



ISSN 1993-3495 online

СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2019, ТОМ 15, НОМЕР 3, 143–153

УДК 624.131.524

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕРАВНОМЕРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ОСНОВАНИЯ, ВЫЗВАННЫХ НАБУХАНИЕМ ГРУНТА

В. В. Яркин

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 286123.

E-mail: yarkinvv@mail.ru

Получена 05 сентября 2019; принята 27 сентября 2019.

Аннотация. В статье рассмотрено определение неравномерных деформаций основания, вызванных набуханием грунта. Предложен алгоритм определения в произвольных точках грунтового массива дополнительных вертикальных напряжений, учитывающих вес неувлажненной части массива грунта за пределами площади замачивания. Выполнено сопоставление результатов, полученных по предложенному алгоритму, методом конечных элементов и в соответствии с действующими нормативными документами. Анализ полученных результатов показал, что предложенный алгоритм более корректно учитывает влияние неувлажненных частей грунтового массива, расположенных в направлении длинной стороны площади замачивания, по сравнению с протабулированными зависимостями. Предложены упрощенные формулы для определения эквивалентных нагрузок и вынужденных перемещений основания при расчете конструкций, взаимодействующих с набухающим грунтом.

Ключевые слова: набухающие грунты, неравномерные деформации основания, вынужденные перемещения, эквивалентная нагрузка.

ВИЗНАЧЕННЯ НЕРІВНОМІРНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ОСНОВИ, ЩО ВИКЛИКАНІ НАБУХАННЯМ ҐРУНТУ

В. В. Яркін

ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.

E-mail: yarkinvv@mail.ru

Отримана 05 вересня 2019; прийнята 27 вересня 2019.

Анотація. У статті розглянуто визначення нерівномірних деформацій основи, що викликані набуханням ґрунту. Запропоновано алгоритм визначення в довільних точках ґрунтового масиву додаткових вертикальних напружень, які враховують вагу незволоженої частини масиву ґрунту за межами площі замочування. Виконано зіставлення результатів, отриманих за запропонованим алгоритмом, методом кінцевих елементів і відповідно до чинних нормативних документів. Аналіз отриманих результатів показав, що запропонований алгоритм більш коректно враховує вплив незволоженої частини ґрунтового масиву, розташованих у напрямку довгої сторони площі замочування, у порівнянні з залежностями, що протабульовані. Запропоновано спрощені формули для визначення еквівалентних навантажень і вимушених переміщень основи при розрахунку конструкцій, що взаємодіють з набрякливим ґрунтом.

Ключові слова: набрякливий ґрунт, нерівномірні деформації основи, вимушені переміщення, еквівалентні навантаження.

DETERMINATION OF NON-UNIFORM DEFORMATIONS OF BASE CAUSED BY SWELLING OF SOIL

Viktor Yarkin

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.*

E-mail: yarkinvv@mail.ru

Received 05 September 2019; accepted 27 September 2019.

Abstract. The article discusses the determination of uneven deformations of base caused by swelling of soil. An algorithm is proposed for determining additional vertical stresses at arbitrary points in the soil massif, taking into account the weight of the un moistened part of the soil mass beyond the soaking area. The results obtained by the proposed algorithm are compared using the finite element method and in accordance with the current regulatory documents. Analysis of the results has showed that the proposed algorithm more correctly takes into account the effect of the wetted parts of the soil mass located in the direction of the long side of the soaking area, compared to the tabulated dependencies. Simplified formulas are proposed for determining equivalent loads and forced displacements of the base when calculating structures interacting with swelling soil.

Keywords: expansive soils, non-uniform deformations of base, forced displacement, equivalent loads.

Постановка проблемы

Вследствие неоднородности грунтов, неравномерности увлажнения и высыхания набухание грунтов в основании сооружений всегда бывает неравномерным, поэтому при расчетах сооружений следует исходить из значения подъема основания при набухании грунта h_{sw} , возможного при случайном, наиболее неблагоприятном замачивании грунта в основании.

При этом определение неравномерных деформаций основания, как правило, состоит из двух этапов:

- определение экстремального перемещения в какой-либо характерной точке основания, например в центре зоны обводнения, в центре или по торцам здания и т. п.;
- аппроксимация закономерности деформирования поверхности основания в окрестностях этой характерной точки какой-либо линейной или нелинейной функцией.

Возможно также определение перемещений в ряде точек основания с последующей интерполяцией на промежуточных участках. Данный

способ является более точным, так как позволяет учитывать как неравномерность геологического строения, так и неравномерность распределения полей напряжений, влажности и температуры, однако из-за более высокой трудоемкости используется редко.

Также существует ряд различных предложений по моделированию неравномерных деформаций основания, вызванных набуханием грунта. Среди них наиболее распространенными являются:

- эквивалентные нагрузки, действующие либо со стороны основания, либо со стороны фундамента, и создающие соответствующее искривление поверхности;
- вынужденные перемещения основания.

Анализ последних исследований и публикаций

Проблемы строительства на набухающих грунтах были затронуты сравнительно недавно всего лишь в 1959 г. под руководством Е. А. Сорочана [1].

