



(19)-0402-1

НЕРАВНОМЕРНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ОСНОВАНИЯ ЗДАНИЙ СО СТАЛЬНЫМ КАРКАСОМ В ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ I ТИПА ПО ПРОСАДОЧНОСТИ

В. В. Яркин¹, А. В. Кухарь², А. Д. Анисимова³, В. В. Яркина⁴

*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.*

E-mail: ¹yarkinvv@mail.ru, ²kuhar.anna.v@yandex.ru, ³nanisimova97@mail.ru, ⁴yarkinavv@mail.ru

Получена 14 ноября 2019; принята 22 ноября 2019.

Аннотация. В статье рассмотрено влияние способа, площади и интенсивности замачивания просадочного грунта на величину просадочных деформаций и их неравномерность. Выполнен анализ наиболее неблагоприятных для зданий схем реализации неравномерных деформаций основания, вызванных просадкой грунта как от внешней нагрузки, так и от собственного веса, и определены условия их возникновения. Исследовано влияние способов учета просадок от собственного веса грунта при расчете зданий в грунтовых условиях I типа по просадочности на их напряженно-деформированное состояние. Определены условия, при которых в расчетных схемах зданий и сооружений в грунтовых условиях I типа по просадочности нецелесообразен учет возможных просадок от собственного веса грунта.

Ключевые слова: просадочный грунт, замачивание, неравномерные деформации основания, просадка от собственного веса грунта, просадка от внешней нагрузки.

НЕРІВНОМІРНІ ДЕФОРМАЦІЇ ОСНОВИ БУДІВЕЛЬ ІЗ СТАЛЕВИМ КАРКАСОМ У ҐРУНТОВИХ УМОВАХ I ТИПУ ПО ПРОСІДАННЮ

В. В. Яркін¹, А. В. Кухар², А. Д. Анісімова³, В. В. Яркіна⁴

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

E-mail: ¹yarkinvv@mail.ru, ²kuhar.anna.v@yandex.ru, ³nanisimova97@mail.ru, ⁴yarkinavv@mail.ru

Отримана 14 листопада 2019; прийнята 22 листопада 2019.

Анотація. У статті розглянуто вплив способу, площі і інтенсивності замочування просадного ґрунту на величину просідання та його нерівномірність. Виконано аналіз найбільш несприятливих для будівель схем реалізації нерівномірних деформацій основи, спричинених просіданням ґрунту як від зовнішнього навантаження, так і від власної ваги, і визначені умови їх виникнення. Досліджено вплив способів урахування просідання від власної ваги ґрунту при розрахунку будівель у ґрунтових умовах I типу по просіданню на їх напружено-деформований стан. Визначено умови, за яких в розрахункових схемах будівель і споруд в ґрунтових умовах I типу по просіданню недоцільно враховувати можливі просідання від власної ваги ґрунту.

Ключові слова: просадний ґрунт, замочування, нерівномірні деформації основи, просідання від власної ваги ґрунту, просідання від зовнішнього навантаження

UNEVEN DEFORMATIONS OF THE BASE OF BUILDINGS WITH A STEEL FRAME IN GROUND OF THE FIST TYPE CONDITIONS BY SUBSIDENCE

Viktor Yarkin¹, Hanna Kukhar², Anastasia Anisimova³, Vladislava Yarkina⁴

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

E-mail: ¹yarkinvv@mail.ru, ²kuhar.anna.v@yandex.ru, ³nanisimova97@mail.ru, ⁴yarkinavv@mail.ru

Received 14 November 2019; accepted 22 November 2019.

Abstract. The article considers the influence of the way, area and intensity of soaking of collapsible soil on the amount of subsidence and their unevenness. The analysis of the most unfavorable for buildings schemes for the implementation of uneven base deformations caused by subsidence of the soil, both from the external load and from its own weight, was carried out and the conditions for their occurrence were determined. The influence of methods for subsidence accounting from the ground's own weight when calculating buildings in ground conditions of the fist type by subsidence on their stress-strain state is studied. The conditions are determined under which in the design schemes of buildings and structures in ground conditions of the fist type by subsidence it is impractical to take into account possible subsidence caused by the own weight of the soil.

Keywords: collapsible soils, slumping soils, subsidence soils, loess soils, inundation, uneven deformations of the base, subsidence from dead weight, subsidence from external load.

Введение

В действующих нормативных документах РФ [1, 2] и Украины [3, 4], регламентирующих проектирование зданий на просадочных грунтах, определение просадок производится одинаковым методом послойного суммирования с использованием модели линейно-деформируемого упругого полупространства. Однако имеющиеся в них небольшие различия в определении просадок от внешней нагрузки и от собственного веса грунта могут в некоторых случаях привести к существенно отличающимся результатам [5]. Кроме этого, имеются различия в разделении грунтовых условий по просадочности в зависимости от возможности проявления просадки от собственного веса грунта и ее величины, а также принципиально разными способами предусматривается учет просадок от собственного веса грунта при расчете зданий в грунтовых условиях I типа по просадочности (с просадкой от собственного веса грунта не более 5 см).

