

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСАДОК ОСНОВАНИЯ ПРИ ЗАМАЧИВАНИИ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ

А.А. ПЕТРАКОВ, доктор техн. наук, профессор, **В.В. ЯРКИН**, канд. техн. наук, доцент
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

В статье выполнен анализ метода расчёта просадочных деформаций от внешней нагрузки и собственного веса грунта в соответствии с действующими нормативными документами России и Украины. Представлены результаты сопоставительного анализа с учётом размеров подошвы фундамента, величины внешней нагрузки на основание, мощности просадочной толщи и относительной просадочности грунта. Даны предложения по совершенствованию рассмотренного метода определения просадочных деформаций.

Ключевые слова: просадочные грунты, просадочная толща, просадка от внешней нагрузки, просадка от собственного веса грунта, зона просадки.

Введение. Районы с просадочными грунтами широко распространены на территории Российской Федерации (РФ) и Украины. В действующих нормативных документах РФ [1-3] и Украины [4, 5], регламентирующих проектирование на просадочных грунтах, определение просадок производится методом послойного суммирования с использованием модели линейно-деформируемого упругого полупространства. Данный метод является достаточно условным [6-8], а введение в формулу для определения просадки поправочного коэффициента k_{st} может изменять результаты расчёта в несколько раз.

Кроме того, различия в разбиении просадочной толщи на верхнюю и нижнюю зоны, а также в определении поправочного коэффициента, присутствующие в нормативных документах РФ и Украины, могут привести к существенно отличающимся результатам.

Анализ последних публикаций. Первые нормативные документы, регламентирующие проектирование зданий и сооружений на просадочных грунтах, появились в начале 30-х годов XX века. Основная роль в становлении науки о строительстве на просадочных грунтах на этом этапе принадлежит

Ю.М. Абелеву [9]. Дальнейшее развитие этого направления нашло отражение в трудах М.Н. Гольдштейна [10], А.А. Григорян [8], С.Н. Клепикова [11, 12], В.И. Крутова [6, 20], А.А. Мустафаева [13], З.Г. Тер-Мартirosяна [14], Я.Д. Гильмана [7, 15], В.А. Межеревского [16], А.И. Маркова, В.Р. Мустакимова [17] и др.

Многолетние исследования, проведённые в НИИ оснований им. Н.М. Герсеванова под руководством В.И. Крутова, легли в основу СНиП 2.02.01-83 [18], который в дальнейшем был актуализирован на территории РФ, и основные принципы проектирования на просадочных грунтах практически без изменений перенесли в действующие нормы РФ [1-3]. В нормативных документах Украины [4, 5] по сравнению с [18] появились более существенные изменения, в основу которых легли исследования С.Н. Клепикова, А.С. Трегуба, И.О. Розенфельда, И.В. Матвеева и др.

Цель исследования – выполнить сопоставительный анализ определения просадочных деформаций по нормативным документам, действующим на территории Украины и России.

Основной материал. В соответствии с нормами России и Украины [1-5] полная просадка при замачивании



**Петраков
Александр
Александрович**



**Яркин
Виктор
Владимирович**

сверху больших площадей или замачивании снизу при подъёме уровня подземных вод определяется по формуле

$$S_{sl} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{sl,i} \cdot h_i \cdot k_{sl,i}, \quad (1)$$

где $\varepsilon_{sl,i}$ – относительная просадочность i -го слоя грунта;

h_i – толщина i -го слоя грунта;

n – число слоёв, на которые разбиты зоны просадки $h_{sl,p}$ и (или) $h_{sl,g}$;

$k_{sl,i}$ – коэффициент, учитывающий условия работы основания.

При этом в соответствии с [1, 2, 3, 5] коэффициент $k_{sl,i}$ принимается при суммировании в верхней зоне просадки $h_{sl,p}$ равным:

- при ширине подошвы фундамента $b \geq 12$ м – 1,0;
- при ширине подошвы фундамента $b \leq 3$ м –

по формуле

$$k_{sl,i} = 0,5 + 1,5(p - p_{sl,i}) / p_0, \quad (2)$$

где p – среднее давление под подошвой фундамента;

$p_{sl,i}$ – начальное просадочное давление i -го слоя грунта;

p_0 – давление, равное 100 кПа;

– при ширине подошвы фундамента $3 \text{ м} < b < 12 \text{ м}$;

– по интерполяции между значениями $k_{sl,i}$, полученными при $b = 3$ м и $b = 12$ м.