Физическая природа и механизм процесса набухания глинистых грунтов нашли отражение в

исследованиях В. П. Ананьева, Н. М. Герсевича [2], Н. Я. Денисова, В. Д. Ломтадзе, А. А. Мустафаева [3], П. А. Ребиндера, А. М. Самедова [4], Е. М. Сергеева, Е. А. Сорочана [1], Lucian Charles [5], Donald P. Coduto [6], R. L. Lytton [7], F. H. Chen [8] и др. [9, 10, 11]. Одним из наиболее современных методов оценки НДС основания из набухающего грунта является температурно-влажностная аналогия, предложенная З. Г. Тер-Мартirosяном [12].

Модели взаимодействия зданий с набухающим грунтом рассмотрены в работах С. Н. Клепикова [13], Д. Г. Кузнецова [14], А. А. Мустафаева [3], А. М. Самедова [4], М. А. Сницарь [15], Jahangir Emad, Deck Olivier, Masrouri Farimah [16].

В работе [13] при расчете конструкций, взаимодействующих с набухающим грунтом, подъем основания при набухании принимается изменяющимся линейно от максимального значения до нуля в соответствии с параметрами зоны обводнения и учитывается вынужденными перемещениями основания.

А. А. Мустафаевым [3] с использованием экспериментальных данных R. Lytton [7] предложено при расчете сооружений учитывать набухание грунта в виде дополнительной эквивалентной нагрузки, изменяющейся в соответствии с характером деформирования поверхности основания и добавленной к нагрузкам от собственного веса сооружения. Дальнейшее развитие это предложение получило в работах А. М. Самедова [4] и М. А. Сницарь [15], в которых эпюры эквивалентных контактных давлений, учитывающих набухание грунта при увлажнении, рекомендуется принимать в виде квадратной параболы купола набухания. Правомочность учета набухания грунта при расчете сооружений эквивалентными нагрузками, совпадающими по направлению и порядку значений с нагрузками от собственного веса сооружений, вызывает определенные сомнения, так как перераспределение контактных напряжений в зависимости от относительной жесткости системы «основание-фундамент-сооружение» может значительно исказить НДС элементов системы.

Основной материал

В соответствии с действующими нормативными документами [17, 18] подъем основания при набухании грунта h_{sw} определяется по формуле:

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

где $\varepsilon_{sw,i}$ – относительное набухание грунта i -го слоя;

h_i – толщина i -го слоя;

$k_{sw,i}$ – коэффициент, учитывающий напряженное состояние i -го слоя;

n – число слоев, на которое разбита зона набухания грунта.

Коэффициент $k_{sw,i}$, входящий в формулу (1), в зависимости от суммарного вертикального напряжения $\sigma_{z,tot}$ на рассматриваемой глубине принимается равным:

$$k_{sw,i} = 0,8 - 0,04 \cdot (\sigma_{z,tot,i} - \sigma_0) / \sigma_0 = 0,84 - 0,0008 \cdot \sigma_{z,tot,i}, \quad (2)$$

где σ_0 – напряжение, принимаемое равным 50 кПа.

Суммарное вертикальное напряжение $\sigma_{z,tot,i}$ на глубине z_i от подошвы фундамента (рис. 1) определяется по формуле:

$$\sigma_{z,tot,i} = \sigma_{zp,i} + \sigma_{zg,i} + \sigma_{z,ad,i}, \quad (3)$$

где $\sigma_{z,ad,i}$ – дополнительное вертикальное давление (при замачивании сверху), вызванное влиянием веса неувлажненной части массива грунта за пределами площади замачивания выше рассматриваемой глубины z_i .

Дополнительное вертикальное давление, учитывающее вес неувлажненной части массива грунта за пределами площади замачивания, принято определять по формуле:

$$\sigma_{z,ad,i} = k_{g,i} \cdot \gamma \cdot (d + z_i), \quad (4)$$

где $k_{g,i}$ – коэффициент, зависящий от соотношений геометрических параметров замачиваемой площади L_w/B_w и относительной глубины слоя $(d+z_i)/B_w$;

L_w и B_w – соответственно больший и меньший размер замачиваемой площади.

Коэффициент $k_{g,i}$ для вертикали, проходящей через центр замачиваемой площади, протабулирован в нормах на проектирование оснований [17, 18].

По предложению автора поверхность набухания можно построить по значениям подъема поверхности, определенным в различных точках с учетом неоднородности геологического строения грунтового массива, обводненной зоны и полей напряжений, как от собственного веса грунта, так и от внешней нагрузки.

