РАЗДЕЛ X. АРХИТЕКТУРА

Алексеев С.И.

Конструктивный способ усиления оснований фундаментов на основе деформационной методики расчёта

*Петербургский государственный университет путей сообщения императора
Александра I
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi: 10.18411/sr-10-06-2020-23

idsp: sciencerussia-10-06-2020-23

Аннотация

Предложена к рассмотрению деформационная методика расчёта фундаментов на естественном основании, которая с использованием программного обеспечения (расчёт по двум предельным состояниям), на сайте: www.buildcalc.ru, позволяет решать возникающие геотехнические задачи, в том числе и по вопросам конструктивного усиления основания. Выполнение работ по усилению оснований и фундаментов по результатам реконструкции гражданских зданий целесообразно производить щадящим способом с минимальными затратами – устройством выштампованных микросвай. Рассмотрен практический численный пример расчёта, показывающий эффективность предложенной методики.

Ключевые слова: фундамент, усиление оснований, деформационная методика, конструктивный расчёт, программное обеспечение расчёта, микросваи.

Большинство реконструктивных работ исторических зданий периода постройки до начала двадцатого века, связано с увеличением нагрузки на существующие фундаменты (замена перекрытий, строительство лифтовых шахт, мансард, увеличение этажности), а также углублением подвалов. Такие виды работ, как правило, требуют усиления, как фундаментов, так и оснований.

Обычно стандартные способы усиления оснований связаны с уширением подошв существующих фундаментов, устройством железобетонных силовых плит, буронабивных свай. Последние, при наличии большой толщи слабых водонасыщенных грунтов, могут иметь значительные длины, устройство которых требует использование мощных буровых установок и как следствие, значительных затрат. Во всех случаях определяющим выбором методов усиления оснований и фундаментов, должно быть расчётное обоснование, основанное на изменении внешних факторов.

Главными критериями расчётных обоснований, связанных с усилением оснований и фундаментов, должны быть абсолютные и относительные осадки, возникающие при изменении внешних воздействий (условия расчёта по II предельному состоянию - СП 22.13330.2016 [1]). Решение таких задач на основе деформационной методики расчёта подробно рассмотрено в книге [2].

Использование деформационной методики расчёта, с использованием программного обеспечения на сайте: www.buildcalc.ru позволяет достаточно быстро, с заданной степенью надёжности (расчёт по двум предельным состояниям), решать возникающие геотехнические задачи, в том числе и по вопросам конструктивного усиления основания.

Рассмотрим в качестве примера работу фундамента и основания при реконструкции жилого 5 этажного дома, постройки начало 20 века. Для этого

выполним расчёт по программе «BRNL» [3] для ленточного бутового фундамента по максимально нагруженной продольной оси. Все исходные (учётные) расчётные данные, включая инженерно-геологические свойства грунтов, представлены в приведённой распечатке расчёта на рис. 1.

Анализ результатов решения показывает (рис. 1), что основание работает в нелинейной стадии деформирования ($P_{ср.} > R$), что в данном случае допустимо, т.к. осадка фундамента составляет 6,92см, или находится в пределах допустимых величин [1].

Полученная расчётная величина осадки фундамента определяет основную причину развития неравномерных деформаций для рассматриваемого здания. Однако следует считать, что за многолетний период эксплуатации здания, данная величина осадки при отсутствии внешних воздействий, практически стабилизировалась.

BRNL - Расчёт фундамента с учётом нелинейной работы основания

Отчёт

Учётные данные

Объект:	Жилой дом (фундамент по оси "Б"), до реконструкции
Тип здания:	Бескаркасное здание из кирпича без армирования

Основные данные фундамента

Тип фундамента:	Ленточный
Тип стены:	Внутренняя
Высота фундамента (размер фундамента от обреза до подошвы), м:	2.10
Глубина заложения фундамента (расстояние от планировочной отметки до подошвы фундамента), м:	2.50
Ширина подошвы фундамента, м:	2.20

Данные по подвалу

Расстояние от уровня планировки до пола подвала (глубина подвала), м:	0.83
Толщина пола подвала, м:	0.14
Удельный вес конструкции пола подвала, кН/м ³ :	22.00

Нагрузки по обрезу фундамента

Вертикальная нагрузка N, кН:	517.44
------------------------------	--------

Данные по грунту

Введённые данные

№	Н, м	Наименование	Тип грунта	γ , кН/м ³	ϕ , °	C, кПа	e	W	I_L	E	μ	Источник данных
1	2.3	Насыпной грунт	Пески пылеватые влажные	16.5	14	0	0.	0	-	5000	0.3	Таблица
2	3.9	Песок пылеватый	Пески пылеватые насыщенные водой	19.6	29	3.6	0.67	-	-	16600	0.3	Таблица
3	4.4	Суглинок	Пылевато-глинистые	19	10	10	0.84	0.3	1	8000	0.3	Таблица
4	8	Суглинок	Пылевато-глинистые	19.1	7	8	0.89	0.33	0.82	7000	0.3	Таблица