При суммировании в нижней зоне просадки $h_{sl,g}$ коэффициент $k_{sl,i}$ принимается [2, 3, 5]:

– при $H_{sl} \leq 15$ м – 1,0;

– при $H_{sl} \geq 20$ м – 1,25;

– при промежуточных значениях H_{sl} – по интерполяции между указанными выше значениями.

По [1] коэффициент $k_{sl,i}$ в зоне $h_{sl,g}$ принимается равным 1 независимо от толщины просадочной толщи, а по [4] и в верхней и в нижней зонах коэффициент $k_{sl,i}$ принимается равным 1.

В общем случае полное значение просадки состоит из просадки от внешней нагрузки $S_{sl,p}$ и просадки от собственного веса грунта $S_{sl,g}$

$$S_{sl} = S_{sl,p} + S_{sl,g} \quad (3)$$

При этом просадка от внешней нагрузки $S_{sl,p}$ возможна в пределах верхней зоны просадки $h_{sl,p}$, а просадка грунта от собственного веса $S_{sl,g}$ возможна в пределах нижней зоны просадки $h_{sl,g}$.

В нормативных документах РФ и Украины используется различный подход к определению просадок от внешней нагрузки $S_{sl,p}$ и собственного веса грунта $S_{sl,g}$, а также верхней и нижней зон просадки $h_{sl,p}$ и $h_{sl,g}$ (рис. 1).

В соответствии с [1-3] значения просадок от внешней нагрузки и от собственного веса грунта определяются по формуле 1 соответственно только в верхней и нижней зоне просадочной толщи.

В соответствии с [4, 5] значения просадок от внешней нагрузки и от собственного веса грунта определяются по формулам

$$S_{sl,p} = S_{sl} - S_{sl,g} \quad (4)$$

$$S_{sl,g} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{sl,g,i} \cdot h_i \cdot k_{sl,g}, \quad (5)$$

где $\varepsilon_{sl,g,i}$ – относительная просадочность i -го слоя грунта, при давлении, равном $\sigma_{zg,i}$; n – число слоёв, на которые разбита зона просадки $h_{sl,g}$;

$k_{sl,g}$ – коэффициент, учитывающий условия работы основания в нижней зоне просадки.

Разделение просадочной толщи на верхнюю и нижнюю зоны просадки осуществляется следующим образом.

Нижняя граница верхней зоны $h_{sl,p}$ соответствует глубине, где $\sigma_z = \sigma_{zp} + \sigma_{zg} = P_{sl}$ либо:

– в соответствии с [1-3] глубине, где σ_z минимально, если $\sigma_{z,min} > P_{sl}$;

– в соответствии с [4, 5] глубине, в пределах которой $S_{sl} - S_{sl,g} > 0$ при $\sigma_z > P_{sl}$.

Нижняя зона просадки $h_{sl,g}$ определяется:

– в соответствии с [1-3] начиная с глубины, где $\sigma_z = P_{sl}$ или σ_z минимально, если $\sigma_{z,min} > P_{sl}$, и до нижней границы просадочной толщи (рис. 1 а);

– в соответствии с [4, 5] начиная с глубины, где $\sigma_{zg} = P_{sl}$, и до нижней границы просадочной толщи (рис. 1 б).

Возможно также возникновение нейтральной зоны, в пределах которой $\sigma_z = \sigma_{zp} + \sigma_{zg} < P_{sl}$. При этом по [1] нейтральная зона разделяет просадочную толщу на верхнюю и нижнюю зоны просадки, а по [4] нейтральная зона может возникать внутри верхней зоны просадки. Также по [4] существует возможность наложения верхней зоны просадки на нижнюю, как правило, для фундаментов с большой площадью подошвы.

Рассмотрим два варианта инженерно-геологических условий, представленных десятиметровой толщиной просадочных грунтов, которые по классификации, предложенной М.Н. Гольдштейном [10], являются:

а) слабопросадочными (при $p=200$ кПа $0,01 < \varepsilon_{sl} \leq 0,03$);

б) среднепросадочными (при $p=200$ кПа $0,03 < \varepsilon_{sl} \leq 0,07$).

При этом просадка от собственного веса, определённая по формуле (5), при рассматриваемых слабопросадочных грунтах составляет 4,5 см, а при среднепросадочных грунтах составляет 20,5 см.