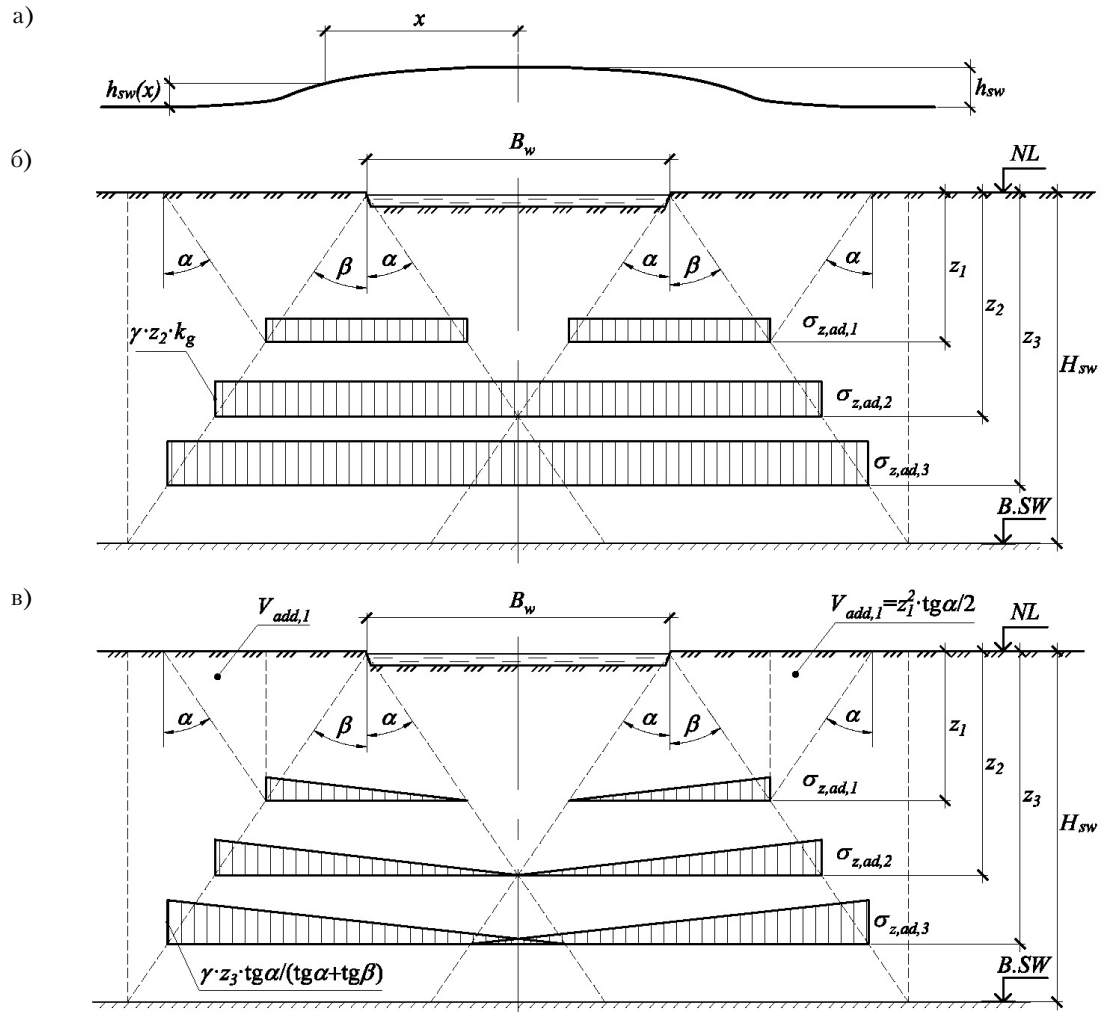


Рисунок 2. Схема к определению: а) подъема поверхности основания; б) дополнительного давления по [1]; в) то же по предложению автора; β – угол растекания воды; α – угол распределения напряжений.

– при $0,5 \cdot B_w > z_i \cdot \tan \alpha$ и $0,5 \cdot B_w - z_i \cdot \tan \alpha < |x| \leq 0,5 \cdot B_w + z_i \cdot \tan \beta$ рассматриваемая точка попадает в зону влияния только ближайшей неувлажненной части грунтового массива, соответственно:

$$k_{g,i}(x) = \frac{z_i \cdot \tan \alpha - 0,5 \cdot B_w + |x|}{2 \cdot z_i \cdot (\tan \beta + \tan \alpha)}, \quad (6)$$

– при $0,5 \cdot B_w \leq z_i \cdot \tan \alpha$ и $|x| \geq z_i \cdot \tan \alpha - 0,5 \cdot B_w$ рассматриваемая точка также попадает в зону влияния только ближайшей неувлажненной части грунтового массива, соответственно $k_{g,i}(x)$ определяется по формуле (6);

– при $0,5 \cdot B_w \leq z_i \cdot \tan \alpha$ и $|x| < z_i \cdot \tan \alpha - 0,5 \cdot B_w$ рассматриваемая точка попадает в зону влияния

неувлажненных частей грунтового массива по обе стороны от увлажненной зоны, соответственно:

$$k_{g,i}(x) = \frac{(z_i \cdot \tan \alpha - 0,5 \cdot B_w + x)}{2 \cdot z_i \cdot (\tan \beta + \tan \alpha)} + \frac{(z_i \cdot \tan \alpha - 0,5 \cdot B_w - x)}{2 \cdot z_i \cdot (\tan \beta + \tan \alpha)}, \quad (7)$$

В формулах (6–7) не учтено влияние неувлажненных частей грунтового массива, расположенных по углам обводненной зоны.

