



ISSN 1993-3495 online

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

2017, ТОМ 13, НОМЕР 2, 103–110

УДК 624.042.7

ВЛИЯНИЕ ЧАСТИЧНО ЗАКРЕПЛЕННОГО ПРОСАДОЧНОГО ГРУНТА НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОЕ СОСТОЯНИЕ КОНСТРУКЦИЙ

А. В. Писаренко

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.

E-mail: pisarenko_av@mail.ru

Получена 06 марта 2017; принята 04 мая 2017.

Аннотация. В статье выполнен анализ существующих методов увеличения жесткости оснований, сложенных просадочными грунтами. Представлены результаты численных исследований влияния коэффициента жесткости частично закрепленного грунта на НДС конструкций. Установлена закономерность изменения коэффициента жесткости основания C_z от процента частичного закрепления просадочного основания по высоте.

Ключевые слова: просадочные грунты, коэффициент жесткости основания, физико-химический метод, дополнительные усилия.

ВПЛИВ ЧАСТКОВО ЗАКРІПЛЕНОГО ПРОСАДНОГО ҐРУНТУ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМУВАНИЙ СТАН КОНСТРУКЦІЇ

А. В. Писаренко

ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,

2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.

E-mail: pisarenko_av@mail.ru

Отримана 06 березня 2017; прийнята 04 мая 2017.

Анотация. У статті виконано аналіз існуючих методів збільшення жорсткості основ, складених просадними ґрунтами. Представлені результати експериментальних досліджень впливу коефіцієнта жорсткості частково закріпленого ґрунту на НДС конструкцій. Встановлено закономірність зміни коефіцієнта жорсткості основи C_z від відсотка часткового закріплення просадної основи по висоті.

Ключові слова: просадні ґрунти, коефіцієнт жорсткості основи, фізико-хімічний метод, додаткові зусилля.

THE EFFECT OF A PARTIALLY FIXED SUBSIDENCE GROUND ON THE STRESS-STRAIN STATE OF STRUCTURES

Anastasiya Pisarenko

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.

E-mail: pisarenko_av@mail.ru

Received 06 March 2017; accepted 04 May 2017.

Abstract. The article analyzes the existing methods of increasing the rigidity of the bases, formed by subsidence grounds. The results of experimental studies of the effect of the stiffness coefficient of partially anchored soil on VAT structures are presented. The regularity of the change in the coefficient of rigidity of the base C_z from the percentage of partial fixation of the sinking base along the height is established.

Keywords: subsidence ground, coefficient of rigidity of the base, physic-chemical method, additional efforts.

Формулирование проблемы

В связи с широким распространением просадочных грунтов в нашем регионе остро встает вопрос проектирования и строительства зданий и сооружений на таких грунтах. При проектировании необходимо в полной мере учитывать деформации от просадки грунта, чтобы избежать недопустимых деформаций в конструкциях зданий и сооружений. Строительство и проектирование зданий и сооружений на просадочных грунтах неизбежно влечет за собой повышение стоимости строительства, так как требует применения прогрессивных мероприятий, которые уменьшают влияния от просадок грунта на строительные конструкции.

Анализ последних исследований и публикаций

Вопросами устройства конструкций на просадочных грунтах занимались такие ученые, как: В. П. Ананьев, Ю. М. Абелев, В. Е. Соколов, Б. А. Ржаницын, В. С. Бадеев, Я. Д. Гильман, Б. Н. Исаев, Э. И. Мулюков, Н. А. Цытович, В. И. Крутов, В. С. Колесников. Макропористая структура, по мнению Ю. М. Абелева [1], существенно определяет деформационные, прочностные и фильтрационные свойства просадочных пород.

Инженерные расчеты конструкций на просадочных грунтах, посвященные преимущественно расчетам свайных оснований и армированных массивов, рассмотрены в работах: В. И. Крутова и И. К. Попсуенко [3], В. Г. Федоровского, С. Г. Безволева [4], Д. К. Джоунса [5]. Расчеты

конструкций от деформаций просадочных грунтов изложены в нормативной литературе [6], также в работах В. И. Крутова [2].

