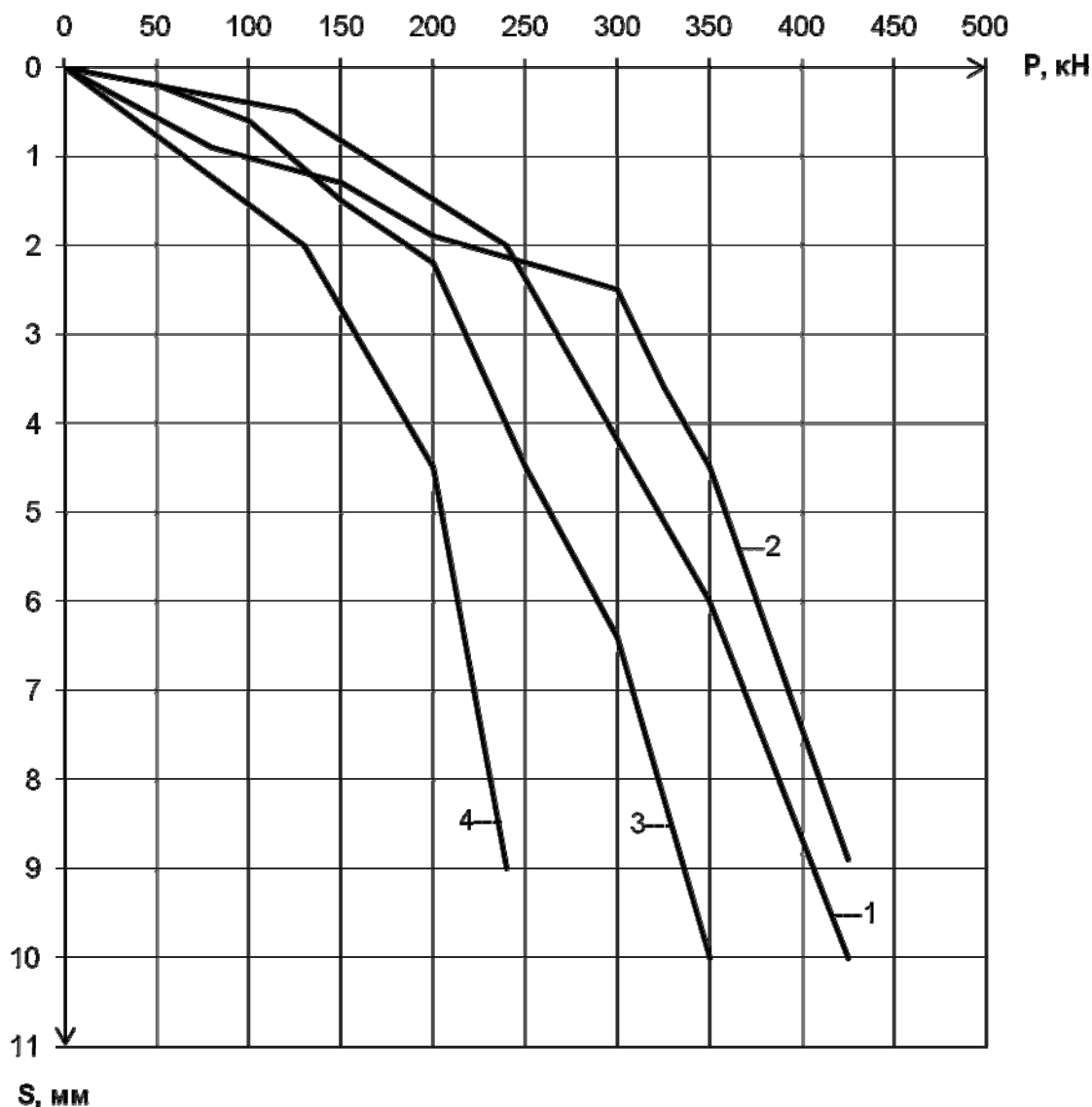
$$F_h \leq \gamma_c \cdot \frac{F_{sz}}{\gamma_n}, \quad (1)$$

где F_h - горизонтальная расчетная нагрузка на фундамент;

F_{sz} - сумма проекций удерживающих сил на плоскость сдвига по подошве заглубленного ростверка;

γ_n - коэффициент надежности, равный для зданий I класса ответственности – 1,2, II класс – 1,15, III класс – 1,10.

γ_c - коэффициент условий работы, зависящий от вида грунта и приведенный в [9], находится в диапазоне 0,8-1,7.



1 - зависимость осадки (S) от наклонной нагрузки (N); 2 - зависимость горизонтального перемещения (Δ) от наклонной нагрузки (N); 3 - зависимость осадки (S) от вертикальной составляющей (P) наклонной нагрузки (N); 4 - зависимость горизонтального перемещения (Δ) от горизонтальной составляющей (H) наклонной нагрузки (N).

