

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ВЫПУЧИВАНИЯ ГРУНТА ВОКРУГ СВАЙ, САМИХ СВАЙ И СВАЙНЫХ РОСТВЕРКОВ, УСИЛИЙ В НИХ НА ПУЧИНИСТЫХ ГРУНТАХ

Р. Ш. АБЖАЛИМОВ – канд. техн. наук, заслуженный строитель России, советник генерального директора ТПИ «Омскгражданпроект» по техническим вопросам, член РОМГГиФ.

Рассматривается новая научная концепция взаимодействия пучинистого грунта с одиночными и кустовыми сваями и свайным ростверком с учетом длительной прочности твердомерзлого слоя грунта на растяжение при изгибе, позволяющая определить величину послойного выпучивания грунта вокруг одиночной сваи и внутри куста свай, самой сваи и свайного ростверка, а также давление пучения на подошву ростверка. Приводятся конкретные примеры решений. Расчетные значения величины выпучивания грунта и свайного ростверка сопоставляются с их фактическими значениями.

В настоящее время отсутствует научная концепция взаимодействия пучинистого грунта со свайными фундаментами, позволяющая определить величину выпучивания грунта вокруг одиночных и кустовых свай, самих свай и свайных ростверков, а также усилий в них. Поэтому существующие нормативные документы не допускают их перемещения и рекомендуют исключить вредные воздействия сил морозного пучения на сваи и подошвы ростверков путем: 1) заглубления подошвы ростверка ниже глубины промерзания; 2) устройства воздушного зазора между поверхностью грунта и подошвой ростверка с защитой его по периметру от затекания грунта; 3) обмазки поверхности свай в пределах сезонного промерзания грунта кремнийорганическими эмалями или другими покрытиями для уменьшения касательных сил морозного пучения; 4) утепления грунта вокруг свайных ростверков и др. [1, 2, 6].

В скандинавских странах для исключения промерзания грунта под подошвой ростверков предусматривается горизонтальная теплоизоляция над кровлей пучинистого грунта [3], что значительно увеличивает стоимость и трудоемкость строительства. При строительстве закрытой подстанции 110/10 кВ в г. Омске на

сильнопучинистых грунтах проектом предусматривалось устройство воздушного зазора высотой 200 мм, что потребовало устройства около 400 м² неразбираемой опалубки под днище ростверков для здания и оборудования при общей площади застройки около 600 м². Кроме того, предусматривались обмазка боковой поверхности 526 свай на высоту 2 м кремнийорганической эмалью и защита воздушного зазора по краям ростверков от затекания грунта асбестоцементными плоскими листами общей площадью около 250 м².

Устройство воздушного зазора и противопучинистой обмазки не только увеличивает стоимость и трудоемкость строительства, но и значительно уменьшает несущую способность свайного фундамента, из работы которого исключается подошва ростверка. Как показывают исследования [4], при контакте ростверка с грунтом несущая способность свайного фундамента может увеличиться до 20...100% и более.

Рассмотрим взаимодействие промерзающего пучинистого грунта с одиночной свайей. После образования прочного твердомерзлого слоя грунта вокруг сваи в начале промерзания, который определяется его температурой, сила выпучивания его нормальными силами морозного пучения, действующими в зоне активного промерзания [5] или в динамической зоне

фронта промерзания [6], зависит от прочности на изгиб твердомерзлого слоя грунта, прочности его смерзания с боковой поверхностью свай и степени пучинистости грунта. Последняя характеризуется максимальным давлением морозного пучения или максимальной силой кристаллизации льда на единицу площади $p_{f_{\max}}$, определяемым в лабораторных условиях при промораживании образца с грунтом при относительно неизменяемом объеме [7].

Н. А. Перетрухин [5] предложил расчетную схему взаимодействия фундамента с промерзающим пучинистым грунтом по его боковой поверхности в виде неподвижно закрепленной одним концом жесткой балки-консоли (рис. 1). При этом длина жесткой балки-консоли определяется из условия равновесия между удерживающими балку силами смерзания твердомерзлого слоя грунта (ТСГ) с поверхностью фундамента:

$$P_{\text{см}} = \tau_c \cdot u \cdot z' \quad (1)$$

и силами морозного пучения

$$P_0 = p_{\text{пр}} \cdot F_b, \quad (2)$$

где τ_c – прочность смерзания грунта с боковой

поверхностью фундамента (свай), равная сопротивлению сдвига; u – периметр фундамента, свай; z' – глубина промерзания; F_b – площадь зоны влияния; $p_{\text{пр}} = q_{\text{кр}}$ ($q_{\text{кр}}$ – критическая нагрузка).