Коэффициент $k_{g,i}(y)$ определяется аналогично по формулам (6–7) с заменой в них соответственно x на y и B_w на L_w .

Для круглой площади замачивания аналогичным образом можно определить коэффициент $k_{g,i}(r)$, где r – расстояние от центра замачивания до рассматриваемой точки в радиальном направлении.

Полученные формулы (6–7) проверены на сходимость с зависимостями, протабулированными в нормативных документах [17, 18], для вертикали, проходящей через центр замачивания, при различных значениях углов α и β . Наилучшая сходимость по основным контрольным точкам была достигнута при значениях $\alpha = 45^\circ$ и $\beta = 35^\circ$ (рис. 3). Для указанных значений углов формулы (6–7) приобретут следующий вид:

$$k_{g,i}(x) = \frac{z_i - 0,5 \cdot B_w + |x|}{3,4 \cdot z_i}, \quad (8)$$

$$k_{g,i}(x) = \frac{(z_i - 0,5 \cdot B_w + x) + (z_i - 0,5 \cdot B_w - x)}{3,4 \cdot z_i}. \quad (9)$$

Анализ полученных зависимостей показал, что они более корректно учитывают влияние неувлажненных частей грунтового массива, расположенных в направлении длинной стороны площади замачивания, по сравнению с протабулированными зависимостями. Это также подтверждается наличием исправлений отдельных

табличных значений, приведенных в [1], в более поздних источниках [17, 18], что свидетельствует о попытках откорректировать влияние более удаленных неувлажненных участков грунтового массива.

При определении деформаций, вызванных набуханием грунта, методом послойного суммирования по вертикалям, проходящим на определенном расстоянии от центра замачивания, в каждом элементарном слое выполняется проверка – попадает ли данный элементарный слой в обводненную зону и соответственно возникают ли там деформации набухания. Это, при наличии достаточных исходных данных, позволяет учесть не только трапециевидную форму обводненной зоны, но и другие ее возможные формы.

Для проверки предложенной схемы распределения дополнительных вертикальных напряжений от собственного веса неувлажненной части грунтового массива и формирования бугра набухания выполнены численные исследования в ПК Plaxis 2d при различной относительной глубине набухающего слоя грунта. При этом глубина z принималась постоянной, а размер обводненной зоны изменялся. В качестве модели грунтового основания использовалась упруго-

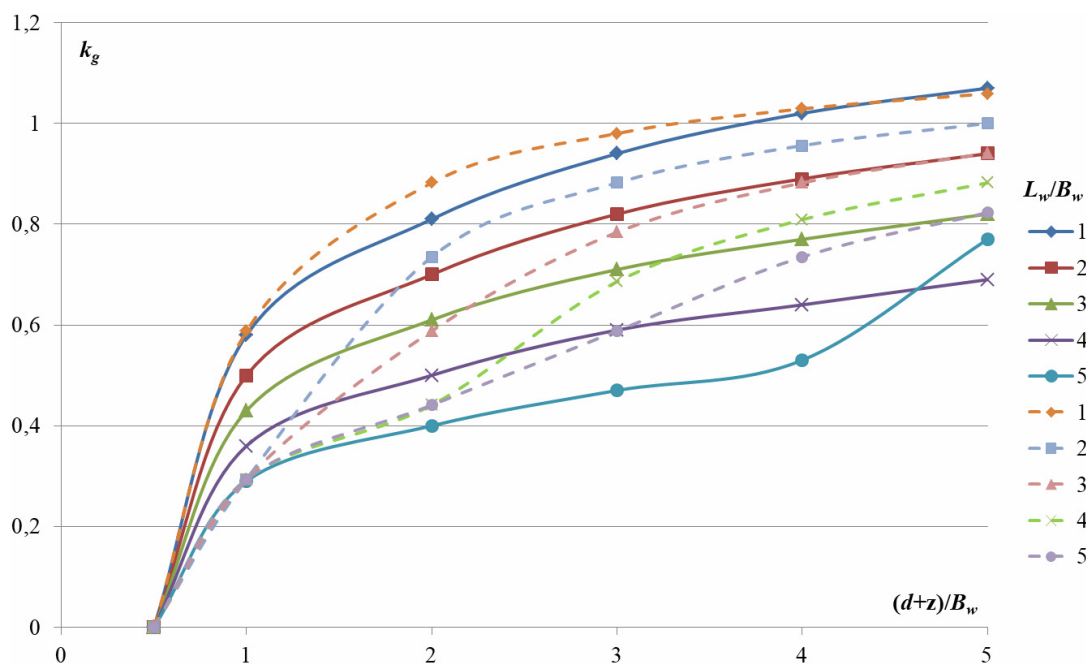


Рисунок 3. Зависимость коэффициента k_g по оси, расположенной в центре замачивания, от относительной глубины слоя $(d+z)/B_w$ при различных соотношениях L_w/B_w : сплошные линии по [1]; пунктир по предложению автора.

пластическая модель Кулона-Мора. Набухание моделировалось вынужденными перемещениями, прикладываемыми к верхней границе набухающего слоя в пределах обводненной зоны и равными величине набухания.