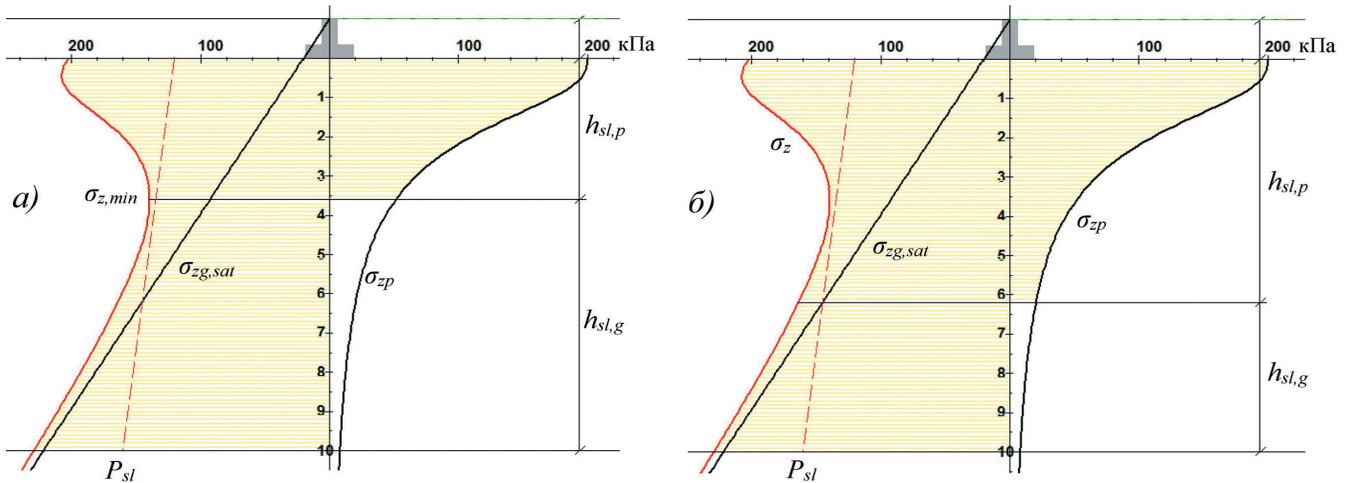


Рис. 1. Расчётные схемы для определения просадки: а – по [1-3]; б – по [4, 5]

В соответствии с общепринятой классификацией [18] рассматриваемые ИГ условия относятся к территориям: а – I типа; б – II типа.

Несмотря на то, что практический интерес, как правило, представляет диапазон давлений по подошве фундамента до 300 кПа, в данной работе рассматриваемый диапазон увеличен до 500 кПа, так как в результате неравномерных деформаций основания перераспределяющиеся давления по подошве фундамента на отдельных участках могут существенно превысить расчётное сопротивление просадочного грунта. Кроме того, в соответствии с [10, 15] увеличение давления выше 500–600 кПа приводит к снижению просадочности в связи с доуплотнением просадочного грунта без замачивания за счёт разрушения структурных связей от уровня давления. Т. е. в суммарной вертикальной деформации при высоких давлениях снижается доля просадочных деформаций и увеличивается доля деформаций, вызванных развитием зон сдвигов.

На рис. 2 представлены зависимости толщины нижней зоны просадки от давления при разной

ширине подошвы фундаментов с отношением сторон подошвы $l/b=1$. На этом и последующих графиках зависимости, полученные по [1], показаны сплошными линиями, а по [5] показаны пунктирными линиями.

Как видно из рис. 2, размер нижней зоны просадки по [1] зависит от размеров фундамента и величины давления по подошве, в то время как по [5] это величина постоянная.

С увеличением ширины подошвы фундамента при постоянном давлении увеличивается глубина, где σ_z минимально [9], что в соответствии с [1] приводит к уменьшению нижней зоны просадки $h_{sl,g}$ и увеличению верхней зоны просадки $h_{sl,p}$. Так как при определённых условиях для верхней зоны просадки применяется более высокий поправочный коэффициент, это приводит к увеличению просадки, что противоречит результатам натуральных наблюдений [7]. Вследствие изменения размеров нижней зоны просадки в соответствии с [1] просадка от собственного веса, определённая для загруженной поверхности по формуле (1),

