

УДК 624.131

© И. И. Сахаров, д-р техн. наук, профессор
© П. В. Войтенко, магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: i.sakharov2014@yandex.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-5-77-83

© I. I. Sakharov, Dr. Sci. Tech., Professor
© P. V. Voitenko, undergraduate
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)
E-mail: i.sakharov2014@yandex.ru

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ДЛЯ КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ В ОКРЕСТНОСТЯХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

EXPERIENCE IN THE APPLICATION OF SURFACE FOUNDATIONS FOR A FRAME BUILDING IN THE VICINITY OF ST. PETERSBURG

Изложен опыт возведения здания на поверхностных фундаментах в зимнее время. Определялись температуры в основании, сложенном пучинистыми грунтами, а также перемещения фундаментов в течение зимнего периода. Выполнены расчеты температурных полей и деформаций пучения с помощью программы Termoground. Показано, что, несмотря на относительно большую глубину промерзания грунтов основания, максимальные перемещения фундаментов не превысили 7 мм, что вполне допустимо для каркасного здания.

Ключевые слова: поверхностный фундамент, работы в зимнее время, морозное пучение.

The article presents the experience of constructing buildings on surface foundations in winter season. Within the frames of the investigation, there were evaluated temperatures in the base composed of heaving soils, as well as foundation displacements during the winter period. There have been were performed calculations of temperature fields and soil heaving deformation using the Termoground program. It is shown that despite the relatively big depth of the base soil freezing, the maximum displacements of the foundations did not exceed 7 mm, which is quite acceptable for a frame building.

Keywords: surface foundation, work in winter period, frost heaving.

При наличии пучинистых грунтов в основании подошва фундамента обычно располагается ниже расчетной глубины промерзания. Такое решение позволяет исключить действие на подошву нормальных сил морозного пучения, что во многих случаях гарантирует устойчивость фундаментов при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений. Вместе с тем в последние десятилетия в малоэтажном строительстве получают распространение фундаменты, подошвы которых располагаются выше расчетной глубины промерзания. Такие фундаменты называются мелкозаглубленными.

О возможности устройства подошвы фундаментов в пределах глубины промерзания

впервые было упомянуто в СНиП 2.02.01–83*, и фундаменты в этом случае требовали расчетной оценки деформаций подъема. В последующих нормативных источниках, начиная с СП 50-101–2004 вплоть до действующих в настоящее время СП 22.13330.2016, мелкозаглубленные фундаменты рекомендовались для малоэтажных зданий, при этом степень пучинистости грунтов основания не ограничивалась.

Конструкции мелкозаглубленных фундаментов обычно включают слои теплоизоляции [1]. Смысл применения теплоизоляции заключается в уменьшении под подошвой глубины промерзания грунта, иногда вплоть до полного ее устранения.

Санкт-Петербургом. Также приводятся данные по ежедневным замерам температур в основании здания в течение шести месяцев с начала строительства. Выполнены численные расчеты полей температур и перемещений фундаментов в ходе зимы 2020/2021 гг., сопоставленные с установленными экспериментально.

Одноэтажное здание склада красок — прямоугольное в плане, размером 56 × 101 м. По результатам выполненных изысканий в пределах глубины 20,0 м в соответствии с ГОСТ 20522–2012 выделено семь инженерно-геологических элементов (ИГЭ). ИГЭ 1 — насыпные грунты (супеси и суглинки) со строительным мусором, которыми были заменены природные заторфованные супеси. Под насыпными грунтами залегают озерно-ледниковые отложения — lg III (ИГЭ 3, ИГЭ 4) и ледниковые отложения — g III (ИГЭ 5 — ИГЭ 7).

Все представленные грунты имеют модули деформации не менее 10 МПа, то есть являются среднесжимаемыми. Таким образом, площадка относительно благоприятна для строительства. Однако насыпные, а также нижележащие природные грунты являются среднепучинистыми.

При подготовке основания заторфованные поверхностные грунты были удалены. После этого на пятне застройки был отсыпан слой насыпного грунта мощностью 1,7 м. Для устройства рекомендуемых незаглубленных фундаментов, в соответствии с патентным решением № 2540738, насыпные грунты площадки должны были быть уплотнены. По данным изысканий 2020 г. насыпные грунты представлены супесями и суглинками с большим количеством твердых включений. Основные физические характеристики глинистых составляющих насыпных грунтов площадки были следующими: показатель консистенции $I_L = 0,29–0,47$; плотность 2,02–2,07 т/м³; коэффициент пористости $e = 0,55–0,64$.

Контроль плотности после уплотнения, как известно, может осуществляться по отобраным пробам в лабораторных условиях, а также с помощью зондирования. Однако ввиду присутствия большого количества твердых включений перечисленные способы на рассматриваемой площадке были неприменимы. По этой же причине не дают необходимой информации штамповые испытания. В связи с отмеченным кон-

троль плотности уплотнения насыпных грунтов осуществлялся по замеру понижения уплотненной поверхности.

Понижение уплотненной поверхности определялось по выражению $\Delta h = (1 - \rho_d / \rho_{d \max}) h_{com} m_{com}$, где ρ_d — плотность скелета грунта; $\rho_{d \max}$ — максимальная плотность скелета грунта; h_{com} — максимальная толщина уплотняемого слоя (для площадки — 1,7 м); m_{com} — коэффициент возможного выпора, равный 1,2.