В данной работе исследовано влияние способов учета просадок от собственного веса грунта при расчете зданий на просадочных грунтах I типа на их напряженно-деформированное состо-

яние, а также определены условия, в которых их учет нецелесообразен.

Анализ последних исследований и публикаций

Начало систематического изучения явления просадки и строительных свойств лессовых грунтов относится к тридцатым годам XX в. Первые нормативные документы в этой области были разработаны при участии Н. М. Герсевича, Ю. М. Абелева, Д. Е. Польшина. Становление и развитие самостоятельной науки о строительстве на просадочных грунтах принадлежит Ю. М. Абелеву [6]. Дальнейшее развитие этой отрасли строительной науки нашло отражение в трудах М. Ю. Абелева [6], Ю. А. Багдасарова [7], Я. Д. Гильмана [8], М. Н. Гольдштейна, А. А. Григорян [9], С. Н. Клепикова [10], В. И. Крутова [11], А. П. Левченко [12], В. А. Межеревского [13], В. Р. Мустакимова, А. А. Мустафаева [14], А. Ю. Прокопова [15], З. Г. Тер-Мартirosяна, I. F. Jefferson [16], S. L. Houston, [17], S. T. Noor [18], G. Zhu [19], Y Kong. [20] и др. [21, 22, 23, 24, 25].

Многолетние исследования, проведенные в НИИ оснований им. Н. М. Герсевича под

руководством В. И. Крутова, легли в основу СНиП 2.02.01-83, который в дальнейшем был актуализирован на территории РФ и основные принципы проектирования на просадочных грунтах практически без изменений перенесли в действующие нормы РФ [2, 1]. В нормативных документах Украины [3, 4] появились более существенные изменения, в основу которых легли исследования С. Н. Клепикова, А. С. Трегуба, И. В. Матвеева [10], И. О. Розенфельда и др.

Основная часть

На величину просадочных деформаций и их неравномерность в значительной степени влияет то, каким образом происходит повышение влажности просадочных грунтов, которое возможно за счет:

- а) замачивания грунтового массива сверху из внешних источников:
 - местного замачивания грунтов основания сверху, приводящего к просадкам на ограниченной площади в пределах, как правило, верхней части просадочной толщи и от внешних нагрузок на основание;
 - интенсивного замачивания на большой площади в течение длительного времени, приводящего к промачиванию грунтов на всю просадочную толщу и полному проявлению просадок как от внешних нагрузок, так и от собственного веса грунта;
- б) замачивания грунтового массива снизу при подъеме уровня грунтовых вод, приводящего к просадкам, как правило, в нижней части просадочной толщи в основном от собственного веса грунта;
- в) постепенного накопления влаги в грунтовом массиве вследствие инфильтрации поверхностных вод и нарушения природных условий ее испарения из-за экранирования поверхности при застройке и асфальтировании территории.

Наиболее опасными для зданий и сооружений являются случаи интенсивного или местного замачивания сверху, так как в этих случаях проявляется максимальная неравномерность деформаций основания. Поэтому эти случаи должны учитываться в первую очередь при определении возможных величин просадок и расчетах конструкций зданий на неравномерные деформации основания. При полном отсутствии возможности за-

мачивания просадочных грунтов сверху должны учитываться возможные случаи подъема уровня грунтовых вод или местного повышения влажности.

При замачивании сверху вода распространяется в толще просадочного грунта как сверху вниз, так и в стороны от источника увлажнения, образуя локальную увлажненную зону переменной толщины. В результате на поверхности могут возникнуть неравномерные деформации, формирующие просадочную воронку. На характер формирования и размеры увлажненной зоны влияют: форма и размеры источника замачивания; интенсивность замачивания; фильтрационные свойства грунта; неоднородность сложения грунтовой толщи; напор; рельеф местности и наклон отдельных слоев грунта; уровень подземных вод; химический состав воды и т. д. [10, 11]. Учесть все влияющие факторы в каждом частном случае довольно сложно, поэтому для определения размеров зоны замачивания используют упрощенную методику, учитывающую форму и размеры источника замачивания, а также неоднородность и фильтрационные свойства грунтов просадочной толщи.

При местном замачивании из точечных, линейных и небольших площадных источников с шириной B_w менее толщины просадочной толщи H_{sl} считается, что промачивание просадочной толщи происходит не на всю глубину, в результате чего формируется увлажненная зона, имеющая форму поперечного сечения близкую к усеченному эллипсу (рис. 1а).

Просадка от собственного веса грунта в таких условиях проявляется только частично. Величина возможной просадки от собственного веса грунта $s'_{sl,g}$, вычисляется по формуле:

$$s'_{sl,g} = s_{sl,g} \cdot \sqrt{\left(2 - \frac{B_w}{H_{sl}}\right) \cdot \frac{B_w}{H_{sl}}}, \quad (1)$$

где $s_{sl,g}$ – просадка от собственного веса при полном промачивании просадочной толщи.

