

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра строительных конструкций

Д.А. Украинченко, И.И. Лисицкий

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических указаний для студентов, обучающихся по программам высшего образования по направлению подготовки 08.03.01 Строительство

Оренбург
2016

УДК 624.155.1(076.5)
ББК 38.58-022я7
У45

Рецензент - кандидат технических наук И. С. Иванов

Украинченко, Д.А.

У45 Проектирование свайных фундаментов на просадочных грунтах: методические указания/ Д.А. Украинченко, И.И. Лисицкий; Оренбургский гос. ун-т. - Оренбург: ОГУ, 2016 – 17 с.

Методические указания предназначены для выполнения курсового проекта по дисциплине «Спецкурс по основаниям и фундаментам» для студентов всех форм обучения направления подготовки 08.03.01 Строительство.

УДК 624.155.1(076.5)
ББК 38.58-022я7

© Украинченко Д.А.,
Лисицкий И.И., 2016
© ОГУ, 2016

Содержание

Введение	4
1 Особенности проектирования свайных фундаментов в просадочных грунтах.	5
2 Определение несущей способности свай.....	6
3 Учет отрицательных сил трения.....	11
4 Пример расчетов.....	13
4.1 Исходные данные	13
4.2 Определение несущей способности свай.....	13
4.3 Определение величины отрицательных сил трения.....	15
Список использованных источников	17

Введение

Важность проектирования и возведения зданий и сооружений на просадочных грунтах определяется широким распространением просадочных грунтов, как правило, в районах наиболее интенсивного строительства, неизбежным повышением стоимости строительства при учете просадочных деформаций, возникающими недопустимыми деформациями в конструкциях зданий и сооружений при недостаточно полном учете просадочных деформаций. Сложность рассматриваемой проблемы вызывается специфическим и сложным механизмом развития просадочных деформаций, значительной толщиной слоя просадочных грунтов, достигающей иногда 25 - 30 м, частым отсутствием близко расположенного подстилающего слоя достаточно высокой несущей способности, а так же учетом при проектировании просадок грунтов, величины которых только от собственного веса иногда достигают 1 - 2 м, кроме этого в ряде случаев необходим учет дополнительных нагрузок от сил нагружающего трения на уплотненные, закрепленные массивы и свайные фундаменты, возникающих при просадках окружающих их грунтов от собственного веса.

Особенности применения свайных фундаментов в просадочных грунтах связаны с учетом механизма деформирования, закономерностей развития просадочных деформаций, взаимодействия свай с окружающим просадочным грунтом при просадке его от собственного веса.

Свайные фундаменты в просадочных грунтах применяются, как правило, при возможном их замачивании и, следовательно, расчетным состоянием оснований по влажности при проектировании свайных фундаментов является полное водонасыщение грунта. Вследствие снижения прочностных характеристик и повышения сжимаемости просадочных грунтов при их замачивании несущая способность свай в значительной мере зависит от влажности грунтов и при повышении ее существенно снижается, что должно учитываться при определении несущей способности свай.

1 Особенности проектирования свайных фундаментов в просадочных грунтах

Свайные фундаменты в просадочных грунтах следует проектировать исходя из условия возможного полного замачивания грунтов в основании фундаментов (аварийного или в результате подъема уровня грунтовых вод), за исключением случаев, когда по прогнозу в соответствии с гидрогеологическими условиями и условиями эксплуатации зданий и сооружений подъем уровня грунтовых вод или местное замачивание грунта невозможно, либо случаев, когда по прогнозу подъем уровня грунтовых вод невозможен, а против случайного местного замачивания грунта в проекте предусматриваются водозащитные мероприятия; в последнем случае в проекте должны быть предусмотрены также конструктивные мероприятия, обеспечивающие прочность и устойчивость зданий и сооружений при аварийном замачивании грунта.

Проектирование свайных фундаментов зданий и сооружений на просадочных грунтах следует вести в зависимости от конструкции, нагрузок и назначения возводимого объекта, типа грунтовых условий по просадочности, величины возможной просадки грунтов от собственного веса вышележащих слоев грунта, глубины залегания супесчано-суглинистых грунтов, их плотности и степени снижения характеристик механических свойств грунтов от замачивания. Особенно важно при этом правильно оценить гидрогеологические условия застраиваемой территории, характер и направление возможного замачивания грунтов основания в период строительства и эксплуатации сооружения. При решении основного вопроса о выборе типа фундамента и назначения его основных размеров в каждом случае все указанные факторы следует рассматривать комплексно.