Существуют различные методы улучшения свойств просадочных грунтов. Наиболее эффективным методом предотвращения неравномерных осадок и последующих деформаций зданий и сооружений является инъекционное закрепление грунтов основания фундаментов. Инъекционный способ часто применим в режиме существующей застройки, когда необходимо выполнить закрепление грунта в случае аварийного состояния уже построенного здания в результате потери несущей способности грунтов основания. Выбор типа инъекционного раствора определяется конкретными грунтовыми условиями и задачами, стоящими перед инъекционными работами. Это требует грамотного подбора состава действующих веществ. За рубежом эти вопросы периодически освещаются в трудах конференций [8, 9]. Анализ изученных работ показал, что вопрос взаимодействия конструкций с просадочным основанием остается недостаточно изученным, что подтверждает актуальность рассмотрения вопроса увеличения жесткости основания просадочного грунта путем закрепления химическим составом.

Цель

Исследование взаимодействия конструкций с основанием из частично закрепленного просадочного грунта.

Основной материал

Сложность проектирования и возведения зданий и сооружений вызывается специфическим и сложным механизмом развития просадочных деформаций. В Донбасском регионе просадочные грунты занимают значительную часть территорий, которые рассматриваются как перспективные территории для гражданского и промышленного строительства. При проектировании оснований, фундаментов и зданий на просадочных грунтах прежде всего учитывают возможность их замачивания. В работе рассматривается вид изменения НДС конструкций здания при неблагоприятных условиях – замачивания части грунтового основания посередине и у края фундамента. Для рассмотрения влияния коэффициента жесткости частично закрепленного грунта первоначально был проведен ряд испытаний по подбору химического закрепляющего состава, подходящего по требуемым характеристикам для просадочного грунта, и определению модуля деформации закрепленного грунта. Определение характеристик просадочного грунта выполнялось по методике, указанной в ГОСТ 23161-2012. «Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности» [10]. Образцы грунта отбирались из монолита рабочим кольцом компрессионного прибора КПр-1 методом режущего кольца (рис. 1) по ГОСТ 5180-84 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик» [7].

Определение осадки образца и модуля деформации для просадочного грунта проводилось по схеме одной кривой для заданного проектного давления в следующей последовательности:

- определялся коэффициент пористости грунта до испытания e_0 ;
- испытуемый образец в кольце помещался в одометр на перфорируемых фильтрах острой кромкой кольца вверх;
- одометр в собранном виде устанавливался на базу прибора. На стойках штампа с помощью держателей закреплялись два индикатора часового типа. Отчеты по индикаторам выставлялись нулевыми, при этом рама фиксируется так, чтобы не было передачи нагрузки на грунт, заключенный в одометре;
- нагружение образца проводилось ступенчато до заданного давления P_z (224 кПа);

- после условной стабилизации осадки образец грунта на последней ступени давления, образец грунта замачивался водой, продолжая замачивание до условной стабилизации просадки. Замачивание осуществлялось снизу вверх через поддон прибора;
- данные по индикаторам после каждой ступени нагружения при условной стабилизации заносятся в журнал испытания.

В качестве закрепляющего состава использовался разработанный для этого золь кремниевой кислоты, полученный реакцией жидкого стекла с сульфатом аммония, с содержанием оксида кремния 2 % в водном растворе полиакриламида после его «заморозки».

Закрепление образца грунта проводилось равномерно по 9 точкам, согласно схеме на рис. 2 в объеме 1 мл раствора на каждую точку (9 мл раствора на 150 см³ образца или 6 % объема). Ввод раствора осуществлялся иглой медицинской из шприца с раствором в верхнюю зону грунта. Выдержка раствора после его введения в грунт составляла 30 мин. Температура раствора составляла 18 °С.

Модуль деформации грунта определялся на компрессионном приборе КПр-1.

Было выполнено три замера модуля деформации закрепленного грунта (E_1) и незакрепленного (E_2).

Рабочее кольцо прибора КПр-1



Рисунок 1. Образец грунта в одометре после проведения испытания.

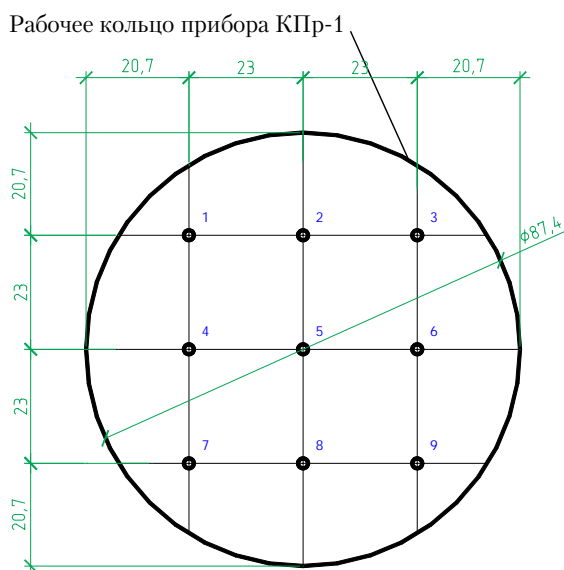


Рисунок 2. Схема закрепления образца грунта раствором (размеры указаны в мм): 1–9 – точки инъекции раствором.