При $B_w > H_{sl}$ в формулу (1) подставляется значение $B_w = H_{sl}$ и соответственно $s'_{sl,g} = s_{sl,g}$.

При интенсивном замачивании из площадных источников с шириной не менее толщины просадочной толщи считается, что просадочная толща промачивается на всю глубину, в результате чего формируется увлажненная зона, имеющая форму поперечного сечения близкую к

трапеции (рис. 1б) и просадка от собственного веса грунта проявляется полностью (рис. 1б, в). При этом следует отметить, что даже в указанных условиях при значительной просадочной толще полного промачивания может не произойти, так как уплотнение просадочного грунта под действием собственного веса приводит к снижению его водопроницаемости и препятствует дальнейшему распространению воды вглубь. Например, в работе [20] приводятся результаты экспериментальных исследований по интенсивному замачиванию на протяжении 282 дней большой просадочной толщи ($H_{sl} = 36,5$ м) из круглого котлована диаметром 40 м. При этом глубина промачивания составила всего 25 м.

Изменение водопроницаемости просадочной толщи и подстилающего слоя влияет на распро-

странение воды и распределение влажности в пределах увлажненной зоны.

В слоистых по водопроницаемости толщах просадочных грунтов угол растекания меняется. По мере приближения воды к слою с меньшей фильтрационной способностью угол растекания β увеличивается, а у кровли слоя с большей фильтрационной способностью, наоборот, уменьшается (рис. 1б). Изменение угла растекания воды для многослойных оснований с разной фильтрационной способностью учитывается коэффициентом m_β , изменяющимся в диапазоне от 0,7 до 2 в зависимости от строения просадочной толщи.

При ширине замачиваемой площади $B_w > H_{sl}$ просадочная воронка имеет плоское дно шириной b_w с максимальными просадками от собственного