Для круглого фундамента (свай) Н. А. Перетрухиным [5] получена формула для определения длины консоли:

$$l = \sqrt{\frac{2\tau_c \cdot rz' + r^2}{q_{\text{кр}}}} - r, \quad (3)$$

где r – радиус поперечного сечения фундамента.

Однако в уравнении (3) неизвестна критическая нагрузка $q_{\text{кр}}$ от нормальных сил морозного пучения. Из-за сложности определения $q_{\text{кр}}$ эта задача не была решена.

М. В. Киселев [6] впервые предложил рассмотреть ТСГ под фундаментами как консоль твердого тела, разрушение которого при изгибе происходит не перпендикулярно к горизонтальной плоскости, а под некоторым углом, который может быть больше или меньше 45° . Для упрощения расчетов он предлагал принять этот угол равным 45° , как для бетона. Однако эта задача также не была решена.

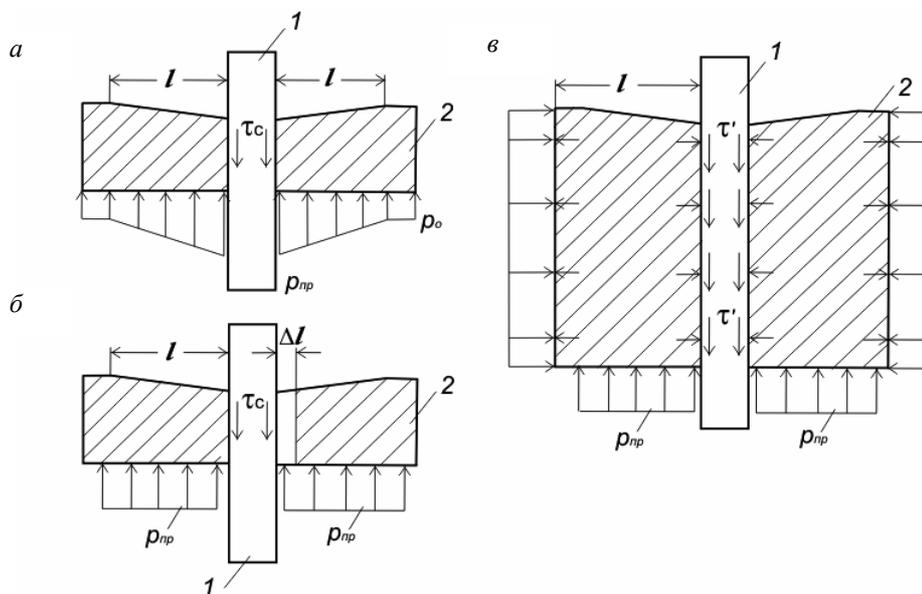


Рис. 1. Расчетная схема взаимодействия фундамента 1 с промерзающим и мерзлым грунтом 2:
 а – схема образования зоны влияния при изгибе слоя мерзлого грунта;
 б – расчетная схема на сдвиг твердого мерзлого слоя грунта; в – расчетная схема на перемещение слоя мерзлого грунта относительно неподвижного фундамента

Нами уравнение (3) решено для плоской и пространственной задач [8, 9] с учетом длительной прочности ТСГ на растяжение при изгибе, согласно [10], с соблюдением условий равновесия.

В наших формулах c – длина проекции наклонного сечения на продольную ось балки-консоли равна l в формуле (3), а поперечное усилие от сил морозного пучения, воспринимаемое ТСГ: $Q_f = P_0$, где P_0 – сила морозного пучения, определяемая по формуле (2).

Так, для квадратной сваи в начале промерзания:

$$c_i = u \cdot \frac{M_{\max}}{Q_{f_i}}, \quad (4)$$

где u – периметр сваи; M_{\max} – максимальный изгибающий момент, воспринимаемый ТСГ при ширине полосы 1 м, а при ширине полосы b_i ($M_{\max i} = b_i \cdot M_{\max}$), определяемый согласно [8]; Q_{f_i} – максимальная сила морозного пучения, воспринимаемая ТСГ

$$Q_{f_i} = p_{f_i} \cdot A_{\Phi_i}, \quad (5)$$

где p_{f_i} – напряжения морозного пучения; A_{Φ_i} – площадь подошвы балки-консоли для рассматриваемой глубины промерзания.