При этом была получена зависимость относительной деформации образцов грунта от давления $\varepsilon = f(P)$ (рис. 3).

Нагружение от этапа 1–5 проводилось без замачивания образцов. По достижении расчетного давления (этап 5) проводилось замачивание образцов. От этапа 5 до 8 проводилось нагружение образцов в водонасыщенном состоянии. На этапе 1 у закрепленного образца наблюдаем увеличение относительной деформации в сравнении с незакрепленным из-за присутствия частичного замачивания от введенного закрепляющего раствора. На этапе 2 происходит выравнивание деформаций образцов и последующий рост деформаций незакрепленного образца в сравнении с закрепленным. На этапе 5 происходит замачивание образцов, причем у незакрепленного образца наблюдается резкое увеличение деформаций, в сравнении с закрепленным образцом (на 93 %).

Модуль деформации грунтов для интервала давлений рассчитывался по формуле 5.28 [11]

$$E = \frac{1 + e_o}{m_o} \beta,$$

где e_o – коэффициент пористости грунта до начала испытаний;

m_o – коэффициент сжимаемости, соответствующий интервалу давления от p_i до p_{i+1} ;

β – коэффициент, учитывающий отсутствие поперечного расширения грунта в компрессионном приборе и вычисляемый по формуле 5.29 [11], при ν для суглинков равное 0,35, равный 0,623. Результаты сведены в таблицу 1.

При закреплении грунта принятым составом наблюдаем увеличение модуля деформации грунта на 46–76 % или в среднем на 65 %. Для оценки влияния работы закрепляющего раствора были рассмотрены варианты закрепления просадочного основания по толще слоя в интервале 100, 75, 50 и 0 % толщины. Для каждого случая был просчитан коэффициент жесткости основания C_z при заданном давлении на фундамент P_z , была получена зависимость изменения коэффициента жесткости от процента закрепления основания (рис. 4).

За расчетное здание была взята часть здания школы № 3 г. Мариуполя. Данные инженерной геологии по площадке здания выполнены Донецким ПромстройНИИпроектом в 2001 г. Расчетная нагрузка по подошве фундаментов составила: по оси В – 177 кН, по оси Д – 242 кН, по оси Ж – 175 кН. Ширина подошвы фундамента принята по факту: по осям В и Ж – 800 мм, по оси Д – 1 200 мм.

Для оценки влияния частичного закрепления основания к рассмотрению был принят фундамент № 3, под областью которого расположена наибольшая толща просадочного грунта при наибольшем давлении по подошве фундамента (рис. 5).

Результаты вычислений по осадке, просадке и коэффициенту жесткости по фундаменту 3 приведены в таблице 2.

По полученным данным видно, что при незакрепленном основании суммарная осадка и просадка превышают допустимые нормативные значения для данного типа здания: $S + Ssl = 0,0212 + 0,1264 = 0,1476 > Su = 0,08$ м. При закреплении основания от 0 до 100 % значения осадки S и просадки от собственного веса Ssl , g изменяются незначительно. Просадка от внешней нагрузки Ssl , p меняется значительно. Эффект закрепления наблюдается уже при 50 % усилении, где выполняется условия $S + Ssl = 0,061 < Su = 0,08$ м. Также по экспоненциальной зависимости изменения осадки и просадки основания от % закрепления можно судить о снижении эффекта закрепления, при увеличении