С особой осторожностью следует относиться к выбору вида фундамента и способа подготовки основания при наличии грунтовых условий II типа с величиной возможной просадки от собственного веса грунтов более 30 см. В этих случаях независимо от величины внешних нагрузок, передаваемых фундаменту от веса зданий и сооружений, просадка грунтов в результате их замачивания может вызвать

столь существенное дополнительное нагружение свай силами негативного трения, что несущая способность висячих свай по грунту окажется необеспеченной.

При проектировании свайных фундаментов зданий и сооружений на просадочных грунтах учитывается возможный характер замачивания оснований в период строительства и эксплуатации.

В общем случае при возможности аварийного замачивания или подъема уровня грунтовых вод предусматривается, что вся толща, сложенная просадочным грунтом, может быть полностью замочена. Проектирование свайного фундамента ведется из условий полного замачивания, так как это наихудший расчетный случай, принимая, что полностью замоченные грунты имеют степень водонасыщения $G \geq 0,8$. При этом следует иметь в виду, что основание части свайного фундамента значительных размеров в плане либо соседнего фундамента может быть не замочено, что потребует проведения расчета конструкций на неравномерную осадку.

2 Определение несущей способности свай

Расчет свай по несущей способности, а также расчет их на совместное действие вертикальных и горизонтальных нагрузок и моментов при устройстве фундаментов в просадочных грунтах следует проводить в обычном порядке с учетом следующих дополнительных условий:

а) если возможно местное или аварийное замачивание грунтов либо подъем уровня грунтовых вод, расчетные сопротивления просадочных грунтов под нижним концом R и на боковой поверхности f свай, коэффициент пропорциональности K и модуль деформации E следует принимать по величине показателя консистенции грунта I_L , соответствующей условию замачивания просадочного грунта до степени влажности $G \geq 0,8$ и определяемой по формуле:

$$I_L = \frac{0,9e\gamma_w - W_p}{W_L - W_p} \quad (1)$$

где e – коэффициент пористости просадочного грунта;

γ_w – удельный вес воды, принимаемый $\gamma_w = 1 \text{ тс/м}^3$;

γ_s — удельный вес грунта, тс/м³;

W_P и W_L — влажность просадочного грунта соответственно на границе раскатывания и на границе текучести в долях единицы.

при $I_L < 0,4$ следует принимать $I_L = 0,4$;

б) если возможно только местное аварийное замачивание части грунта просадочной толщи в пределах длины сваи, то определенные указанным в подпункте «а» способом расчетные сопротивления просадочных грунтов R и f следует умножать на дополнительный коэффициент условий работы $m_d = 1,4$;

в) если в соответствии с гидрогеологическими условиями и условиями эксплуатации зданий и сооружений подъем уровня грунтовых вод или местное замачивание просадочных грунтов основания свай невозможны, то расчетные сопротивления грунтов под нижним концом R и на боковой поверхности f свай и свай-оболочек следует определять в соответствии с фактической величиной показателя консистенции грунта в природном залегании. При этом предполагается, что возможно медленное повышение влажности просадочного грунта основания до влажности на границе раскатывания W_p , вызываемого нарушением природных условий испарения, если природная влажность грунта до начала строительства была меньше влажности W_p . Поэтому характеристики грунтов должны приниматься при влажности $W = W_p$, а в случае, если до начала строительства $W > W_p$, то при фактической природной влажности грунта W ;

г) если площадка сложена грунтами II типа по просадочности, а величина ожидаемой просадки превышает предельно допускаемую величину осадки для проектируемого здания или сооружения, то должна учитываться возможность появления на боковой поверхности свай и свай-оболочек негативного трения грунта путем уменьшения их несущей способности;

д) если возможно замачивание грунтов основания, то во всех расчетах значения угла внутреннего трения φ_1 и удельного сцепления c_1 для просадочных грунтов должны приниматься применительно к случаю их полного водонасыщения, т.е. при степени влажности грунта $G \geq 0,8$.