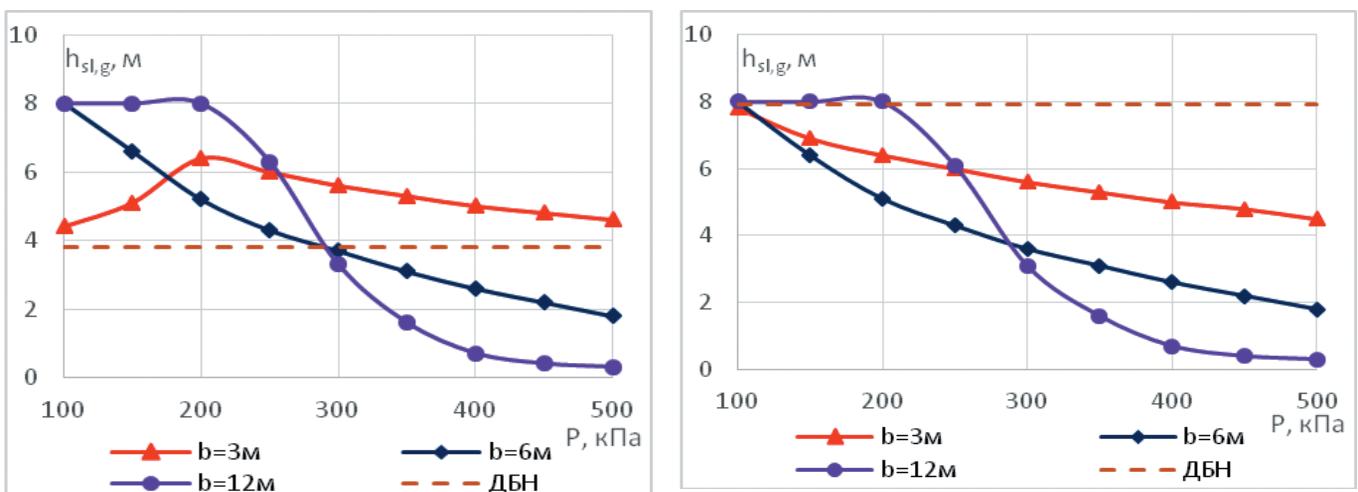


Рис. 2. Зависимости толщины нижней зоны просадки от давления: а – I типа; б – II типа

может отличаться от просадки, определённой для незагруженной поверхности по формуле (5).

На рис. 3 показаны зависимости полной просадки от давления по [1] и [5].

Так как при $b \geq 12$ м и $H_{sl} \leq 15$ м коэффициент k_{sl} принимается равным 1 и для верхней и для нижней зоны просадки, результаты по [1] и [5] полностью совпадают.

Для слабопросадочных грунтов в диапазоне давлений до 300 кПа просадки, полученные по различным нормативным документам, практически совпадают и при ширине подошвы фундамента менее 6 м могут превышать просадку для фундаментов с шириной ≥ 12 м на 50–100 %. При больших давлениях расхождение становится довольно существенным, что обусловлено линейной зависимостью коэффициента k_{sl} от давления. Данные результаты противоречат [15], так как по наблюдениям при действии высоких давлений на основание просадочность грунта снижается в результате его уплотнения без замачивания.

Для среднеспросадочных грунтов, при ширине подошвы фундамента менее 6 м и высоких давлениях по подошве, просадки по [1, 2] в 4–5 раз могут превышать просадку для фундаментов с шириной 12 м и более. Так как по наблюдениям различных авторов [9, 15] для среднеспросадочных и сильнопросадочных грунтов максимальная относительная просадочность, как правило, соответствует давлению не более 300 кПа, полученные значения просадок сильно завышены.

Увеличение относительной просадочности приводит к увеличению расхождений между результатами, полученными по СП и ДБН. Увеличение b в диапазоне от 3 до 12 м по [1] приводит к увеличению просадки, а по [5] – наоборот.

Отсюда можно сделать вывод, что коэффициент k_{sl} , определённый по формуле (2), имеет огра-

ниченную область применения и не всегда приводит к достаточно удовлетворительным и теоретически обоснованным результатам [13].

В соответствии со СНиП II-Б.2-62 [19] коэффициент условий работы k_{sl} принимался постоянным для глубины $1,5 \cdot b$ равным 2, а для остальной просадочной толщи – 1,5.

Однако расчёт просадок с применением данных значений коэффициента приводил к результатам, существенно отличающимся от фактически замеренных. При этом по наблюдениям многих авторов значения коэффициента в верхней зоне просадки для фундаментов небольшой площади были более 2, а в нижней зоне – наоборот k_{sl} мог достигать значения 1,5 только при больших толщах сильнопросадочных грунтов [8].