Часть полученных результатов приведена на рис. 4.

В соответствии с предложенным алгоритмом и действующими нормативными документами [17, 18] была определена величина подъема поверхности от набухания грунта для различных параметров зоны замачивания, мощности и характеристик набухающего грунта. Полученные зависимости подъема поверхности в центре площади замачивания от ее относительных размеров при постоянной мощности слоя набухающего грунта ($H_{sw} = 10$ м) приведены на рис. 5.

При расчете конструкций, взаимодействующих с неравномерно деформируемым основанием, воздействия от набухания грунта следует учитывать по схеме вынужденных перемещений основания [13]. Однако при давлении на основание,

превышающем давление набухания ($p > p_{sw}$) и отсутствии зоны набухания в нижних слоях вынужденные перемещения, вызванные набуханием грунта, могут отсутствовать. Тем не менее для развитых в плане фундаментов (ленточных, плитных) возможно перераспределение контактных давлений по подошве и, как следствие, изменение усилий в конструкциях фундаментов. В связи с этим, в данной ситуации, воздействие от набухания грунта на фундамент можно представить в виде эквивалентной нагрузки, действующей со стороны основания (рис. 6).

Величина дополнительной эквивалентной нагрузки, действующей на подошву фундамента в i -той точке со стороны основания, определяется по формуле:

$$p_{sw,i} = p_{sw,o} \cdot \frac{h_{sw,i}}{h_{sw,o}}, \quad (10)$$

где $h_{sw,o}$ – максимальный подъем основания при свободном набухании грунта, м;

$p_{sw,o}$ – эквивалентная нагрузка в центре зоны замачивания.

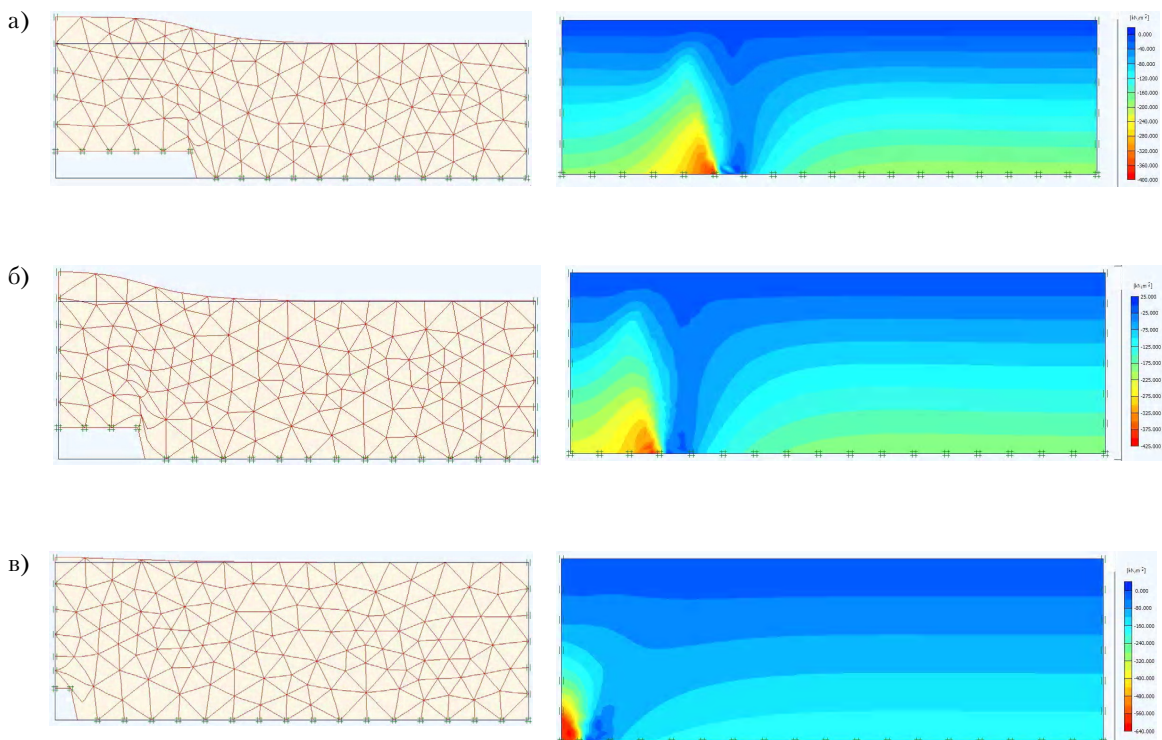


Рисунок 4. Деформации поверхности и изополя вертикальных напряжений: а) при $z/B_w = 0,5$; б) при $z/B_w = 1$; в) при $z/B_w = 5$.