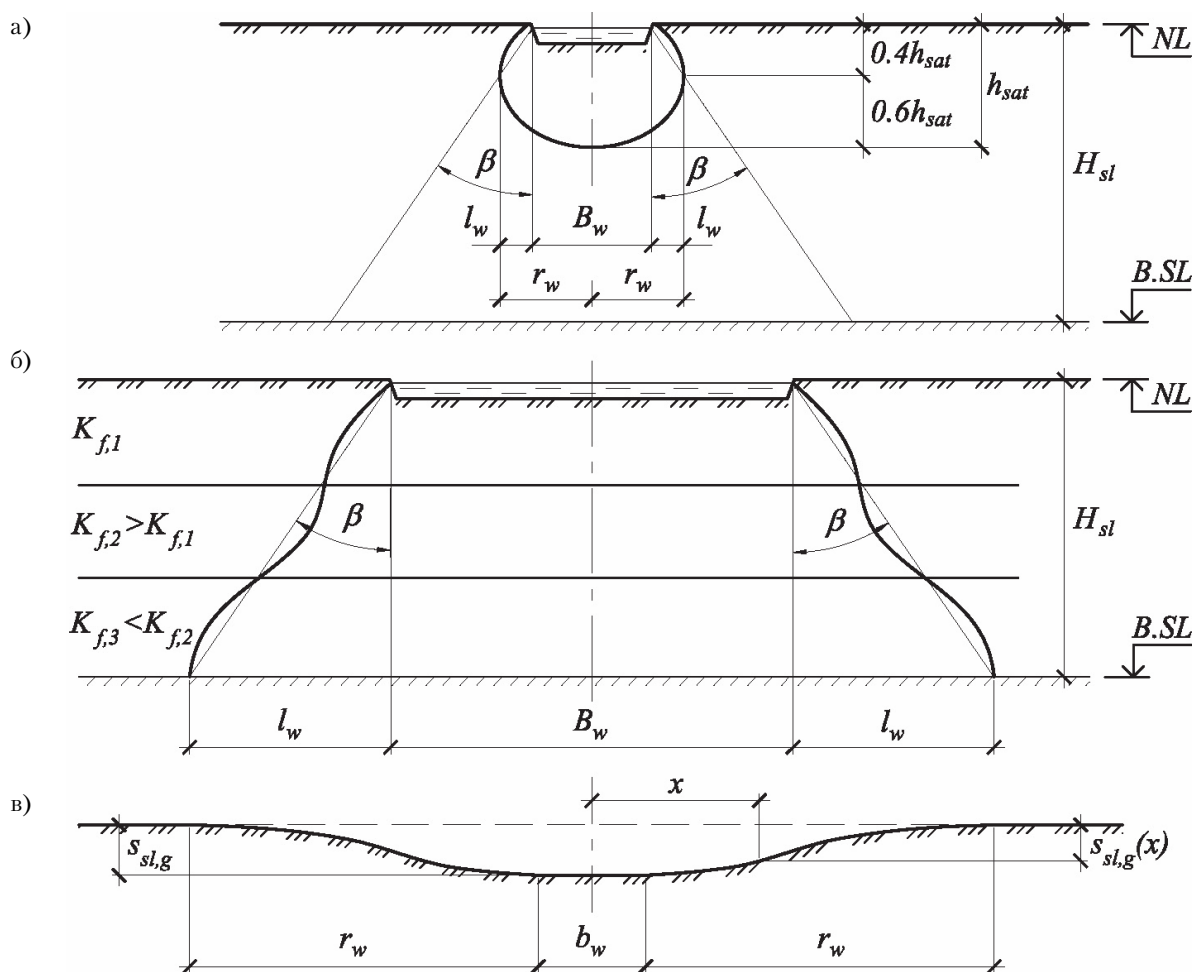


Рисунок 1. Схемы увлажненной зоны при замачивании грунтов сверху: а) при $B_w < H_{sl}$; б) при $B_w > H_{sl}$; в) просадочная воронка от собственного веса грунта.

веса и криволинейные граничные участки шириной r_w (рис. 1, в). Граничные участки просадочной воронки шириной r_w характеризуют зоны неравномерных деформаций земной поверхности: просадок, которые изменяются от максимального значения до нуля.

Ширина плоского дна просадочной воронки с равномерными вертикальными перемещениями и размер криволинейного граничного участка определяются:

$$b_w = B_w + 2 \cdot H_{sl} \cdot m_\beta \cdot \operatorname{tg} \beta - 2 \cdot H_{sl} \times \\ \times (0,5 + m_\beta \cdot \operatorname{tg} \beta) = B_w - H_{sl} \quad ; \quad (2)$$

$$r_w = H_{sl} \cdot (0,5 + m_\beta \cdot \operatorname{tg} \beta). \quad (3)$$

Соответственно при небольшой ширине замачиваемой площади $B_w \leq H_{sl}$ горизонтальный участок просадки грунта отсутствует и просадочная воронка будет состоять только из криволинейных участков (рис. 2).

Следует отметить, что максимальная неравномерность просадок грунта при прочих равных условиях наблюдается при минимальной величине распространения зоны увлажнения в стороны от замачиваемой площади и соответственно минимальной длине криволинейных участков. Увеличение площади замачивания и угла растекания воды приводит к увеличению размеров обводненной зоны в плане, в результате чего неравномерность деформаций основания снижается.

При расчете зданий неравномерность деформаций основания, вызванная просадкой от собственного веса грунта, в соответствии с украин-

скими нормами [3, 4] учитывается как вынужденные перемещения основания независимо от ее величины. В соответствии с нормами РФ [1, 2] ее учет производится:

- в грунтовых условиях I типа по просадочности – изменением жесткости основания при наиболее неблагоприятном местном замачивании;
- в грунтовых условиях II типа по просадочности – вынужденными перемещениями основания.

Характер влияния неравномерных деформаций основания при замачивании просадочных грунтов на здание зависит от конструктивного решения здания, типа грунтовых условий, вида и местоположения источника замачивания, нагрузки, водопроницаемости грунтовой толщи и других факторов. Учитывая то, что возможное местоположение источника замачивания зачастую проявляется стохастическим образом, при расчете сооружений на воздействие просадки, помимо схем замачивания, обусловленных расположением водонесущих коммуникаций, рассматриваются еще как минимум две расчетные схемы, имеющие наиболее неблагоприятный характер для сооружения [26]:

- симметричная – источник замачивания и соответственно максимальная просадка по центру здания;
- асимметричная – источник замачивания и соответственно максимальная просадка под углом (торцом) здания.

При этом источник замачивания может быть: точечным, линейным или площадным.

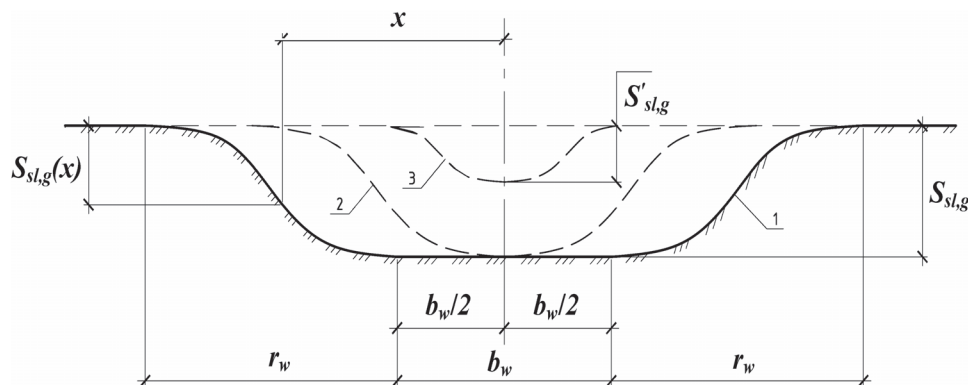


Рисунок 2. Общий характер развития просадочных деформаций на поверхности от собственного веса грунта: 1, 2 и 3 – просадки поверхности грунта: 1 – при $B_w > H_{sl}$; 2 – при $B_w = H_{sl}$; 3 – при $B_w < H_{sl}$.