Расчётные данные

№	H, м	γ_1 , кН/м ³	γ_2 , кН/м ³	φ_1 , °	φ_2 , °	C_1 , кПа	C_2 , кПа	γ_{c1}	γ_{c2}	K
1	1.40	15.00	16.50	12.73	14.00	0.00	0.00	1.25	1.16	1.10
2	0.90	9.09	10.00	12.73	14.00	0.00	0.00	1.25	1.16	1.10
3	3.90	9.25	10.18	26.36	29.00	2.40	3.60	1.10	1.16	1.10
4	4.40	17.2	19.00	8.70	10.00	6.67	10.00	1.00	1.00	1.10
5	8.00	17.36	19.10	6.09	7.00	5.33	8.00	1.00	1.00	1.10

Дополнительная информация

Действие грунтовых вод учитывается
Уровень грунтовых вод, м:

Грунтовые воды

1.40

Информация о сооружении

Сооружение обладает жёсткой конструктивной схемой
Отношение длины сооружения или его отсека к высоте:

2.00

Результаты расчёта

Рассчитанные данные по совместной работе грунта и фундамента

Средневзвешенное значение удельного веса грунта по I-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	12.41
То же по II-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	13.65
Приведённая глубина заложения фундамента d_1 , м:	1.76

Рассчитанные данные по основанию

Расчётное сопротивление грунта основания R , кПа:	261.41
Предельное давление (несущая способность) грунта основания $R_{пр}$, кПа:	686.76
Предельная нагрузка на фундамент $N_{пр}$, кН:	1,510.88
Среднее давление под подошвой фундамента $P_{ср.}$, кПа:	277.70
Осадка фундамента S_1 , см:	6.92
Коэффициент надёжности:	2.23

Рис. 1. Результаты решения совместной работы основания и существующего фундамента по оси «Б» с учётом двух предельных состояний, для обследуемого здания до его реконструкции

Оценим работу данного фундамента после планируемой реконструкции здания, которая предполагает увеличение нагрузки на обрз до 765 кН, а также углубление подвала на 0,52м.

Выполним предыдущий расчёт, но с изменёнными условиями, по данным реконструкции (рис. 2). Результаты расчёта представим в сокращённом виде – только по результатам внесённых изменений.

Полученное (рис. 2) неудовлетворительное программное решение свидетельствует о необходимости усиления основания под подошвой данного фундамента

Для решения вопроса усиления основания, выполним вначале расчёт данного фундамента на меньшую допустимую нагрузку (рис. 3), которую без усиления основания может воспринять фундамент (выполнение условия допустимого приращения осадки).

BRNL - Расчёт фундамента с учётом нелинейной работы основания**Отчёт****Учётные данные**

Объект:	Жилой дом (фундамент по оси "Б"), <u>после реконструкции здания</u> , увеличение нагрузки до 765 кН, углублении подвала на 0,52 см
---------	--

Данные по подвалу

Расстояние от уровня планировки до пола подвала (глубина подвала), м:	1.35
---	------

Нагрузки по обрезу фундамента

Вертикальная нагрузка N, кН:	765.00
------------------------------	--------

Рассчитанные данные по основанию

Расчётное сопротивление грунта основания R, кПа:	256.23
Предельное давление (несущая способность) грунта основания R _{пр} , кПа:	536.54
Предельная нагрузка на фундамент N _{пр} , кН:	1,180.39
Среднее давление под подошвой фундамента P _{ср.} , кПа:	390.23
Осадка фундамента S, см:	10.56
Коэффициент надёжности:	1.24

Осадка превышает предельно допустимое значение для заданного типа зданий (10 см).

Необходимо уменьшить нагрузку на фундамент либо укреплять основание.

Рис. 2. Результаты решения (в сокращённом виде) совместной работы основания и существующего фундамента по оси «Б» с учётом двух предельных состояний, для обследуемого здания после его реконструкции

Результаты расчёта по программе «BRNL» (в сокращённом виде – итог)

Учётная информация: Жилой дом (фундамент по оси "Б"), <u>после реконструкции здания</u> , при увеличении нагрузки на обрез фундамента до <u>допустимой величины 675 кН</u> , и углублении подвала на 0,52 см. Фундамент ленточный. Ширина подошвы фундамента, м: 2.20 Расчётное сопротивление грунта R, кПа (II предельное состояние): 256.23 Предельное давление на грунт R _{пр} , кПа (I предельное состояние): 536.54 Среднее давление под подошвой фундамента P _{ср.} , кПа: 349.32 Осадка фундамента S ₂ , см: 8.90 Коэффициент надёжности: 1.38

Рис. 3. Результаты решения (в сокращённом виде - итог) совместной работы основания и существующего фундамента по оси «Б» для обследуемого жилого здания после его реконструкции, но с допустимой величиной нагрузки лишь до 675 кН (выполнение условия допустимого приращения осадки)

При допустимой нагрузке в 675 кН (рис. 3) существующий фундамент по оси «Б» получит допустимое приращение осадки $\Delta S = S_2 - S_1 = 8,9 - 6,92 = 1,98 \text{ см} < 2,00 \text{ см}$ (соблюдение требований СП [1]). Поскольку на фундамент по данной оси, в соответствии с проектным решением, должна быть передана нагрузка в 765 кН, то создаётся дефицит нагрузки $765 - 675 = 90 \text{ кН}$, который должен быть воспринят усилением основания.