В связи с этим позднее на основании статистической обработки серии испытаний штампами площадью от 0,5 до 4 м² были предложены две эмпирические формулы для определения коэффициента условий работы в верхней зоне просадочной толщи [20]: в зависимости от давления по подошве и начального просадочного давления (2) и в зависимости от величины расчётной просадки фундамента от внешней нагрузки $s'_{sl,p}$, определённой по (1) при $k_{sl} = 1$

$$k_{sl} = 1 + 0,2 \cdot s'_{sl,p} / s_0, \quad (6)$$

где $s'_{sl,p}$ – расчётная просадка фундамента от внешней нагрузки при $k_{sl} = 1$;

s_0 – осадка, принимаемая равной 1 см.

Коэффициент корреляции для обеих формул практически одинаков, однако так как формула (2) учитывает большее количество факторов, она была окончательно рекомендована для практических расчётов [20].

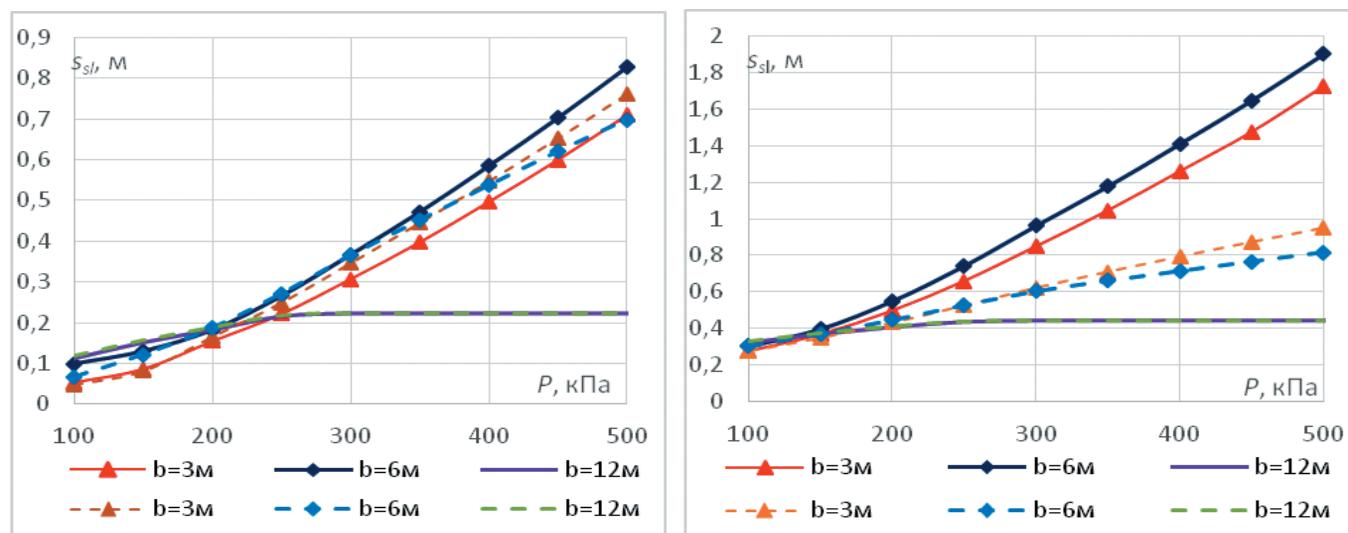


Рис. 3. Зависимости просадки от давления: а – I типа; б – II типа

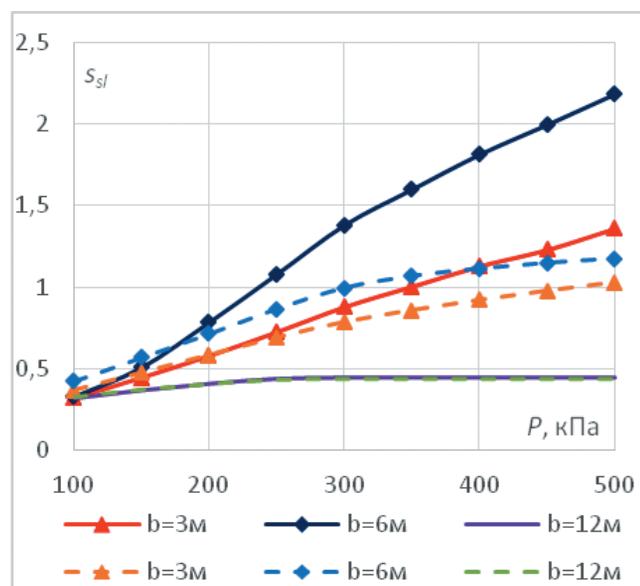
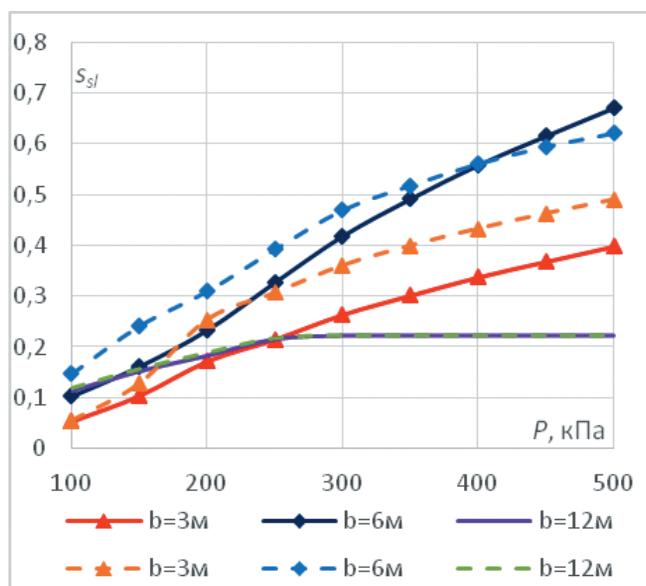


Рис. 4. Зависимости просадки от давления: а – I типа; б – II типа

В то же время при определении $s'_{sl,p}$ в формуле (6) учитываются: напряжённое состояние грунтового массива, просадочные характеристики грунта и размеры верхней зоны просадки, то есть по количеству влияющих факторов формула (6) даже превосходит формулу (2).

На рис. 4 показаны зависимости полной просадки от давления при k_{sl} , определённом по формуле (6).

Зависимость просадок от давления при коэффициенте $k_{sl} = 1$ по [4] для фундаментов с шириной подошвы менее 12 м, будут подобны показанным на рис. 3, 4 при $b = 12$ м, однако значения будут ниже, так как уменьшение размеров подошвы при неизменном давлении снижает площадь эпюры суммарных напряжений в грунтовом массиве σ_z . Соответственно полученные результаты являются заниженными и не соответствуют наблюдениям различных авторов [6, 7, 9, 13, 14, 15].