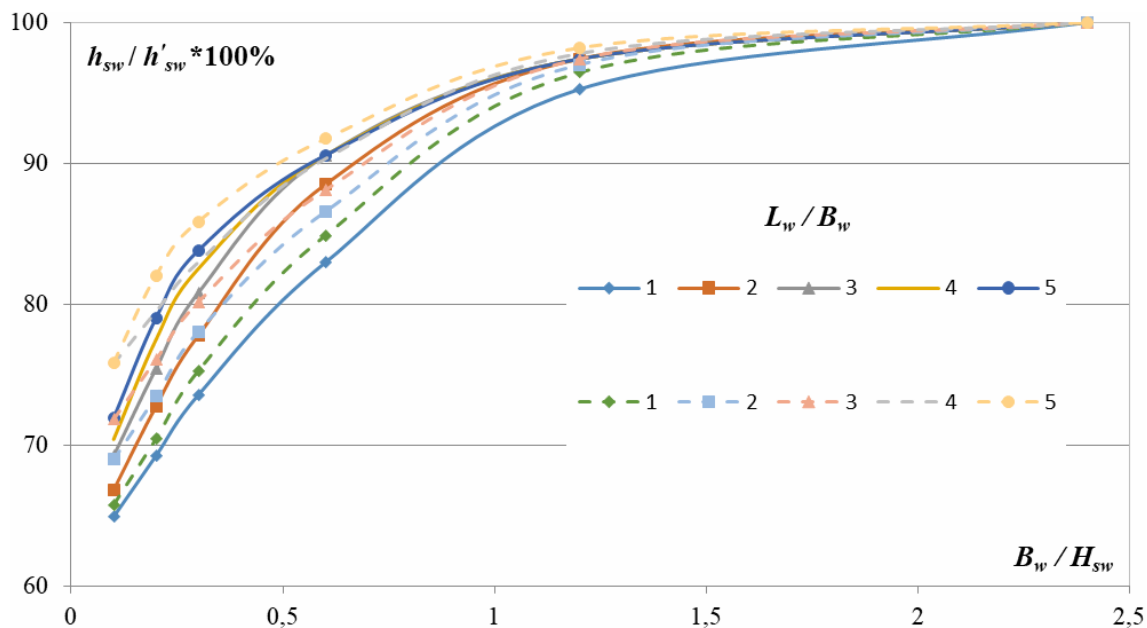


Рисунок 5. Зависимость величины подъема поверхности в центре площади замачивания от относительных размеров площади замачивания (сплошные линии по предложенному автором алгоритму, пунктирные линии – по действующим нормативным документам), h'_{sw} – подъем поверхности, соответствующий замачиванию на значительной площади, например при подъеме УПВ.

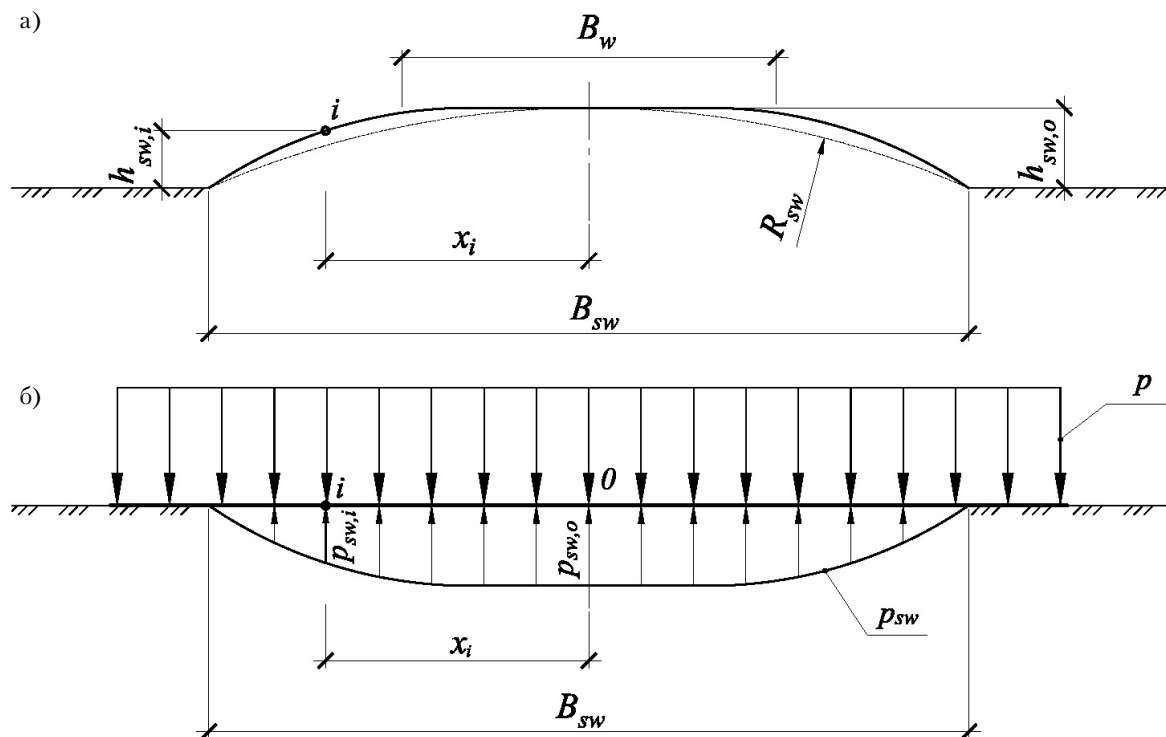


Рисунок 6. Воздействие на фундамент со стороны набухающего грунта: а) подъем грунта при набухании незагруженной поверхности; б) расчетная схема эквивалентной нагрузки при набухании грунта и $p > p_{sw,0}$.