Несущая способность сваи в просадочных грунтах зависит от показателей прочности грунта и наблюдаемое существенное уменьшение ее при замачивании объясняется в основном снижением сцепления. Использование в СП показателя консистенции I_L в замоченном грунте природной плотности объясняется попыткой ввести единообразие в расчеты, выполняемые для любых грунтов, тем более что, как правило, сваи опираются нижними концами либо на непросадочный, либо на слабо-просадочный грунт с $\delta_{пр} < 0,02$ при $p = 3 \text{ кгс/см}^2$. Кроме того, учитывается, что при изысканиях для грунтов приводятся только их простейшие физико-механические характеристики. В случае, если по данным исследований известны прочностные характеристики для всех слоев грунта, то расчеты несущей способности свай целесообразно вести с учетом их величин. Ниже приводятся расчетные формулы, разработанные для определения несущей способности свай в просадочных грунтах на основе постановки задачи предельного равновесия грунта в основании сваи и решения с использованием параметров прочности грунтов: угла внутреннего трения φ_1 и удельного сцепления c_T .

Общая поверхность предельного равновесия основания сваи длиной l состоит из трех участков:

- верхний участок 1 - вдоль ствола сваи $l_1 + l_2$;
- нижний участок 2 - по поверхности усеченного конуса вдоль ствола сваи длиной b ;
- участок 3 - под нижним концом сваи по части шаровой поверхности (рисунок 1).

Несущая способность F_d определяется по формуле

$$F_d = \gamma_c(F_1 + F_2 + F_3), \quad (2)$$

где γ_c - коэффициент условий работы, принимаемый равным 1;

F_1 - сопротивление на участке ствола сваи $l_0 + l_2$, кН;

l_0 - участок линейного возрастания сопротивления от 0 до $12d$, но не более 6 м, а ниже - участок постоянного значения сопротивления, равного конечному значению по длине l_0 , кН;

$$l_0 = l_1 - a, \text{ м}, \quad (5)$$

где l_1 - длина от поверхности земли до начала длины l_2 , м;

$$b = d/2 - (\text{ctg}\alpha - 1)\text{ctg}\varphi, \text{ м}; \quad (6)$$

α - самый верхний участок погруженной сваи, где боковое давление грунта равно 0, для забивной сваи $\alpha = 2,5$ м, для набивной $\alpha = 1,0$ м;

$$\alpha = 45^\circ - \varphi - xc, \quad (7)$$

где $x = \kappa/c_0$, град·м²/кН; $\kappa = 1^\circ$;

c_0 - минимальное значение сцепления, принимаемое в расчет и равное 5 кН/м²;

при этом $x = 0,2$. Предел применимости этой формулы дается соотношением $\varphi + xc < 45^\circ$.

В случае если на большом участке длины сваи l_2 прорезаются грунты с разными характеристиками φ и c , то значение l_2 представляется в виде суммы толщин слоев

$l_2 = \sum_{i=1}^m l_i$. F_1 вычисляется по формуле

$$F_1 = u \left[l_0 \left(0,5 \xi \gamma_0 \text{tg}\varphi + c \right) + \sum_{i=1}^m \left(\xi \gamma_0 \text{tg}\varphi_i + c_i \right) l_i \right], \quad (8)$$

где m - число слоев с разными характеристиками.

Если в пределах участка $l_1 = l_0 + a$ длиной не более 6 м встретится слой с другими расчетными характеристиками φ и c , то принимаются в расчет их значения для нижнего слоя толщиной не менее 3 м.

$$F_2 = \pi y \text{ctg}\varphi (y + d)c, \quad (9)$$

$$\text{где } y = \left[R_1 \cos\varphi + b - \left(b - \frac{d}{2} \right) \sin^2\varphi - \frac{d}{2} (\text{ctg}\varphi + 1) \right] \text{tg}\varphi, \quad (10)$$

$$\text{где } R_1 = \frac{d}{2} (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\varphi), \quad (11)$$

$$F_3 = \sigma_1 \left(Q_2 \cos\varphi + \pi R_1^2 \sin^2\varphi \right) \quad (12)$$

$$\text{где } Q_2 = \pi \left\{ \left(y + \frac{d}{2} - R_1 \sin \varphi \right)^2 + \left[\left(b - \frac{d}{2} \right) \sin^2 \varphi \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \left(y + \frac{d}{2} + R_1 \sin \varphi \right), \quad (13)$$

Наибольшее главное напряжение определяется по формуле:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_3 (1 + \sin \varphi) + 2c \cos \varphi}{1 - \sin \varphi}, \quad (14)$$

Наименьшее главное напряжение определяется по формуле:

$$\sigma_3 = \xi \gamma h_0, \text{ кН/м}^2, \quad (15)$$

где γ - удельный вес грунта, кН/м³.