Из условия равновесия $P_0 = P_{cm} = Q_f = \tau_c \cdot u \cdot \Delta d_f$; где Δd_f – элементарная толщина ТСГ, предлагаемая нами равной 0,125 м [8].

Так, например, при известных значениях длительной прочности ТСГ на растяжение для суглинков и глин [10] при $t = -1,5^\circ\text{C}$ на нижней грани ТСГ $R_p = 260$ кПа и на сдвиг по поверхности сваи $\tau_c = 112$, согласно [11], при толщине ТСГ $\Delta d_f = 0,125$ м получим:

$$Q_{f_i} = 112 \cdot 1,2 \cdot 0,125 \approx 16,8 \text{ кН};$$

$$M_{\max} = \frac{b \cdot \Delta d_f^2}{3,5} = \frac{1 \cdot 0,125^2}{3,5} \cdot 260 = 1,16 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad [8]$$

$$c_1 = 1,2 \cdot 1,16 / 16,8 = 0,083 \text{ м}.$$

Тогда ширина балки-консоли из ТСГ составит: $b_1 = b + 2c_1 = 0,3 + 2 \cdot 0,083 = 0,466$ м, а $p_{f_i} = Q_{f_i} / A_{\Phi_i} = 16,8 / (0,466^2 - 0,3^2) = 132,3$ кПа.

Для круглого фундамента площадью $0,09\text{м}^2$: $r = \sqrt{0,09 / 3,14} = 0,17$ м. Тогда, по формуле (3) получим:

$$l = \sqrt{(2 \cdot 112 / 132,3) \cdot 0,17 + 0,17^2} - 0,17 = 0,255 - 0,17 = 0,085 \text{ м};$$

$$l \approx c = 0,083 \text{ м}.$$

Угол наклона сечения к наружной грани сваи составит $\text{tg} \varphi = c / \Delta d_f = 0,083 / 0,125 = 0,66$, $\alpha = 33^\circ$. Отметим, что полученное решение справедливо при граничных условиях $p_{f_i} \leq p_{f_{\max}}$.

При $p_{f_i} > p_{f_{\max}}$ формула (5) имеет вид

$$Q_{f_i} = p_{f_{\max}} \cdot A_{\Phi_i}, \quad (5')$$

так как максимальное значение напряжения морозного пучения для данного грунта в формуле (5) не может быть больше $p_{f_{\max}}$, полученного согласно [7].

Таким образом, предложенная нами научная концепция взаимодействия пучинистого грунта с боковой поверхностью ленточного и свайного фундаментов идентична расчетной схеме, предложенной Н. А. Перетрухиным [5], и позволяет определить распределение давления от сваи по глубине промерзания, послонное выпучивание грунта по боковой поверхности сваи и самой сваи, а также давление на подошву ростверков, т. е. усилия в них.

Рассмотрим конкретные примеры определения величины выпучивания грунта вокруг одиночной и кустовых свай. На рис. 2 показаны графики пучения грунта вокруг неподвижно анкерванной одиночной сваи по данным [11], а в табл. 1 приведены инженерно-геологические условия опытного участка №1 при уровне грунтовых вод 1 м от поверхности земли. Средняя величина выпучивания грунта вокруг одиночной сваи составила за зиму 1984–1985 гг. $h_{ff} = 10,1$ см, а величина пучения свободной поверхности земли за пределами влияния сваи $h_f = 14,6$ см при глубине промерзания $d_f = 1,9$ м. Среднее значение касательных сил морозного пучения составило $\tau_f = 112$ кПа, а степень пучинистости грунта от собственного веса $\varepsilon_{fp_g} = 0,0768$.

За зиму 1985–1986 гг. (см. рис. 2, б) $h_{ff} = 10,5$ см, $h_f = 15,8$ см; $d_f = 1,6$ м; $\varepsilon_{fp_g} = 0,158 / 1,6 = 0,099$; $\tau_f = 133$ кПа. За зиму 1986–1987 гг. (см. рис. 2, в) $h_{ff} = 6,0$ см, $h_f = 12,0$ см; $d_f = 1,5$ м; $\varepsilon_{fp_g} = 0,06 / 1,5 = 0,04$; $\tau_f = 133$ кПа.