При известной ширине бугра набухания и величине максимального подъема основания можно определить приблизительный радиус кривизны поверхности набухания (рис. 6а) по формуле:

$$R_{sw} = \frac{B_{sw}^2}{8 \cdot h_{sw,o}}. \quad (11)$$

В этом случае вынужденные перемещения от набухания грунта в пределах бугра набухания допускается принимать по формуле:

$$h_{sw,i} = h_{sw,o} - \frac{x_i^2}{2 \cdot R_{sw}}, \quad (12)$$

где x_i – расстояние от центра бугра набухания до i -той точки, м.

Выводы

1. Характер распределения вертикальных напряжений в грунтовом массиве (рис. 4) подтвердил выдвинутую автором гипотезу о распределении в горизонтальном сечении дополнительных вертикальных напряжений от неувлажненной части грунтового массива в виде близком к линейным треугольным эпю-

рам, с пиковыми значениями на границе обводненной зоны.

2. При увеличении относительной глубины набухающего слоя происходит наложение эпюр дополнительных вертикальных напряжений друг на друга, в результате чего они суммируются.
3. Форма бугра набухания, полученная в результате численных исследований, качественно соответствует описаниям в [1, 7, 3, 15].
4. Значения величины подъема поверхности в центре площади замачивания, определенные по предложенному автором алгоритму и по действующим нормативным документам, отличаются не более чем на 3%.
5. При расчете зданий на набухающих грунтах неравномерные деформации основания, вызванные набуханием, следует моделировать вынужденными перемещениями. Моделирование эквивалентной нагрузкой, действующей на подошву фундамента со стороны основания, можно применять в случаях, когда давление по подошве фундаментов превышает давление набухания и подъем основания соответственно отсутствует.

Литература

1. Сорочан, Е. А. Строительство сооружений на набухающих грунтах [Текст] / Е. А. Сорочан. – М. : Стройиздат, 1989. – 312 с.
2. Герсегонов, Н. М. Собрание сочинений [Текст] / Н. М. Герсегонов ; в 2 томах, том 1. Свайные основания и расчет фундаментов сооружений. – М. : Стройвоенмориздат, 1948. – 267 с.
3. Мустафаев, А. А. Фундаменты на просадочных и набухающих грунтах [Текст] / А. А. Мустафаев. – М. : Высшая школа, 1989. – 590 с.
4. Самедов, А. М. Математическое моделирование совместной работы фундаментов и оснований из набухающих грунтов [Текст] / А. М. Самедов, Л. В. Гембарский // V Iubileuszowa Szkola Geomechaniki : материалы международной научно-технической конференции (Gliwice-Ustran, 16–19 Pazdziernika). Gliwice-Ustran, 2001. С. 115–124.
5. Lucian, Charles. Geotechnical aspects of buildings on expansive soils in Kibaha, Tanzania [Text] / Charles Lucian. – Stockholm, Sweden : [S. n.], 2008. – 196 p.
6. Coduto, Donald P. Foundation Design: Principles and Practices [Text] / Donald P. Coduto ; 2nd ed. New Jersey : Prentice Hall, 2001. – 883 p.

References

1. Sorochan, Ye. A. Construction of structures on swollen soils [Text]. Moscow : Stroizdat. 1989. 312 p. (in Russian)
2. Gersevanov, N. M. Collected works in 2 volumes, volume 1. Pile foundations and calculation of building foundations [Text]. Moscow : Stroiformat. 1948. 67 p. (in Russian)
3. Mustafayev, A. A. Foundations on subsidence and swelling soils [Text]. Moscow : Higher school. 1989. 590 p. (in Russian)
4. Samedov, A. M.; Gembarsky, L. V. Mathematical modeling of joint work of foundations and bases from swollen soils [Text]. In: V Iubileuszowa Szkola Geomechaniki : mat. of the intern. scientific and technical conference. 2001. P. 115–124. (in Russian)
5. Lucian, Charles. Geotechnical aspects of buildings on expansive soils in Kibaha, Tanzania [Text]. Stockholm, Sweden : [S. n.], 2008. 196 p.
6. Coduto, Donald P. Foundation Design: Principles and Practices [Text]. 2nd ed. New Jersey : Prentice Hall. 2001. 883 p.
7. Lytton, R. L. Analysis for Design of Foundations on Expansive Clay [Text]. In: Geomechanics Journal, Institution of Engineers. 1970. P. 318–321.