Характеристики грунта φ , c , γ определяются в водонасыщенном состоянии. Расчет несущей способности свай, применяемых в грунтовых условиях I типа, следует производить с учетом того, что сопротивления грунтов под нижними концами R и на боковой поверхности f_i свай, коэффициент пропорциональности K , модуль деформации E , угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c должны определяться:

а) при полном водонасыщении грунта, если возможно замачивание грунта, при этом расчетные табличные характеристики следует принимать при показателе текучести, определяемом по формуле 1;

б) при влажности w и показателе текучести I_L грунта в природном состоянии (когда $w < w_p$ принимается w_p), если замачивание грунта невозможно.

3 Учет отрицательных сил трения

В грунтовых условиях II типа по просадочности помимо снижения несущей способности свай от замачивания основания, как это имеет место в грунтовых условиях I типа, происходит уменьшение несущей способности от действия по боковой поверхности свай сил негативного трения. Последние возникают при просадке грун-

товой толщии под собственным весом вследствие нависания грунтов на сваи и их пригрузки.

Сваи по несущей способности грунтов основания в грунтовых условиях II типа следует рассчитывать с учетом сил отрицательного трения исходя из условия

$$N \leq \frac{\gamma_0 F_d}{\gamma_n \gamma_k} - \gamma_c P_n, \quad (16)$$

где N - расчетная нагрузка, кН, на одну сваю;

F_d - несущая способность сваи, кН;

$\gamma_k, \gamma_0, \gamma_n$ - коэффициенты;

γ_c - коэффициент условий работы сваи, значение которого принимают в зависимости от возможного значения просадки грунта s_{sl} : при $s_{sl} = 5$ см $\gamma_c = 0$; при $s_{sl} \geq 2s_u$ $\gamma_c = 0,8$; для промежуточных значений s_{sl} γ_c определяют интерполяцией;

P_n - отрицательная сила трения.

Отрицательная сила трения P_n определяется по формуле:

$$P_n = u \sum_0^{h_{sl}} \tau_i h_i, \quad (17)$$

где u - периметр, м, участка ствола сваи длиной h_{sl} ;

h_{sl} - расчетная глубина, м, до которой производится суммирование сил бокового трения проседающих слоев грунта, принимаемая равной глубине, где значение просадки грунта от действия собственного веса, определенное в соответствии с требованиями СП 22.13330, равно наименьшему значению допустимой деформации основания здания;

τ_i - расчетное сопротивление, кПа, определяемое по формуле:

$$\tau_i = \zeta \sigma_{zg} \operatorname{tg} \varphi_I + c_I; \quad \zeta = \left(\frac{n_{\max}}{n_i} \right) \left(1 + \frac{H_i}{H_0} \right)^{-0,5}, \quad (18)$$

где ζ - экспериментальный параметр, характеризующий боковое давление на контакте сваи с грунтом;

n_{\max} - наибольшее значение пористости просадочных грунтов, принимаемое равным 0,55; n_i - пористость i -го слоя грунта в долях единицы;

H_i - глубина расположения середины расчетного i -го слоя грунта, м;

$H_0 = 1$ м;

σ_{zg} - вертикальное напряжение от собственного веса водонасыщенного грунта, кПа;

φ_i и c_i - расчетные значения угла внутреннего трения, град., и удельного сцепления, i -го слоя грунта, определяемые в соответствии с ГОСТ 12248 по методу консолидированного дренированного среза;

h_i - толщина, м, i -го слоя просадочного грунта, оседающего при замачивании и соприкасающегося с боковой поверхностью сваи.

4 Пример расчетов

4.1 Исходные данные

Размер поперечного сечения сваи – 300×300 мм;

Глубина просадочной толщи – $H_{sl} = 8$ м;

Глубина заделки конца сваи в непросадочный грунт – $h_{зад} = 2$ м;

Влажность на границе текучести – $W_L = 0,24$;

Влажность на границе раскатывания – $W_p = 0,14$;

Таблица 1

Глубина в метрах	ρ_s , m/m^3	ρ_d , m/m^3	ρ , m/m^3	W	φ , град	C, кПа
2	2,69	1,55	1,67	0,08	18	30
4	2,69	1,54	1,69	0,10	18	35
6	2,71	1,52	1,70	0,12	16	35
8	2,71	1,52	1,70	0,12	16	38
10	2,70	1,51	1,72	0,14	20	40

4.2 Определение несущей способности сваи

Несущую способность F_d кН, сваи определяем по формуле:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} RA + u \sum \gamma_{cf} f_i h_i), \quad (19)$$

где γ_c – коэффициент условий работы сваи;

γ_{cR} – коэффициент условий работы грунта под нижним концом сваи;

R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа, принимаемое по таблице 7.2 [2].