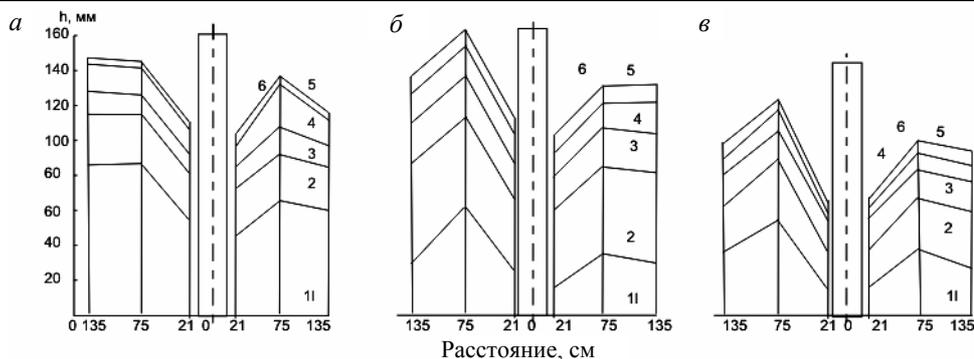


Рис. 2. Пучение грунта по данным [11]:

- a* – у одиночной сваи на участке I в сезон 1984–1985 гг.; 1 – 5/XI – 84 г.; 3 – 7/I – 85 г.; 4 – 22/I – 85 г.; 5 – 6/II – 85 г.; 6 – 14/III – 85 г.;
б – у одиночной сваи на участке I в сезон 1985–1986 гг.; 1 – 26/X – 85 г.; 2 – 26/XI – 85 г.; 3 – 27/XII – 85 г.; 4 – 28/I – 86 г.; 5 – 28/II – 86 г.; 6 – 14/III – 86 г.;
в – у одиночной сваи на участке I в сезон 1986–1987 гг.; 1 – 4/XI – 86 г.; 2 – 2/XII – 86 г.; 3 – 5/I – 87 г.; 4 – 2/II – 87 г.; 5 – 4/III – 87 г.; 6 – 20/III – 87 г.

Таблица 1

Физические характеристики сезонно промерзающих грунтов опытного участка №1 [11]

Глубина, м	W_s , доли ед.	W_L , доли ед.	W_p , доли ед.	J_L , доли ед.	P_s , кН/м ³	P_p , кН/м ³	P_d , кН/м ³	S_T , доли ед.	e , доли ед.
≤1,2	0,3	0,32	0,19	0,85	2,68	19,0	14,6	0,99	0,812
>1,2	0,27	0,31	0,18	0,69	2,70	19,5	15,4	0,96	0,707

Используя свойства аффинных кривых, впервые предложенных [12] для определения графиков зависимости степени пучинистости грунта от давления при одном известном значении $\varepsilon'_{fp_g} - p_{qcp}$ и базовом значении этой зависимости, полученное нами в лабораторных условиях [7], имеющий вид:

$$p_{z_i} = 260 \exp(-33,0 \cdot \varepsilon'_{fp_i})$$

при $\varepsilon^0_{fp_{max}} = 0,0078$ (6)

где p_{z_i} – давление на пластичномерзлый слой грунта от фундамента, сваи по глубине промерзания, кПа; ε'_{fp_i} – степень пучинистости грунта (без учета податливости динамометра со сжимаемым грунтом под ним), доли ед.; $\varepsilon^0_{fp_{max}}$ – степень податливости образца с грунтом и конструкцией крепления динамометра при максимальном значении $p_{f_{max}} = 260$ кПа.

$$\varepsilon_{fp_i} = \varepsilon'_{fp_i} + \varepsilon^0_{fp_{max}} \quad (7)$$