Авторами рекомендуется рассматривать также схему, в которой местоположение источника замачивания совпадает с местом максимальной осадки основания от основного сочетания нагрузок и воздействий. В этом случае неравномерность деформаций основания от основного сочетания будет усугублена просадочными деформациями. В ряде случаев, для зданий простой формы в плане с регулярным (симметричным) расположением несущих конструкций, относительно равномерно загруженных, такая схема будет совпадать с вышеперечисленными схемами.

В грунтовых условиях I типа реализация полной просадки от собственного веса грунта возможна только при ширине зоны замачивания не менее H_{sl} . При этом, вследствие распространения ее на значительные расстояния от источника замачивания, неравномерность просадок от собственного веса оказывается незначительной по сравнению с просадками от внешней нагрузки при небольших локальных замачиваниях. Кроме этого, в этой ситуации неравномерность вертикальных деформаций основания, вызванная просадками от внешней нагрузки, будет существенно ниже, чем при замачивании из точечных или линейных источников небольшой ширины (рис. 3).

С точки зрения авторского коллектива наибольшая неравномерность вертикальных деформаций основания в грунтовых условиях I типа может возникнуть:

- при $H_{sl} \leq 2 \cdot h_{sl,p}$, от реализации просадок как от внешней нагрузки, так и от собственного веса грунта. В этом случае обводненная зона принимается в виде эллипса с максимальным радиусом на уровне нижней границы верхней зоны просадки $h_{sl,p}$. Даже в этом случае, несмотря на полное промачивание просадочной толщи по вертикали, проходящей через центр источника замачивания, просадка от собственного веса грунта реализуется лишь частично, то есть становится существенно меньше 5 см, поэтому способ учета не оказывает существенного влияния на усилия в конструкциях здания;
- при шаге колонн (пролете) каркасных зданий, превышающем длину криволинейного участка просадочной воронки r_w . В этом случае не-

равномерные вертикальные деформации основания от просадки определяются отношением полного значения просадки к расстоянию между осями колонн. Большой шаг колонн, как правило, характерен для зданий со стальным каркасом. При этом, несмотря на то, что эти здания менее чувствительны к неравномерным деформациям основания, дополнительная просадка от собственного веса грунта в сочетании с просадкой от внешней нагрузки под какой-то одной колонной вполне может привести к нарушению эксплуатационной пригодности здания;

- при $H_{sl} > 2 \cdot h_{sl,p}$ просадка от собственного веса грунта реализуется только при площади замачивания с размерами, сопоставимыми с H_{sl} (рис. 3). При этом, как указывалось выше, неравномерность вертикальных деформаций от просадок, вызванных внешней нагрузкой, существенно уменьшится, поэтому необходим отдельный учет просадок от внешней нагрузки и от собственного веса грунта. При этом более неблагоприятную схему неравномерных просадочных деформаций можно определить, пользуясь условным радиусом кривизны:

- для просадок от внешней нагрузки

$$R_{sl,p} = \frac{r^2}{2 \cdot s_{sl,p}} = \frac{(h_{sl,p} \cdot m_\beta \cdot tg \beta)^2}{2 \cdot s_{sl,p}}; \quad (4)$$

- для просадок от собственного веса грунта

$$R_{sl,g} = \frac{r_w^2}{2 \cdot s_{sl,g}} = \frac{(0,5 \cdot H_{sl} + m_\beta \cdot tg \beta \cdot H_{sl})^2}{2 \cdot s_{sl,g}}. \quad (5)$$

При $H_{sl} > 2 \cdot h_{sl,p}$ и минимальных размерах обводненной зоны в плане ($m_\beta = 0,7$ и $\beta = 35^\circ$) из формул (4 и 5) видно, что неравномерность деформаций, вызванная просадками от собственного веса грунта, будет более неблагоприятной только при соотношении $s_{sl,p} < s_{sl,g} / 16$:

$$R_{sl,p} > R_{sl,g} \rightarrow \frac{(h_{sl,p} \cdot 0,49)^2}{2 \cdot s_{sl,p}} > \frac{(h_{sl,p} \cdot 1,98)^2}{2 \cdot s_{sl,g}} \rightarrow s_{sl,p} < \frac{s_{sl,g}}{16}. \quad (6)$$

наибольшего прогиба здания от нагрузок основного сочетания.

2. При увеличении размеров площади замачивания средняя вертикальная деформация основания увеличивается, но относительная неравномерность деформаций основания уменьшается. Так как максимальные дополнительные усилия в конструкциях здания возникают при наибольшей неравномерности вертикальных деформаций основания, то более неблагоприятными для здания будут минимальные размеры площади замачивания.