Существует много различных предложений по усовершенствованию коэффициента k_{sl} путём введения нескольких дополнительных параметров, что свидетельствует о несовершенстве самой расчётной схемы, рекомендованной нормативными документами. Данная схема предполагает одномерное уплотнение, тогда как при просадке происходят как объёмные, так и сдвиговые деформации, которые могут составлять до 70 % от величины просадки [14]. Соответственно принято считать, что коэффициент k_{sl} учитывает горизонтальные (боковые) уплотнения [7, 13].

При этом, учитывая то, что зоны боковых перемещений уплотняющегося от внешней нагрузки просадочного грунта расположены по периметру фундамента, увеличение размеров подошвы приводит к снижению отношения периметра к площади подошвы и соответственно к снижению влияния боковых

перемещений грунта на величину вертикальных просадок. Соответственно при ширине подошвы фундамента 12 м и более боковыми перемещениями пренебрегают, принимая $k_{sl} = 1$. Учитывая особенность формирования зон сдвиговых деформаций, представляется правильным ограничение верхней зоны просадки, к которой применяется поправочный коэффициент, глубиной, где σ_z минимально, если $\sigma_{z,min} > P_{sl}$

ВЫВОДЫ:

При увеличении размеров подошвы фундамента в диапазоне от 3 до 12 метров и постоянном давлении по подошве, существенно превышающем начальное просадочное, происходит уменьшение коэффициента k_{sl} , определённого по [1-3], однако при этом величина просадки все равно может увеличиваться, так как изменение распределения напряжений от внешней нагрузки по глубине приводит к увеличению верхней зоны просадки.