Получены уравнения, подобные (6), по аналогии с работой [9]. Эти уравнения имеют вид:

$$\text{за зиму 1984–1985 гг. } p_{z_i} = 225 \exp(-35,78 \cdot \varepsilon'_{fp_i})$$

$$\text{при } \varepsilon^0_{fp_{max}} = 0,0062;$$

$$\text{за зиму 1985–1986 гг. } p_{z_i} = 274 \exp(-31,87 \cdot \varepsilon'_{fp_i})$$

$$\text{при } \varepsilon^0_{fp_{max}} = 0,0008;$$

$$\text{за зиму 1986–1987 гг. } p_{z_i} = 217 \exp(-36,65 \cdot \varepsilon'_{fp_i})$$

$$\text{при } \varepsilon^0_{fp_{max}} = 0,0058.$$

В табл. 2 приведены результаты распределения напряжений пучения по глубине промерзания вокруг одиночной сваи и от давления собственного веса грунта, а также послойного выпучивания грунта по поверхности сваи за зиму 1984–1985 гг. Отклонения величин выпучивания по нашей расчетной схеме от фактических значений величины

выпучивания грунта вокруг свай составили за зиму 1984–1985 гг. $n = (11,24 - 10,1) \cdot 100 / 10,1 \approx +11\%$; за 1985–1986 гг. $- +1\%$; за зиму 1986–1987 гг. $- +25\%$. Среднее отклонение за три года составило около $+12\%$.

В табл. 3 приведены результаты распределения давления пучения по глубине промерзания и послойного выпучивания грунта внутри кустовых свай при расстоянии между центрами свай 0,96 м по инженерно-геологическим данным [13] для природно-климатических условий Кузбасса. Так, по данным [13], величина выпучивания грунта внутри куста свай за зиму 1986–1987 гг. составила: при расстоянии по осям между сваями в кусте 0,61 м $- h_{ff1} = 3,6$ см, при расстоянии 0,96 м $- h_{ff2} = 10,6$ см, а при расстоянии 1,02 м $- h_{ff3} = 11,8$ см. Глубина промерзания $d_f = 1,46$ м, величина выпучивания свободной поверхности земли $h_f = 18$ см, уровень подземных вод в течение всего времени наблюдений колебался от 0,9 до 1,3 м от поверхности земли.

Сверху вниз в пределах сезонного промерзания залегают бурый суглинок туго-мягкопластичной консистенции мощностью 2...3 м со следующими физическими характеристиками:

природная влажность $\omega = 0,28$; показатель текучести $J_L = 0,42$; степень влажности $S_r = 0,94$; коэффициент пористости $e = 0,89$; удельный вес грунта (плотность) $\rho = 1,94$ кН/м³; модуль деформации $E = 5,4$ МПа; угол внутреннего трения $\phi = 20^\circ$; удельное сцепление 0,024 МПа.

Касательную силу морозного пучения принимаем для свайного ряда по исследованиям [11] за 1986–1987 гг. для аналогичных грунтовых и климатических условий примерно равной $\tau_f = 107$ кПа.

Аналогично определяем уравнение зависимости $(\varepsilon_{fp_i} - p_i)$:

$$p_{z_i} = 334,3 \exp(-28,2 \varepsilon_{fp_i}) \text{ при } \varepsilon_{fp_{max}}^0 = 0,0112.$$

Расчетная величина выпучивания грунта внутри свайного куста составила: при расстоянии по осям между сваями в кусте $d_1 = 0,61$ м $- h_{ff1} = 7,4$ см; при $d_2 = 0,96$ м $h_{ff2} = 10,6$ см; при $d_1 = 1,02$ м $h_{ff3} = 11,0$ см. Отклонения от фактического значения при $d_1 = 0,61$ м $- 2,05$ раза, при $d_2 = 0,96$ м $- \pm 0,00$ и при $d_3 = 1,02$ м $- (-6,8\%)$.

Разительное отличие расчетного значения выпучивания грунта внутри куста свай при $d_1 = 0,61$ м от фактического можно объяснить

Таблица 2

Распределение давления пучения по глубине промерзания за 1984–1985 гг. и величина послойного выпучивания ТСГ