A – площадь опирания на грунт сваи, m^2 ,

u – периметр поперечного сечения ствола сваи, м;

γ_{cf} – коэффициент условий работы грунта на боковой поверхности сваи;

f_i – расчетное сопротивление i -го слоя грунта на боковой поверхности ствола сваи, кПа, принимаемое по таблице 7.3 [2].

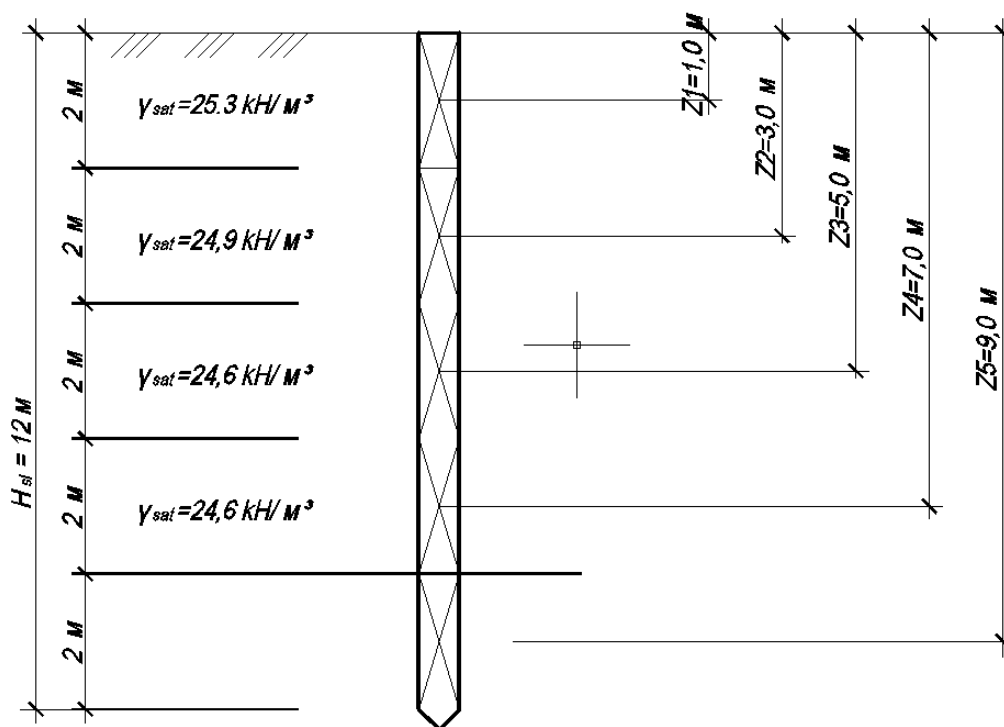


Рисунок 2 - Расчетная схема свайного фундамента

а) определение несущей способности сваи для грунта в естественном состоянии.

При $z_1 = 1$ м., $f_1 = 35$ кПа;

При $z_2 = 3$ м., $f_2 = 48$ кПа;

При $z_3 = 5$ м., $f_3 = 56$ кПа;

При $z_4 = 7$ м., $f_4 = 60$ кПа;

При $z_5 = 9$ м., $f_5 = 64$ кПа;

$$R=10500 \text{ кПа.}$$

$$F_{d,ecm} = \gamma_c (\gamma_{cR} RA + u \sum \gamma_{cf} f_i h_i) = 1(10500 \cdot 0,09 + 1,2 \cdot 1(35 \cdot 2 + 48 \cdot 2 + 56 \cdot 2 + 60 \cdot 2 + 64 \cdot 2)) = 1576,2 \text{ кН.}$$

б) определение несущей способности сваи для грунта в замоченном состоянии.