3. В грунтовых условиях I типа учет неравномерных деформаций основания, вызванных просадками от собственного веса грунта, целесообразен только в следующих ситуациях:
 - при $H_{\text{зд}} \leq 2 \cdot h_{\text{зд}}$. При этом способ учета собственного влияния на результаты не оказывает;
 - при шаге колонн (пролете) каркасных зданий, превышающем длину криволинейного участка просадочной воронки r_w ;
 - при просадках от внешней нагрузки близких к нулю.

В остальных случаях просадку от собственного веса грунта можно не учитывать.

Литература

1. СП 21.13330.2012. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах [Текст] : актуализированная редакция СНиП 2.01.09-91 ; введ. 2013-01-01. – М. : Минрегион, Россия, 2011. – 73 с.
2. 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.
3. ДБН В.1.1-5-2000. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах [Текст]. – Взамен СНиП 2.01.09-91 ; введ. 2000-07-01. – К. : Госстрой Украины, 2000. – 66 с.
4. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти будинків і споруд [Текст]. – Надано чинності 2009-07-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с.
5. Яркин, В. В. Определение просадочных деформаций по нормативным документам России и Украины [Текст] / В. В. Яркин, А. В. Кухарь // Современное гражданское и промышленное строительство. 2017 Т. 13, № 2. С. 111–119.
6. Абелев, Ю. М. Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах [Текст] / Ю. М. Абелев, М. Ю. Абелев. – М. : Стройиздат, 1968. – 432 с.
7. Ways of raising economic efficiency of building foundations on soils of Type I collapsibility [Текст] / Y. A. Bagdasarov, R. K. Valeev, V. I. Krutov [et. al.] // Soil Mech Found Eng. 1979. Vol. 5, No. 16. P. 238–243.
8. Гильман, Я. Д. Основания и фундаменты на лесовых просадочных грунтах [Текст] / Я. Д. Гильман. – Ростов на Дону : СевкавНИПИагропром, 1991. – 218 с.
9. Grigoryan, A. A. Construction on loess soils [Электронный ресурс] / A. A. Grigoryan // Soil Mech. Found. Eng. 1991. № 28(1). P. 44–49. – Режим доступа : doi.org/10.1007/BF02304644.
10. Клепиков, С. Н. Расчет зданий и сооружений на просадочных грунтах [Текст] / С. Н. Клепиков,

Reference

1. SP 21.13330.2012 Buildings and structures on undermined territories and collapsible soils [Text] : updated version of SNiP 2.01.09-91. M. : Ministry of regional development, Russia. 2011. 73 p. (in Russian)
2. SP 22.13330.2016 Foundations of buildings and structures [Text]: updated version of SNiP 2.02.01-83*. M. : Ministry of regional development, Russia. 2016. 220 p. (in Russian)
3. DBN V.1.1-5-2000 Buildings and structures in the developed areas and subsidence soils [Text]. K. : Gosstroy Of Ukraine. 2000. 66 p. (in Russian)
4. DBN V.2.1-10-2009 Foundations and foundations of buildings and structures [Text]. K. : Ministry of Regional Development of Ukraine. 2009. 104 p. (in Russian)
5. Yarkin, V. V.; Kukhar, A. V. Determination of subsidence deformations according to regulatory documents of Russia and Ukraine [Text]. In: *Modern Industrial and Civil Construction*. 2017. Volume 13, № 2. P. 111–119. (in Russian)
6. Abelev, Yu. M.; Abelev, M. Yu. Fundamentals of design and construction on subsidence macroporous soils [Text]. M. : Stroizdat. 1968. 432 p. (in Russian)
7. Bagdasarov, Y. A.; Valeev, R. K.; Krutov, V. I. [et. al.]. Ways of raising economic efficiency of building foundations on soils of Type I collapsibility [Text]. In: *Soil Mech Found Eng*. 1979. Vol. 5, No. 16. P. 238–243. (in Russian)
8. Gilman, Ya. D. Foundations and foundations on loess subsidence soils [Text]. Rostov on Don : SevkaSRDIagroprom. 1991. 218 p. (in Russian)
9. Grigoryan, A. A. Construction on loess soils [Electronic resource]. In: *Soil Mech. Found. Eng*. 1991. № 28(1). P. 44–49. Access mode: doi.org/10.1007/BF02304644.
10. Klepikov, S. N.; Tregub, A. S.; Matveyev I. V. Calculation of buildings and structures on subsidence soils [Text]. K. : Budivelnik. 1987. 200 p. (in Russian)