d_f , м	Q_f , кН	P_f , кПа	P_g , кПа	P'_{cp} , кПа	c_i , м	b_i , м	A_{ϕ_2} , м ²	α , град.	ε_{fp_i} , доли ед.	h_{ff_i} , мм
0,125	16,8	132,3	2,4	67,4	0,083	0,466	0,127	33,0	0,04	5,0
0,250	33,6	77,6	4,8	108,6	0,13	0,72	0,433	46,0	0,0266	3,3
0,375	50,4	43,3	7,2	66,4	0,2	1,12	1,16	58,0	0,0403	5,0
0,500	67,2	22,9	9,5	41,5	0,31	1,74	2,93	68,0	0,0534	6,7
0,625	84,0	11,7	11,9	28,0	0,48	2,7	7,2	75,0	0,0644	8,0
0,750	100,8	5,8	14,3	21,9	0,75	4,19	17,48	80,0	0,0713	8,9
0,875	117,6	2,8	16,6	19,8	1,16	6,5	42,2	83,0	0,0741	9,3
1,000	134,4	2,8	19,0	20,6	-	-	-	-	0,073	9,1
1,125	151,2	2,8	21,4	23	-	-	-	-	0,07	8,7
1,250	168,0	2,8	23,8	25,4	-	-	-	-	0,0672	8,4
1,375	184,8	2,8	26,1	27,8	-	-	-	-	0,0646	8,1
1,500	201,6	2,8	28,5	31,0	-	-	-	-	0,0615	7,7
1,91	-	2,8	36,1	33,9	-	-	-	-	0,0591	24,2
Итого: $\sum h_{ff_i} = 112,4$										

Распределение давления пучения по глубине промерзания и величины выпучивания ТСГ внутри куста свай при $d = 0,96$ м за 1986–1987 гг. для экспериментальной площадки [13]

h_i , м	Q_{f_i} , кН	P_{f_i} , кПа	P_{s_i} , кПа	$P_{f_i(ср)}$, кПа	c_i , м	α , град	b_{1_i} , м	A_{1_i} , м ²	$\varepsilon_{f_{p_i}}$, доли ед.	h_{ff_i} , мм
0,000	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	1,26	1,1	0,00	0,00
0,125	64,2	38,1	2,4	20,3	0,084	34	1,43	1,69	0,11	13,8
0,250	128,4	56,8	4,8	51,1	0,096	37,0	1,62	2,26	0,0778	9,7
0,375	192,6	64,2	7,3	66,6	0,108	41	1,84	3,00	0,0684	8,6
0,500	256,8	64,4	9,7	72,8	0,123	44	2,09	3,99	0,0653	8,2
0,625	321,0	61,1	12,1	73,7	0,14	49	2,37	5,25	0,0648	8,1
0,875	449,4	50,7	17,0	69,5	0,179	55	3,04	8,87	0,0669	8,4
1,000	513,6	44,6	19,4	65,9	0,203	58	3,45	11,51	0,0688	8,6
1,125	577,8	38,7	21,8	62,3	0,23	61	3,91	14,93	0,0708	8,8
1,460	-	38,7	28,3	63,8	-	-	-	-	0,0699	23,4
Итого: $\sum h_{ff_i} = 106$										

отклонением от вертикали свай при их забивке и заклинивающим эффектом твердомерзлого грунта между сваями.

Расчет величины выпучивания ТСГ внутри куста или ряда свай позволяет определить давление на подошву ростверка от нормальных сил морозного пучения с использованием свойств аффинных кривых. Так, теоретическое значение давления на подошву ростверка при $d_1 = 0,61$ м составит $p_{f_1} = 334,3 \cdot 7,4/18 = 137$ кПа; при $d_2 = 0,96$ м – $p_{f_2} = 334,3 \cdot 10,6/18 = 197$ кПа и при $d_3 = 1,02$ м – $p_{f_3} = 334,3 \cdot 11/18 = 204$ кПа.

Для ряда свай, по данным [11], при $d = 0,9$ м за зиму 1984–1985 гг. – $p_{f_1} = 225 \cdot 3/14,6 = 46,0$ кПа; за зиму 1985–1986 гг. – $p_{f_2} = 274 \cdot 5,5/15,8 = 95,0$ кПа и за зиму 1986–1987 гг. – $p_{f_3} = 217 \cdot 4,3/12 = 78,0$ кПа.

Для этой экспериментальной площадки [13] нами выполнен расчет выпучивания свайного ростверка за зиму 1988–1989 гг. по оси 5, пригруженного бетонными блоками весом 80 кН, при габаритах ростверка $1,54 \times 1,54 \times 0,4$ (h) м. Ростверк состоит из 4 свай сечением $0,3 \times 0,3$ м, длиной 12 м, анкерующая способность каждой сваи – 414 кН, общая удерживающая ростверк от выпучивания сила – 1866,8 кН. Глубина промерзания за эту зиму составила 1,42 м, а величина выпучивания свободной поверхности земли $h_{ff} = 20$ см.