7. Lytton, R. L. Analysis for Design of Foundations on Expansive Clay [Text] / R. L. Lytton // *Geomechanics Journal*, Institution of Engineers. 1970. P. 318–321.
8. Chen, F. H. Foundations on expansive soil [Text] / F. H. Chen. New York : Elsevier Science Publishing Company Inc., 1988. – 463 p.
9. Алафар Халиль Саид. Обоснование методов защиты зданий и сооружений при освоении подземного пространства в Сирийской арабской республике в условиях набухающего грунтового-породного массива [Текст] : дис... канд. техн. наук : 25.00.20 / Алафар Халиль Саид. – М., 2017. – 150 с.
10. Механика грунтов. Основания и фундаменты [Текст] / В. Б. Шве́ц, И. П. Бойко, Ю. Л. Винников, Н. Л. Зо́ценко и др. ; 2-е изд. – Днепропетровск : «Пороги», 2014. – 231 с.
11. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения [Текст] / Под общей ред. В. А. Ильичева и Р. А. Мангушева ; издание второе, дополненное и переработанное. – М. : Издательство АСВ, 2016. – 1040 с.
12. Тер-Мартirosян, З. Г. Механика грунтов [Текст] / З. Г. Тер-Мартirosян. – М. : Издательство АСВ, 2005. – 488 с.
13. Клепиков, С. Н. Расчет сооружений на деформируемом основании [Текст] / С. Н. Клепиков. – К. : НИИСК, 1996. – 204 с.
14. Кузнецов, Д. Г. Вероятностно-статистический расчет системы «сооружение-основание» на набухающих грунтах [Текст] : автореф. дис... канд. техн. наук. / Д. Г. Кузнецов. – Волгоград, 2004. – 21 с.
15. Сницарь, М. А. Обоснование геомеханической устойчивости массива набухающих грунтов в гидротермальных условиях [Текст] : дис... канд. техн. наук : 05.15.09 / М. А. Сницарь. – К., 2017. – 151 с.
16. An analytical model of soil-structure interaction with swelling soils during droughts [Text] / Emad Jahangir, Olivier Deck, Farimah Masrouri // *Computers and Geotechnics*. 2013. Vol. 54. P. 16–32.
17. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений [Текст] : актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* ; введ. 2017-07-01. – М. : Минрегион, Россия, 2016. – 220 с.
18. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти будинків і споруд [Текст]. – Надано чинності 2009-07-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с.
8. Chen, F. H. Foundations on expansive soil [Text]. New York : Elsevier Science Publishing Company Inc. 1988. 463 p.
9. Alafar Khalil Said. Justification of methods of protection of buildings and structures in the development of underground space in the Syrian Arab Republic in the conditions of swollen soil and rock mass [Text] : Ph. D. in Engineering Thesis: 25.00.20. Moscow. 2017. 150 p. (in Russian)
10. Shvets, V. B.; Boyko, I. P.; Vinnikov, Yu. L.; Zotsenko, N. L. and others. Soil mechanics. Foundation engineering [Text] ; the 2nd ed. Dnepropetrovsk : «Thresholds». 2014. 231 p. (in Russian)
11. Ilichev, V. A.; Mangushev, R. A. Handbook of geotechnical engineering. Foundations, foundations and underground structures [Text] ; the second edition, supplemented and revised. Moscow : ASV Publishing House. 2016. 1040 p. (in Russian)
12. Ter-Martirosyan, Z. G. Soil mechanics [Text]. Moscow: ASV Publishing House. 2005. 488 p. (in Russian)
13. Klepikov, S. N. Calculation of structures on a deformable base [Text]. Kiev : SRISK. 1996. 204 p. (in Russian)
14. Kuznetsov, D. G. Probabilistic and statistical calculation of the «structure-base» system on swollen soils [Text] : abstract Thesis of Ph. D. in Engineering. Volgograd. 2004. 21 p. (in Russian)
15. Snitsar, M. A. Justification of the geomechanical stability of the swollen soil array in hydrothermal conditions [Text] : Ph. D. (Eng.) Thesis: 05.15.09. Kiev. 2017. 151 p. (in Russian)
16. Jahangir, Emad; Deck, Olivier; Masrouri, Farimah. An analytical model of soil-structure interaction with swelling soils during droughts [Text]. In: *Computers and Geotechnics*. 2013. Vol. 54. P. 16–32.
17. SP 22.13330.2016. Foundations of buildings and structures [Text]. Moscow : Ministry of regional development, Russia. 2016. 220 p. (in Russian)
18. DBN V.2.1-10-2009. Foundations engineering of buildings and structures [Text]. Kyiv : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2009. 104 p. (in Ukrainian)

Яркий Виктор Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры оснований, фундаментов и подземных сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Член-корреспондент академии строительства Украины. Научные интересы: взаимодействие зданий и сооружений с неравномерно деформируемым основанием. Строительство и проектирование зданий и сооружений в сложных инженерно и горно-геологических условиях.

Яркін Віктор Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри основ, фундаментів та підземних споруд Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член-кореспондент академії будівництва України. Наукові інтереси: взаємодія будівель і споруд з основою, що нерівномірно деформується. Будівництво та проектування будівель і споруд в складних інженерно та гірничо-геологічних умовах.

Yarkin Viktor – Ph. D. (Eng.), Associate Professor; Basements, Foundations and Underground Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. An associate member of the Civil Engineering Academy in Ukraine. Scientific interests: interaction of buildings and structures with unevenly deformable soil bases, construction and design of buildings and structures in difficult geotechnical conditions.