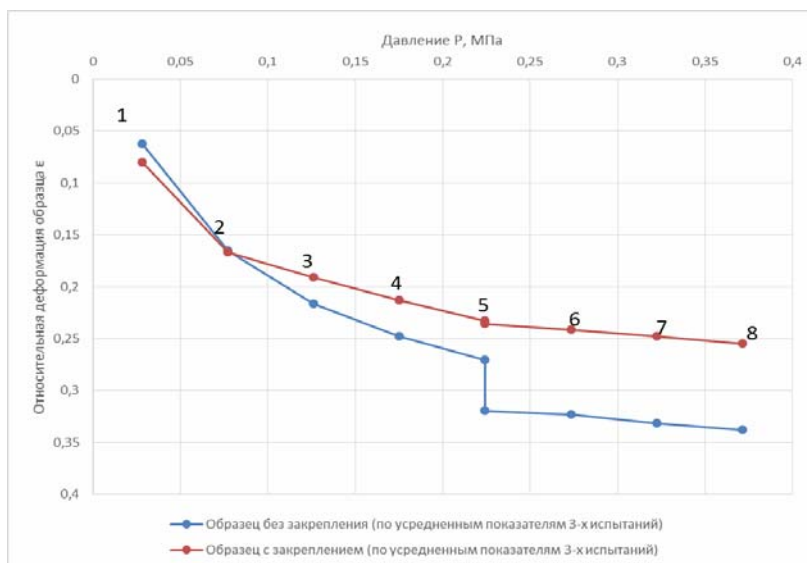


Рисунок 3. График зависимости относительной деформации от давления закрепленного и незакрепленного грунта: 1–9 – этапы нагружения образца грунта на приборе КПр-1.

Таблица 1. Расчетный модуль деформации просадочного грунта без закрепления и с закреплением

№ образца	Расчетный модуль деформации закрепленного грунта, E_1 , МПа	Расчетный модуль деформации незакрепленного грунта, E_2 , МПа
1	2,42	1,37
2	2,18	1,49
3	2,45	1,40
Ср. значение	2,35	1,42

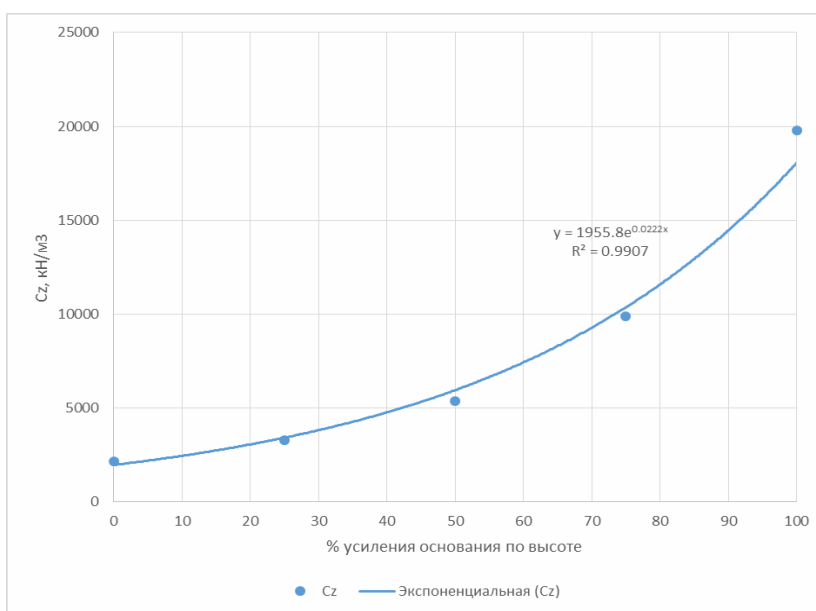


Рисунок 4. Изменение коэффициента жесткости основания при различной степени усиления основания.