Для этой зимы уравнение $(\varepsilon_{f_{p_i}} - p_i)$ имеет вид $p_{z_i} = 379 \exp(-25,94 \cdot \varepsilon'_{f_{p_i}})$ при $\varepsilon_{f_{p_{max}}} = 0,0133$.

Расчет выполнялся по аналогии с табл. 3 при габаритах ростверка $1,54 \times 1,54$ м. Величина выпучивания ростверка составила 4,14 мм при фактическом значении 5 мм, что практически находится в пределах упругой деформации грунта, а теоретическое значение давления морозного пучения под подошвой ростверка составило 216 кПа.

Отметим, что при достижении суммарной силы выпучивания Q_{f_i} (см. табл. 2 и 3) на определенной глубине промерзания значения, равного величине удерживающих сваю (ростверк) сил F_{du} ($Q_{f_i} = F_{du}$), начинается перемещение сваи (ростверка), которое определяется по той же зависимости $(\varepsilon_{f_{p_i}} - p_{z_i})$, что и грунт вокруг сваи при значении $p_{f_i(ср)}$, соответствующем значению Q_{f_i} (см. табл. 2 и 3).

На рис. 3 и 4 показаны расчетные схемы взаимодействия пучинистого грунта с одиночной свайей и кустом свай при различных значениях прочности мерзлого грунта на сдвиг по поверхности сваи при длительной прочности ТСГ на растяжение $R_p = 240$ кПа.

Предложенная научная концепция взаимодействия пучинистого грунта с боковой поверхностью фундаментов и свай с учетом длительной прочности ТСГ на растяжение при изгибе позволяет с достаточной точно-

стью определить величину выпучивания свай и свайных фундаментов и усилий в них на период строительства, когда отсутствуют постоянные нагрузки от зданий и сооружений, а также величину выпучивания малоуглубленных фундаментов по их боковой поверхности в процессе эксплуатации. При этом можно значительно сократить стоимость и трудоемкость мероприятий по исключению вредного воздействия морозоопасных грунтов на фундаменты [14].

Список литературы

1. *Пособие по производству работ при устройстве оснований и фундаментов* (к СНиП 3.02.01-83) / НИИОСП. М.: Стройиздат, 1986.
2. *Рекомендации по учету и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов* / ПНИИС. М.: Стройиздат, 1986.
3. *Невзоров А. Л. Фундаменты на сезоннопромерзающих грунтах*. М.: Изд-во АСВ, 2000.

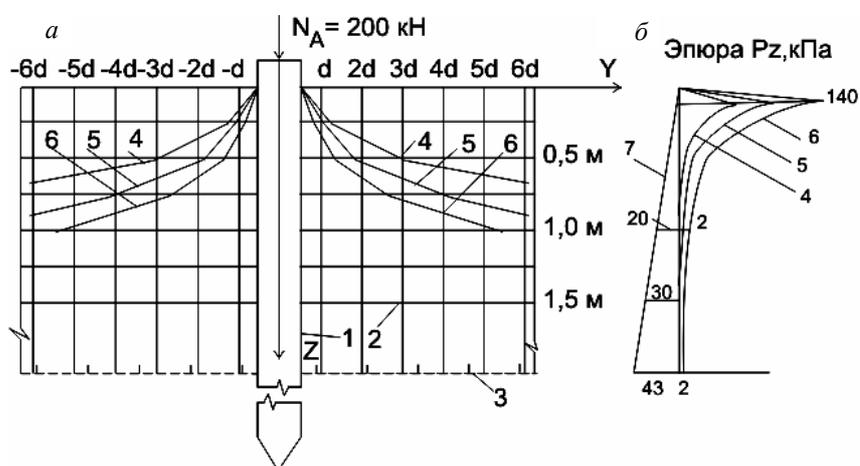


Рис. 3. Расчетная схема взаимодействия пучинистого грунта с одиночной свайей: а – граница разрушения ТСГ при $R_{pf} = 240$ кПа (4, 5 и 6 – соответственно при $R_{af} = 70, 90$ и 110 кПа); б – эпюра P_z по глубине промерзания, 7 – то же, от собственного веса грунта, 1 – свая, 2 – граница ТСГ, 3 – граница промерзания