- А. С. Трегуб, И. В. Матвеев. – К. : Будівельник, 1987. – 200 с.
11. Крутов, В. И. Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадочных грунтах [Текст] / В. И. Крутов, А. С. Ковалев, В. А. Ковалев. – М. : АСВ, 2016. – 544 с.
 12. Левченко, А. П. Инженерные коммуникации на лесовых просадочных грунтах [Текст] / А. П. Левченко. – М. : ГАСИС, 2001. – 129 с.
 13. Межеревский, В. А. Расчетные модели системы «Здание-лессовое просадочное основание значительной мощности» [Текст] / В. А. Межеревский // Основание, фундаменты и механика грунтов. 2001. № 5. С. 21–23.
 14. Мустафаев, А. А. Фундаменты на просадочных и набухающих грунтах [Текст] / А. А. Мустафаев. – М. : Высшая школа, 1989. – 590 с.
 15. Prokopov, A. The experience of strengthening subsidence of the soil under the existing building in the city of Rostov-on-Don [Электронный ресурс] / A. Prokopov, M. Prokopova, Y. Rubtsova // MATEC Web of Conferences. 2017. № 106. P. 1–9. – Режим доступа : doi:10.1051/mateconf/201710602001.
 16. Engineering geology of loess and loess-like deposits: a commentary on the Russian literature [Электронный ресурс] / I. F. Jefferson, D. Evstatiev, D. Karastanev [et. al.] // Engineering Geology. 2003. Vol. 68, № 3–4. P. 333–351. – Режим доступа : doi:10.1016/S0013-7952(02)00236-3.
 17. Geotechnical Engineering Practice for Collapsible Soils [Электронный ресурс] / S. L. Houston, W. N. Houston, C. E. Zapata [et. al.] // Geotechnical and Geological Engineering. 2001. Vol. 19(3–4). P. 333–355. – Режим доступа : doi:10.1023/A:1013178226615.
 18. Noor, S. T. Numerical and analytical modeling for predicting drag load induced on pile in collapsible soil because of inundation [Электронный ресурс] / S. T. Noor // Open Civil Engineering Journal. 2017. Vol. 11. P. 664–675. – Режим доступа : doi:10.2174/1874149501711010664.
 19. Zhu, G. Treatment of Collapsible Loess foundation [Электронный ресурс] / G. Zhu, Y. Han // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 218. P. 1–6. – Режим доступа : doi:10.1088/1755-1315/218/1/012006.
 20. Study on Vertical Permeability Regularity and Collapsibility of a Large Thickness Loess Foundation by in-Situ Testing [Электронный ресурс] / Y. Kong, X. Huang, H. Ruan [et. al.] // E3S Web of Conferences. 2016. Vol. 9. – Режим доступа : doi:10.1051/e3sconf/20160905002.
 21. Указания по расчету и проектированию каркасных и бескаркасных зданий на просадочных грунтах [Текст] / НИИ строит. конструкций. – К. : НИИСК, 1990. – 283 с.
 22. Li, P. Review of collapse triggering mechanism of collapsible soils due to wetting [Электронный ресурс] / P. Li, S. Vanapalli, T. Li // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2016.
 11. Krutov, V. I.; Kovalev, A. S.; Kovalev, V. A. Design and construction of foundations and foundations on subsidence soils [Text]. M. : ACB. 2016. 544 p. (in Russian)
 12. Levchenko, A. P. Engineering communications on loess subsidence soils [Text]. M. : GASIS. 2001. 129 p. (in Russian)
 13. Mezherovsky, V. A. Settlement models of the system «Building-loess subsidence base of significant power» [Text]. In: Foundation, foundations and soil mechanics. 2001. № 5. P. 21–23. (in Russian)
 14. Mustafayev, A. A. Foundations on subsidence and swellable soils [Text]. M. : Higherschool. 1989. 590 p. (in Russian)
 15. Prokopov, A.; Prokopova, M.; Rubtsova, Y. The experience of strengthening subsidence of the soil under the existing building in the city of Rostov-on-Don [Electronic resource]. In: MATEC Web of Conferences. 2017. № 106. P. 1–9. Access mode : doi:10.1051/mateconf/201710602001.
 16. Jefferson, I. F.; Evstatiev, D.; Karastanev, D. [et. al.]. Engineering geology of loess and loess-like deposits: a commentary on the Russian literature [Electronic resource]. In: *Engineering Geology*. 2003. Vol. 68, № 3–4. P. 333–351. Access mode: doi: 10.1016/S0013-7952(02)00236-3.
 17. Houston, S. L.; Houston, W. N.; Zapata, C. E. [et. al.]. Geotechnical Engineering Practice for Collapsible Soils [Electronic resource]. In: *Geotechnical and Geological Engineering*. 2001. Vol. 19(3–4). P. 333–355. Access mode : doi:10.1023/A:1013178226615.
 18. Noor, S. T. Numerical and analytical modeling for predicting drag load induced on pile in collapsible soil because of inundation [Electronic resource]. In: *Open Civil Engineering Journal*. 2017. Volume 11. P. 664–675. Access mode : doi:10.2174/1874149501711010664.
 19. Zhu, G.; Han Y. Treatment of Collapsible Loess foundation [Electronic resource]. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 218. P. 1–6. Access mode: doi:10.1088/1755-1315/218/1/012006.
 20. Kong, Y.; Huang, X.; Ruan, H. [et. al.]. Study on Vertical Permeability Regularity and Collapsibility of a Large Thickness Loess Foundation by in-Situ Testing [Electronic resource]. In: *E3S Web of Conferences*. 2016. Vol. 9. Access mode: doi:10.1051/e3sconf/20160905002.
 21. Research Institute of engineering construction. Guidelines for the calculation and design of frame and frameless buildings on subsiding soils [Text]. K. : SRIBS, 1990. 283 p. (in Russian)
 22. Li, P.; Vanapalli, S.; Li, T. Review of collapse triggering mechanism of collapsible soils due to wetting [Electronic resource]. In: *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2016. № 2(8). P. 256–274. Access mode: doi:10.1016/j.jrmge.2015.12.002.
 23. Dalinchuk, V. S.; Ilmenderov, M. S.; Yarkin, V. V. Eliminate foundation subsidence with SLAB