Коэффициент k_{sl} , определённый в соответствии с [1, 2, 3, 5] для верхней зоны просадки, имеет область применения, ограниченную определённым диапазоном давлений по подошве фундамента (ориентировочно от P_{sl} до 300 кПа), что, к сожалению, не оговорено в этих нормах. За пределами корректной области применения значения поправочного коэффициента могут приводить как к завышению, так и занижению величины просадки. Определение этого коэффициента в соответствии с [4] сильно занижает расчётные значения просадки, что может соответственно снизить надёжность зданий за счёт применения недостаточно обоснованных мер защиты.

По мнению авторов статьи, разделение просадочной толщи на верхнюю и нижнюю зоны просадки,

при вычислении полного значения просадки по формуле (1), более корректно осуществляется в соответствии с нормами РФ [1-3]. При этом разделение полного значения просадки на просадку от внешней нагрузки и просадку от собственного веса грунта корректней выполнять по формулам (4 и 5) в соответствии с нормами Украины [4, 5].

Вычисление поправочного коэффициента k_{st} по формуле (6) позволит корректней определять просадку в более широком диапазоне давлений от внешней нагрузки, однако при этом требуется сделать его величину зависящей от ширины подошвы фундамента.

Библиографический список

- СП 21.13330.2012. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.01.09-91. М., 2012. – 73 с.
- СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. М., 2011. – 161 с.
- СП 50-101-2004 Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. М., 2005. – 177 с.
- ДБН В.1.1-5-2000. Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідаючих грунта. Київ: Держбуд України, 2000. – 66 с.
- ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти будинків і споруд. Мінрегіонбуд України. Київ., 2009. – 104 с.
- Крутов, В.И. Основания и фундаменты на просадочных грунтах. К.: Будівельник, 1982. – 224 с.
- Гильман, Я.Д. Основания и фундаменты на лессовых просадочных грунтах. Ростов на Дону: СевкавНИПИагропром, 1991. – 218 с.
- Григорян, А.А. О количественной оценке просадочности грунтов // «Основание, фундаменты и механика грунтов». – № 2, 2001. – С. 17–21.
- Абелев, Ю.М. Основы проектирования и строительства на просадочных макро-пористых грунтах / Ю.М. Абелев, М. Ю. Абелев. М.: Стройиздат, 1968. – 432 с.
- Гольдштейн, М.Н. Об определении просадочных свойств лессовых грунтов. / М. Н. Гольдштейн, Н. М. Макаренко // Основания, фундаменты и механика грунтов. – № 6, 1970. – С. 10–13.
- Трегуб, А.С. Расчет зданий и сооружений на просадочных грунтах. / А.С. Трегуб, С.Н. Клепиков. – К.: Будівельник, 1987. – 200 с.
- Клепиков, С.Н. Расчет сооружений на деформируемом основании. – К.: НИИСК, 1996. – 204 с.
- Мустафаев, А.А. Фундаменты на просадочных и набухающих грунтах. – М.: Высшая шк., 1989. – 590 с.
- Тер-Мартиросян, З.Г. Механика грунтов: учеб. пособие. – М.: Издательство АСВ, 2005. – 488 с.
- Гильман, Я.Д. Строительные свойства лессовых грунтов и проектирование оснований и фундаментов. / Я.Д. Гильман, В.П. Ананьев. – Ростов-на-Дону: РИСИ, 1971. – 132 с.
- Межеровский В.А. Распространение влаги и развитие просадочных деформаций в лессовом основании здания // «Основание, фундаменты и механика грунтов». – № 1, 1998. – С. 20–22.
- Coduto Donald P. Foundation Design: Principles and Practices / Donald P. Coduto. 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001. – 883 pp.
- СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1985. – 40 с.
- СНиП II-Б.2-62. Основания и фундаменты зданий и сооружений на просадочных грунтах. М., 1962. – 9 с.
- Крутов, В.И. Расчет фундаментов на просадочных грунтах. – М.: Стройиздат, 1972. – 176 с.

Центр испытаний строительных изделий и конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» проводит испытания грунтов по показателям качества:

- ◆ модуль деформации;
- ◆ влажность границы текучести;
- ◆ влажность границы раскатывания;
- ◆ отпускная влажность;
- ◆ плотность грунта;
- ◆ угол внутреннего трения;
- ◆ удельное сцепление грунта;
- ◆ предел прочности на одноосное сжатие



Свидетельство об аттестации № ИЛ-021/2017
выдано 13.03.2017 ГП «Донецкстандартметрология»

E-mail: mailbox@donnasa.ru