Рисунок 4 - Графики зависимости перемещений ФСМ (ТО 580) от наклонной нагрузки (N) в насыпных песчаных грунтах мощностью 1,5 м.

Сумма проекций удерживающих сил (F_{sz}) на плоскость сдвига по подошве заглубленного ростверка складывается из следующих величин:

- силы сцепления уплотненного грунта между подошвой ростверка и уплотненным грунтом, определяемой площадью подошвы заглубленного ростверка и удельным сцеплением уплотненного грунта (C_y);

- силы трения уплотненного грунта (φ_y) о подошву заглубленного ростверка, определяемой величиной вертикального пригруза и углом внутреннего трения уплотненного грунта (φ_y);

- силы пассивного отпора грунта по боковой поверхности заглубленного ростверка и микросвай.

Параметры прочности уплотненного грунта (C_y) и (φ_y) определены экспериментально-теоретическим путем и приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Физические характеристики вида грунта основания

Физические характеристики	φ_y	C_y
Песчаные грунты		
$e < 0,60$	$\varphi_y = \varphi_l + 1^\circ$	$C_y = 1,0C_l$
$0,60 \leq e \leq 0,75$	$\varphi_y = \varphi_l + 2^\circ$	$C_y = 1,3C_l$
$e > 0,75$	$\varphi_y = \varphi_l + 3^\circ$	$C_y = 1,3C_l$
Пылевато-глинистые грунты		
$I_L < 0,2$	$\varphi_y = \varphi_l + 1^\circ$	$C_y = 1,1C_l$
...	$\varphi_y = \varphi_l + 2^\circ$	$C_y = 1,25C_l$
$0,2 \leq I_L \leq 0,6$	$\varphi_y = \varphi_l + 2^\circ$	$C_y = 1,6C_l$
$0,6 < I_L \leq 0,8$	$\varphi_y = \varphi_l + 1^\circ$	$C_y = 1,4C_l$

Примечания.

1. C_l, φ_l – соответственно расчетное удельное сцепление и угол внутреннего трения грунта природного залегания, определяемые по данным инженерно-геологических изысканий.
2. В случае когда значения C_y и φ_y указаны дробью, знаменатель относится к моренным супесям и суглинкам, а числитель – ко всем остальным видам супесей и суглинков.
3. e – коэффициент пористости грунта.
4. При отсутствии данных φ_l и C_l в отчете по инженерно-геологическим изысканиям допускается использовать нормативные значения φ_n и C_n .

Значение силы пассивного отпора грунта E_y определяется величиной площади боковой поверхности заглубленного ростверка и микросвай со стороны пассивного отпора грунта, глубиной заложения (с учетом обратной засыпки) подошвы заглубленного ростверка, параметрами прочности уплотненного грунта (φ_y) и (C_y) и коэффициентом отпора грунта (λ_r), значение которого определено в соответствии [9].

На величину (E_y) также влияет пространственный характер работы ФСМ совместно с основанием (эффект защемления уплотненного грунта между микросваями и армирующая роль микросвай в уплотненной зоне основания), который учитывается при помощи коэффициента условий работы (K_n), составляющего 1,3 – для песчаных грунтов и 1,5 – для глинистых грунтов.

Необходимо отметить, что величина силы пассивного отпора грунта (E_y) ограничивается значениями силы предельного сопротивления микросвай на срез ($F_{пм}$) в уровне подошвы заглубленного ростверка. Величина $F_{пм}$ определяется в соответствии [9] расчетным сопротивлением бетона на срез, площади поперечного сечения микросвай в месте их примыкания к ростверку и количеством микросвай.

Расчет ФСМ по предельному состоянию второй группы (по деформациям) от действия вертикальных нагрузок производится согласно работ [9,11], как для условного фундамента с учетом уплотнения основания и влияния соседних фундаментов. Условная глубина заложения находится ниже острия микросвай на 0,5 м, а модуль деформации (E), угол внутреннего трения (φ) и удельное сцепление (C) принимается на глубину 3 м ниже ростверка с учетом уплотнения.

Расчет ФСМ на вертикальную нагрузку (при наличии моментов) по деформациям производится с определением максимального и минимального краевых давлений под подошвой заглубленного ростверка и работы микросвай на выдергивание.

При этом должны выполняться условия:

$$\sigma_{\max} \leq 1,2 \cdot R_y; \quad \sigma_{\text{mix}} \geq 0; \quad \sigma_{\text{cp}} \leq R_y.$$

где R_y – расчетное сопротивление уплотненного грунта под подошвой заглубленного ростверка, определяемого условным сопротивлением динамическому зондированию [11] либо согласно [9]; σ_{\max} и σ_{mix} – соответственно минимальное и максимальное краевое давление по подошве заглубленного ростверка; σ_{cp} – определяется как среднее между σ_{\max} и σ_{mix} .