В качестве усиления основания примем конструктивные элементы – выштампованные микросваи [4].

Для определения необходимого количества выштампованных микросвай усиления основания, воспринимающих существующий дефицит нагрузки (90 кН), выполним расчёт в системе «Mathcad» (рис. 4).

Определение необходимого числа (n)
микрошвай усиления основания в зависимости от
дефицита несущей способности ($N_y - N$), свойств грунта и
размеров выштампованной микрошвай.

(Расчёт выполнен в соответствии с книгой Алексеева С.И. "Осадки фундаментов
при реконструкции зданий", СПб., ЦКС, 2009" (формула 2.14)
<http://www.buildcalc.ru/Books/2009062801/Default.aspx>)

Объект: **Жилой дом, фундамент по оси "Б"**

γ - объёмный вес грунта основания ϕ - угол внутреннего трения грунта основания

l – длина микрошвай r - радиус микрошвай α - угол наклона микрошвай к вертикали

Исходные данные: $\gamma := 19.6 \text{ кН/м}^3$ $\phi := 29^\circ$

$l := 2.0 \text{ м}$ $\pi = 3.142$ $r := 0.11 \text{ м}$ $\alpha := 30^\circ$ $N_{\text{пл}} := 675 \text{ кН}$ $N_y := 765 \text{ кН}$

Результаты расчёта:

$$E_n := 0.5 \cdot 1.11 \cdot \gamma \cdot l^2 \cdot \left[\tan \left[\frac{\pi}{180} \cdot \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \right] \right]^2 \cdot \pi \cdot r = 43.337 \text{ кН}$$

$$n := \frac{(N_y - N)}{E_n \cdot \left[\cos \left[\left(\alpha \right) \cdot \frac{\pi}{180} \right] + \sin \left[\left(\alpha \right) \cdot \frac{\pi}{180} \right] \right]} = 1.52 \text{ шт}$$

Вывод

Для усиления основания, (восприятия дефицита несущей способности основания с целью снижения приращения осадок до допустимых величин) необходимо выполнение 2 микрошвай на 1 п.м. подошвы фундамента, длиной 2,0 м с углом наклона 30° к вертикали.

Рис. 4. Результат программного расчёта по определению необходимого числа микрошвай в системе «Mathcad»

Для выполнения расчёта, предварительно задаёмся размерами выштампованной микрошвай (по условиям технологии её изготовления):

Длина, $l = 2,0 \text{ м}$; Диаметр, $\varnothing = 220 \text{ мм}$; Угол наклона к вертикали, $\alpha = 30^\circ$.

Микрошвай будет расположена под углом наклона $\alpha = 30^\circ$ к вертикали в основании, расчётные характеристики которого (с учётом I предельного состояния) определены в соответствии с таблицей «Данные по грунту» (рис. 1).

Полученное решение по необходимому числу микрошвай округляем до целого, т.е. принимаем 2 микрошвай на погонный метр.

Таким образом, существующее основание (пылеватые пески насыщенные водой) для развития допустимого приращения осадки и восприятия проектируемой вертикальной нагрузки $N = 765 \text{ кН/м}$ от ленточного фундамента (по оси «Б» при $b = 2,2 \text{ м}$ и углублении подвала на $0,52 \text{ м}$), должно быть усилено на одном метре двумя выштампованными микрошвай (с расчётными характеристиками – см. выше).

Выводы:

1. Расчёт существующего фундамента, с учётом возможной нелинейной работы основания, в результате дополнительного его нагружения (углубления пола подвала) при реконструкции здания, может быть выполнен по программе автора на сайте: (www.buildcalc.ru). Расчёты на данном сайте, в том числе по представленной программе: «BRNL» <http://www.buildcalc.ru/Common/Images/Brnl-2015615210-2015-05->

13.jpg можно осуществлять бесплатно непосредственно в интернете в режиме реального времени.

2. Рассмотренная деформационная методика расчёта оснований и фундаментов реконструируемых зданий позволяет (в том числе по критерию допустимой дополнительной осадки) определить так называемый, дефицит несущей способности основания, Компенсация дефицита несущей способности основания целесообразно производить щадящим способом усиления с минимальными затратами – устройством выштампованных микросвай.

1. Свод правил. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456054206>
 2. Алексеев С. И. Механика грунтов, основания и фундаменты. Избранные главы: учебное пособие <http://www.buildcalc.ru/Books/2019092801/Default.aspx>
 3. BRNL - расчёт размеров и осадки существующего или нового фундамента с учётом возможной нелинейной работы основания. <http://www.buildcalc.ru/Common/Images/Brl-2015615210-2015-05-13.jpg>
 4. Алексеев С. И. Применение выштампованных микросвай усиления основания реконструируемых зданий. – Режим доступа: <http://www.buildcalc.ru/Books/2011041301/Default.aspx>
-