- № 2(8). Р. 256–274. – Режим доступа : doi:10.1016/j.jrmge.2015.12.002.
23. Далинчук, В. С. Устранение просадки фундаментов с помощью технологии SLAB LIFTING [Текст] / В. С. Далинчук, М. С. Ильмендеров, В. В. Яркін // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 11(38). С. 15–26.
 24. Писаренко, А. В. Численное исследование напряженно-деформированного состояния конструкций здания, взаимодействующего с просадочным основанием при его частичном закреплении [Электронный ресурс] / А. В. Писаренко, В. В. Яркін // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2017. Вып. 2017-3(125) Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. С. 86–93. – Режим доступа : [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/vestnik_2017-3\(125\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/vestnik_2017-3(125).pdf).
 25. Lobacheva, N. Experimental and numerical substantiation the efficiency method of compaction of soil base by creating sealing pressure inside soil massif [Электронный ресурс] / N. Lobacheva, V. Yarkin // J. Phys.: Conf. Ser. 2019. Vol. 1425.012048. – Режим доступа : doi:10.1088/1742-6596/1425/1/012048.
 26. Клепиков, С. Н. Расчет сооружений на деформируемом основании [Текст] / С. Н. Клепиков. – К. : НИИСК, 1996. – 204 с.
 - LIFTING [Text]. In: *The construction of unique buildings and structures*. 2015. № 11(38). P. 15–26. (in Russian)
 24. Pisarenko, A. V.; Yarkin, V. V. A numerical study of the stress-strain state of building structures interacting with a subsidence base when partially secured [Electronic resource]. In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2017. Issue 2017–3(125) Buildings and structures using new materials and technologies. P. 86–93. Access mode: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/vestnik_2017-3\(125\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/vestnik_2017-3(125).pdf). (in Russian)
 25. Lobacheva, N.; Yarkin, V. Experimental and numerical substantiation the efficiency method of compaction of soil base by creating sealing pressure inside soil massif [Electronic resource]. In: *J. Phys.: Conf. Ser.* 2019. Vol. 1425.012048. Access mode : doi:10.1088/1742-6596/1425/1/012048.
 26. Klepikov, S. N. Calculation of structures on a deformable base [Text]. Kiev : SRISK, 1996. 204 p. (in Russian)

Яркін Віктор Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри основаній, фундаментів та підземних споруд ГОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Научні інтереси: взаємодія будівель і споруд з основою, що нерівномірно деформується. Будівництво та проектування будівель і споруд в складних інженерно- та горно-геологічних умовах.

Кухарь Анна Владимировна – кандидат технічних наук, доцент кафедри основаній, фундаментів та підземних споруд ГОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Научні інтереси: будівництво і проектування будівель і споруд в складних інженерно-геологічних умовах, конструктивні методи захисту будівель на карстоопасних територіях, системи для автоматичної компенсації деформацій основи.

Анисимова Анастасия Денисовна – магістрант ГОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Научні інтереси: будівництво і проектування будівель і споруд в складних інженерно-геологічних умовах.

Яркіна Владислава Викторовна – студентка ГОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Научні інтереси: карстоопасні території і просадочні ґрунти.

Яркін Віктор Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри основ, фундаментів та підземних споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: взаємодія будівель і споруд з основою, що нерівномірно деформується. Будівництво та проектування будівель і споруд в складних інженерно- та горно-геологічних умовах.

Кухарь Ганна Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри основ, фундаментів і підземних споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: будівництво та проектування будівель та споруд в складних гірничо-геологічних умовах, конструктивні методи захисту будівель і споруд на карстонебезпечних територіях, системи для автоматичної компенсації деформації основи.

Анісімова Анастасія Денисівна – магістрант ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: будівництво та проектування будівель та споруд в складних гірничо-геологічних умовах.

Яркіна Владислава Вікторівна – студентка ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: карстонебезпечні території та просідані ґрунти.

Yarkin Viktor – Ph. D. (Eng.), Assistant 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.

Kukhar Anna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Basements, Foundations and Underground Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: construction and design of buildings and structures in difficult geotechnical conditions, constructive methods of protection of buildings and structures on karst territories, systems for automatic compensation of deformation of the base.

Anisimova Anastasia – Master's student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: construction and design of buildings and structures in complex engineering and geological conditions.

Yarkina Vladislava – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: karst-prone areas and subsidence soils.