Расчет основания ФСМ на горизонтальную нагрузку по деформациям производится согласно [9] и учитывает величину горизонтальной нагрузки, действующей на фундамент, длину и ширину подошвы заглубленного ростверка, модуль деформации грунта и эмпирического коэффициента (Φ), зависящего от коэффициента Пуассона грунта (μ).

Дополнительно в расчет введен коэффициент (m_p), учитывающий влияние на горизонтальное перемещение вертикального пригруза (таблица 5).

Таблица 5

Соотношение горизонтальной (Q) и вертикальной (N) нагрузок	Коэффициент m_p
$K \leq 0,55$	1,0
$0,55 < K < 0,75$	1,3
$0,75 \leq K < 0,95$	1,8
$K \geq 0,95$	2,5

Примечание. Предельное горизонтальное перемещение ФСМ не должно превышать 20 мм

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Следует отметить, что накопленный в Беларуси опыт подтверждает эффективность применения ФСМ при строительстве зданий с распорными нагрузками от трехшарнирных рам, которые, как правило, экономичнее не только забивных и буронабивных свай, ни и фундаментов на естественном основании. Также они могут использоваться при строительстве крупных торговых центров (гипермаркеты), логистических центров и др.

Преимущество ФСМ заключается в следующем:

- ФСМ могут использоваться в любых грунтовых условиях Беларуси, кроме водонасыщенных прямо с поверхности земли, где требуется водопонижение, как и для других видов фундаментов;
- ФСМ могут возводиться в условиях залегания с поверхности насыпных и других слабых грунтов мощностью до 3,0 м без их дополнительного уплотнения;
- четко установлены критерии и методы оперативного контроля несущей способности ФСМ в процессе их устройства по контрольному отказу;
- простота технологии устройства и высокая скорость строительства до 20-25 ФСМ за одну смену;
- наличие нормативно-технической документации и строительных организаций, имеющих соответствующее оборудование и опыт возведения ФСМ (ОАО "СМУ-96" и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сеськов В.Е. Тенденция развития и опыт применения прогрессивных фундаментов в условиях Беларуси. /В.Е.Сеськов, В.Н.Кравцов, В.Н.Лях/, Минск: Минстройархитектуры РБ, "Строительная наука и техника". - 2007, - № 3, - С.131-141.
2. Пособие П1-2000 к СНБ 5.01.01-99 "Проектирование и устройство фундаментов из забивных пирамидальных свай". – Минск: Минстройархитектуры РБ, - 2001, - 37 с.
3. А.с. СССР №889796 "Устройство для изготовления микросвайных фундаментов". / Козак Л.Ф., Тяглик В.Е., Сеськов В.Е., Залого В.Ф., Янович Н.П., Чекерис В.А./ БИ -1981, - №46.
4. А.с. СССР №1193237. "Устройство для возведения микросвайных фундаментов". / Козак Л.Ф., Сеськов В.Е., Тяглик В.Е., Пикус М.М./ БИ -1981, - №43.
5. А.с. СССР №1041634. "Устройство для возведения микросвайных фундаментов". / Козак Л.Ф., Тяглик В.Е., Сеськов В.Е., Безверхий В.М., Барышев С.Г./, БИ -1983, - №34.
6. А.с. СССР №1231112. "Устройство для возведения микросвайных фундаментов". / Тяглик В.Е., Сеськов В.Е., Давыдов В.Ф., Коновалов П.А./, БИ -1986, - №18.
7. А.с. СССР №1437482. "Устройство для возведения микросвайных фундаментов". /Козак Л.Ф., Тяглик В.Е., Сеськов В.Е., Лях В.Н./, БИ -1988, - №42.
8. А.с. СССР №1423696. "Устройство для статических испытаний свайных фундаментов". / Тяглик В.Е., Сеськов В.Е., Безверхий В.М., Лях В.Н./, БИ -1988, - №34.
9. Пособие П19-04 к СНБ 5.01.01-99 "Проектирование и устройство фундаментов из свай набивных с уплотненным основанием". - Минск: Минстройархитектуры РБ. - 2004, - 69 с.
10. Сеськов В.Е. "Опыт строительства зданий и сооружений на набивных фундаментах с микросваями в выштампованных котлованах. /В.Е.Сеськов, В.Н. Лях // Обзор. инф. Серия 67.11.29. – Минск: БелНИИНТИ, - 1990. – 52 с.
11. ТКП 45-5.01-67-2007 (02250) "Фундаменты плитные. Правила проектирования". - Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь. 2008, - 136 с.