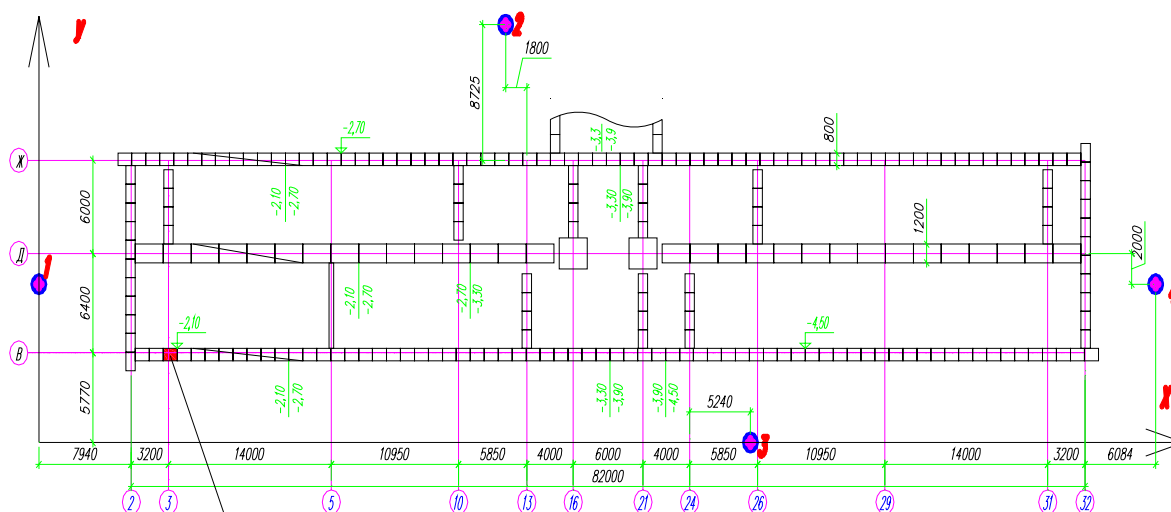


Рисунок 5. Расположение фундаментов здания школы: 1–4 – точки инженерно-геологических изысканий.

Таблица 2. Результаты вычислений осадки и просадки и коэффициента жесткости основания для фундамента 3 в программе Descon

% закрепления	S, м	Ssl, g, м	Ssl, p, м	S + Ssl, м	Cz, кН/м ³
0	0,0212	0,0043	0,1220	0,1476	2 131
25	0,0193	0,0036	0,0732	0,0961	3 300
50	0,0179	0,0042	0,0389	0,0610	5 377
75	0,0174	0,0036	0,0137	0,0345	9 901
100	0,0165	0,0000	0,0000	0,0165	19 800

В таблице:

% закрепления – процент усиления просадочного слоя основания по высоте;

S, м – осадка основания;

Ssl, g, м – просадка от собственного веса грунта;

Ssl, p, м – просадка от внешней нагрузки на грунт;

Ssl, м – просадка от собственного веса и от внешней нагрузки;

Cz – коэффициент жесткости основания.

его процента, что может говорить об отсутствии необходимости полного закрепления основания по высоте просадочного грунта.

Выводы

1. Предложенная методика расчета НДС конструкции на частично закрепленном просадочном основании позволяет определить процент частичного закрепления грунта и схему закрепления, позволяющие снизить дополнительные усилия (напряжения) от просадочных деформаций в конструкциях до допустимых значений, при которых не происходит нарушение их эксплуатационной пригодности.

2. При частичном закреплении просадочного основания модуль деформации грунта E , закрепленного раствором, увеличивается на 46–76 % (в среднем на 65 %) в сравнении с модулем незакрепленного грунта.

3. На основании результатов штамповых испытаний грунтового основания, закрепленного раствором, установлена закономерность осадки и просадки $S + Ssl$ основания от процента частичного закрепления просадочного основания по высоте. Полученная экспоненциальная зависимость показывает снижение осадки и просадки основания с повышением процента усиления, а так же в отсутствии необходимости 100%-го усиления грунтового мас-

сива для достижения нормативных требований по осадке и просадке.

4. Установлена закономерность изменения коэффициента жесткости основания C_z от процента частичного закрепления просадочного ос-

нования по высоте. Полученная экспоненциальная зависимость показывает незначительное увеличение (на 30 %) C_z при закреплении основания до 50 %, а при закреплении 75–100 % основания – увеличение C_z на 50 %.