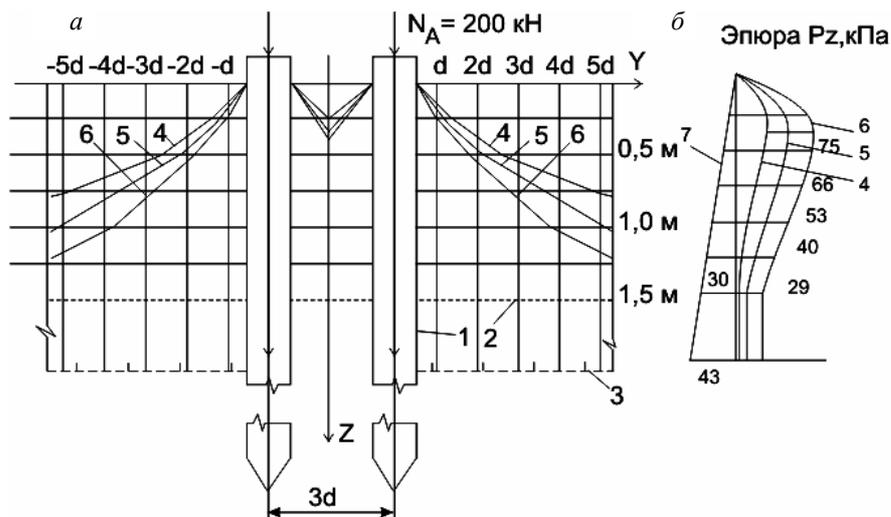


Рис. 4. Расчетная схема взаимодействия пучинистого грунта с кустом из четырех свай: а – граница разрушения ТСГ при $R_{pf} = 240$ кПа (4, 5 и 6 соответственно при $R_{af} = 70, 90$ и 110 кПа); б – эпюра P_z по глубине промерзания, 7 – то же, от собственного веса грунта, 1 – свая, 2 – граница ТСГ, 3 – граница промерзания

4. Бартоломей А. А. Основы расчета ленточных свайных фундаментов по предельно допустимым осадкам. М.: Стройиздат, 1982.
5. Перетрухин Н. А. Взаимодействие фундаментов с промерзающим пучинистым грунтом // Морозное пучение грунтов и способы защиты сооружений от его воздействия: Тр. ВНИИТС. Вып. 62. М.: Транспорт, 1967. С. 74–99.
6. Киселев М. Ф. Мероприятия против деформации зданий и сооружений от действия сил морозного выпучивания фундаментов. М.:Изд-во лит. по стр-ву, 1971.
7. Абжалимов Р. Ш. Лабораторные исследования морозного пучения // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1982. №5. С. 20–22.
8. Абжалимов Р. Ш. К расчетной схеме взаимодействия пучинистого грунта с боковой поверхностью мелкозаглубленного ленточного фундамента при свободном его перемещении // Промышленное и гражданское строительство. М., 2003. №3. С. 43–45.
9. Абжалимов Р. Ш. К определению выпучивания малозаглубленных фундаментов на сезоннопромерзающих пучинистых грунтах // Взаимодействие сооружений и оснований: методы расчета и инженерная практика: Международ. конф. по геотехнике. СПб., 2005. С. 11–17.10. Абжалимов Р. Ш., Любич И. Н. К определению прочностных и деформационных характеристик сезонно промерзающих грунтов // Промышленное и гражданское строительство. 2005. №9. С. 9–11.
11. Гольцов В. М. Воздействие касательных сил морозного пучения грунтов на забивные сваи в период строительства: Автореф. дис. ... канд. техн. наук // СибАДИ. Омск, 1998.
12. Голли О. Р. Интегральные закономерности морозного пучения грунтов и их использование при решении инженерных задач в строительстве: Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук // ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. СПб., 2000.
13. Шулятьев О. А., Кузеванов В. В., Кемеров В. Д. Применение на пучинистых грунтах свайных фундаментов с ростверками в зоне промерзания // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1991. №2. С. 6–8.
14. Патент на изобретение №2260094. МПК 7Е 02D 27/14. Свайный фундамент, возводимый на пучинистом грунтовом основании / Р. Ш. Абжалимов. Приоритет от 21.04.2004 / Оpubл. 10.09.2005. Бюл. №25.