$$I_{L2} = \frac{0,9e\gamma_w - W_p}{\gamma_s} = \frac{0,9 \cdot 0,73 \cdot 10}{26,9} - 0,14 = 1,04 \Rightarrow f_1 = 2 \text{ кПа;}$$

$$I_{L4} = \frac{0,9e\gamma_w - W_p}{\gamma_s} = \frac{0,9 \cdot 0,74 \cdot 10}{26,9} - 0,14 = 1,07 \Rightarrow f_2 = 5 \text{ кПа;}$$

$$I_{L6} = \frac{0,9e\gamma_w - W_p}{\gamma_s} = \frac{0,9 \cdot 0,78 \cdot 10}{27,1} - 0,14 = 1,19 \Rightarrow f_3 = 6 \text{ кПа;}$$

$$I_{L8} = \frac{0,9e\gamma_w - W_p}{\gamma_s} = \frac{0,9 \cdot 0,78 \cdot 10}{27,1} - 0,14 = 1,19 \Rightarrow f_4 = 6 \text{ кПа;}$$

$$I_{L,\infty} \Rightarrow \begin{cases} f_5 = 64,0 \text{ кПа;} \\ R = 10500 \text{ кПа.} \end{cases}$$

$$F_{d,sat} = \gamma_c (\gamma_{cR} RA + u \sum \gamma_{cf} f_i h_i) = 1(10500 \cdot 0,09 + 1,2 \cdot 1(2 \cdot 2 + 5 \cdot 2 + 6 \cdot 2 + 6 \cdot 2 + 64 \cdot 2)) = 1144,2 \text{ кН.}$$

4.3 Определение величины отрицательных сил трения

Отрицательная сила трения P_n в водонасыщенных грунтах определяется по формуле:

$$P_n = u \sum_0^{h_{st}} \tau_i h_i, \quad (20)$$

где u – периметр, м, участка ствола сваи;

h_{sl} – расчетная глубина, м, до которой производится суммирование сил бокового трения проседающих слоев грунта, принимаемая равной глубине, где значение просадки грунта от действия собственного веса равно 0,05 м;

τ_i – расчетное сопротивление грунта по боковой поверхности, кПа, определяемое по формуле:

$$\tau_i = \zeta \sigma_{zg} \operatorname{tg} \varphi_I + c_I, \quad (21)$$

где ζ – коэффициент бокового давления, принимаемый равным 0,7;

φ_I, c_I – расчетные значения угла внутреннего трения и удельного сцепления;

σ_{zg} – вертикальное напряжение от собственного веса водонасыщенного грунта, кПа;

h_i – толщина, м, i -го слоя просадочного грунта, оседающего при замачивании и соприкасающегося с боковой поверхностью сваи.

$$\tau_1 = 0,7 \cdot 25,3 \cdot 0,32 + 30 = 35,7 \text{ кПа};$$

$$\tau_2 = 0,7 \cdot 75,5 \cdot 0,32 + 35 = 51,9 \text{ кПа};$$

$$\tau_3 = 0,7 \cdot 125 \cdot 0,28 + 35 = 59,5 \text{ кПа};$$

$$\tau_4 = 0,7 \cdot 174,2 \cdot 0,28 + 38 = 72,1 \text{ кПа}.$$

Отрицательная сила трения:

$$P_n = 1,2 \cdot (35,7 \cdot 2 + 51,9 \cdot 2 + 59,5 \cdot 2 + 72,1 \cdot 2) = 526,1 \text{ кПа} .$$

Расчетная нагрузка на одну сваю:

$$N \leq \frac{F_d}{\gamma_k} - \gamma_c P_n,$$

где P – расчетная нагрузка, кПа, на одну сваю, определяемая при проектировании свайных фундаментов зданий и сооружений;

F_d – несущая способность, кН;

γ_k — коэффициент надежности;

γ_c — коэффициент условий работы;

P_n — отрицательная сила трения.

$$N = \frac{F_{d,sat}}{\gamma_k} - \gamma_c P_n = \frac{1144,2}{1,4} - 0,8 \cdot 526,1 = 396,4 \text{ кН} .$$

Список использованных источников

1. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений (актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*) М.: ОАО «ЦПП», 2011.- 161 с.
2. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты (актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85); М.: ОАО «ЦПП», 2011. – 85 с.
3. СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Общие положения. - М: ГУП «НИИЖБ» Госстроя России, 2004. -56 с.
4. Цытович, Н. А. Механика грунтов (краткий курс): учеб. для вузов/ Н. А. Цытович.- 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Высш. шк., 1983. - 288 с. : ил.