Литература

1. Абелев, Ю. М. Основы проектирования и строительства на просадочных грунтах [Текст] / Ю. М. Абелев, М. Ю. Абелев. – М. : Стройиздат, 1979. – 272 с.
2. Крутов, В. И. Основания и фундаменты на просадочных грунтах [Текст] / В. И. Крутов. – Киев : Будівельник, 1982. – 224 с.
3. Крутов, В. И. Устранение просадок лессовых грунтов от их собственного веса путем армирования лессовой толщи [Текст] / В. И. Крутов, И. К. Попсуенко // Основания, фундаменты и механика грунтов. М. : Стройиздат, 1976. № 3. С. 17–19.
4. Федоровский, В. Г. Метод расчета свайных полей и других вертикально армированных грунтовых массивов [Текст] / В. Г. Федоровский, С. Г. Безволев // Основания, фундаменты и механика грунтов. М. : Стройиздат, 1994. № 3. С. 11–15.
5. Джоунс, К. Д. Сооружения из армированного грунта [Текст] : перевод с английского / К. Д. Джоунс. – М. : Стройиздат, 1989. – 280 с.
6. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83) [Текст] / НИИОСП им. Герсеева Госстроя СССР. – Москва : Стройиздат, 1986. – 415 с.
7. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик [Текст]. – Взамен ГОСТ 5180-75, ГОСТ 5181-78, ГОСТ 5182-78, ГОСТ 5183-77 ; введ. 1985-07-01. – М. : Стандартинформ, 2005. – 18 с.
8. Grouting and Deep Mixing [Текст] : proceedings of IS-Tokyo'96, the Second International Conference on Ground Improvement Geosystems, Tokyo, 14–17 May 1996 : Volume 1 / Edited by Ryoza Yonekura, Masaaki Terashi, Mitsuhiro Shibazaki. – Rotterdam : A. A. Balkema, 1996. – 795 p.
9. Mitchell, J. K. Soil Improvement – State-of-the-Art (Preliminary) [Текст] / J. K. Mitchell, R. K. Katti // Proceedings of the 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering : 15–19 June, Stockholm, 1981 / Publications Committee of X. ICSMFE ; X. ICSMFE. – Rotterdam : A. A. Balkema, 1981. – Vol. 4. – P. 261–317.
10. ГОСТ 23161-2012. Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности [Текст]. – Взамен ГОСТ 23161-78 ; введ. 2012-07-01. – М. : Стандартинформ, 2013. – 12 с.
11. ДСТУ Б В.2.1-4-96 (ГОСТ 12248-96). Грунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності та деформованості [Текст]. – На заміну

References

1. Abelev, Yu. M.; Abelev, M. Yu. Bases of design and construction on collapsible soil. Moscow: Stroizdat, 1979. 272 p. (in Russian)
2. Krutov, V. I. The bases and foundations on collapsible soil. Kiev: Budivelnik, 1982. 224 p. (in Russian)
3. Krutov, V. I.; Popsuenko, I. K. Elimination of sags of loessial soil from their body weight by reinforcing of loessial thickness. In: *Bases, foundations and soil engineering*, 1976, No. 3, pp. 17–19. (in Russian)
4. Fedorovskiy, V. G.; Bezvolev, S. G. Method of calculation of pile fields and other vertically reinforced massifs. In: *Bases, foundations and soil engineering*, 1994, No. 3, pp. 11–15. (in Russian)
5. Jounes, K. D. Constructions from the reinforced soil. Moscow: Stroizdat, 1989. 280 p. (in Russian)
6. Design Manual for Foundation Beds of Buildings and Structures (to SNiP 2.02.01-83). Moscow: Stroizdat, 1986. 415 p. (in Russian)
7. GOST 5180-84. Soils. Laboratory methods for determination of physical characteristics. Moscow: Standartinform, 2005. 18 p. (in Russian)
8. Eds.: Yonekura, Ryoza; Terashi, Masaaki; Shibazaki, Mitsuhiro. Grouting and Deep Mixing: proceedings of IS-Tokyo'96, the Second International Conference on Ground Improvement Geosystems, Tokyo, 14–17 May 1996: Volume 1. Rotterdam: A. A. Balkema, 1996. 795 p.
9. Mitchell, J. K.; Katti, R. K. Soil Improvment – State-of-the-Art (Preliminary). In: *Proceedings of the 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering: 15–19 June, Stockholm, 1981 / Publications Committee of X. ICSMFE; X. ICSMFE*, Rotterdam: A. A. Balkema, 1981, Vol. 4, pp. 261–317.
10. GOST 23161-2012. Soils. Method of laboratory determination of subsiding characteristics. Moscow: Standartinform, 2013. 12 p. (in Russian)
11. DSTU B V.2.1-4-96 (GOST 12248-96). Soil. Methods of laboratory definition of characteristics of durability and deformability. Kyiv: The state committee of Ukraine for city planning and architecture, 1997. 102 p. (in Ukrainian)

ГОСТ 12248-78, ГОСТ 17245-79, ГОСТ 23908-79, ГОСТ 24586-90, ГОСТ 25585-83, ГОСТ 26518-85; чинний з 1997-04-01. – К. : Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. – 102 с.

Писаренко Анастасия Валериевна – ассистент кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: исследование напряженно-деформируемого состояния зданий и сооружений на подрабатываемых территориях.

Писаренко Анастасія Валеріївна – асистент кафедри техносферної безпеки ГОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: дослідження напружено-деформованого стану будівель і споруд на просідаючих ґрунтах.

Pisarenko Anastasiya – Assistant; Technospheric Security Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: investigation of the stress-strain state of buildings and structures on subsidence ground.