В рассматриваемых грунтовых условиях $\rho_d = \rho / (1 + W) = 2,05 / (1 + 0,21) = 1,69$ т/м³. В этой формуле по данным изысканий средние значения из трех проб были следующими: $\rho = 2,05$ т/м³, $W = 0,21$.

Коэффициент уплотнения насыпного грунта был принят равным $k_{com} = 0,95$. Тогда $\rho_{d \max} = 1,69 / 0,95 = 1,78$ т/м³, что соответствует рекомендуемому данным табл. 7.1 Справочника геотехника [6]. С учетом полученных результатов понижение уплотняемой поверхности при коэффициенте уплотнения $k_{com} = 0,95$ составит

$$\Delta h = (1 - 1,69 / 1,78) 1,7 \cdot 1,2 = 0,1 \text{ м} = 10 \text{ см.}$$

Таким образом, требуемое минимальное понижение природного уровня грунта после уплотнения виброкатками составляло 10 см, что и контролировалось при укатке.

После уплотнения насыпного грунта выполнялась отсыпка щебня, укладка дорнита, устройство по арматурной сетке тощего слоя бетона. Затем выставлялась опалубка, укладывалась арматура, бетонировались фундаменты со связывающими их балками, после чего выполнялась щебеночная засыпка и бетонировался армированный пол склада.

Для наблюдения за ходом температур на расстоянии 2 м от контура здания была оборудована термометрическая скважина. Температуры грунтов на глубинах 0,2–3,0 м измерялись с помощью термокосы с расположенными на ней электрическими датчиками «Ардуино». Измерения температур были начаты 1 октября 2020 г. и завершены 31 марта 2021 г. График изменения температур в грунте на разных глубинах приведен на рис. 2.

Перемещения наружных фундаментов отслеживались с помощью нивелирования с точностью ± 1 мм. Определялись перемещения угловых фундаментов, а также фундаментов посередине длинной стороны здания.

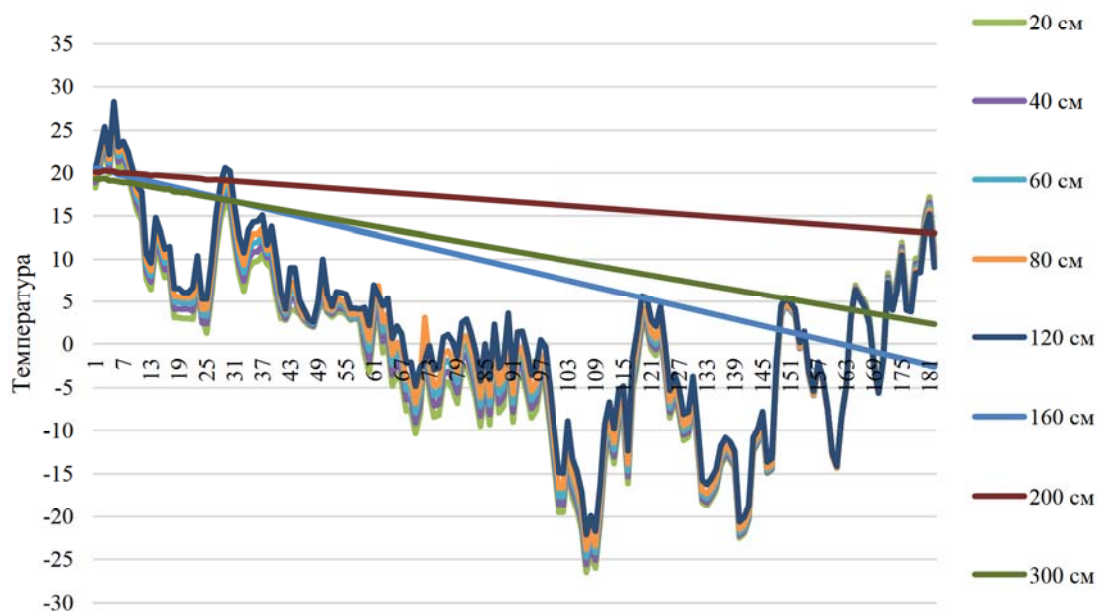


Рис. 2. График изменения температур в грунте на разных глубинах в течение наблюдений с октября 2020 г. по март 2021 г. (182 дня)

Заметим, что в предположении такой же теплой зимы, как зима 2019/2020 гг. в Санкт-Петербурге, утепление основания в виде слоя пенополистирола не предусматривалось. Однако зима 2020/2021 гг., когда осуществлялось строительство, оказалась очень холодной. В связи с этим замеры перемещений фундаментов, а также температур в неутепленном основании представляли значительный интерес.

Результаты наблюдений оказались следующими:

1. Промерзание грунтов основания началось 29 ноября 2020 г. Глубина промерзания грунтов основания составила 1,2 м.

2. Вертикальные перемещения фундаментов оказались невелики — наибольший подъем крайнего фундамента в северной части здания составил 7 мм.

Анализируя результаты экспериментальных данных, отметим следующее. Малость деформаций пучения объясняется сильным уплотнением насыпного грунта, сопровождаемым снижением его влажности до величины $W = 0,2$. В ходе температурных измерений эпизодически отмечались отрицательные температуры вплоть до глубины 1,6 м, однако они не могли привести к промерзанию влажного глинистого грунта. Заметим также, что эти температуры наблюдались в мар-

те, когда вышележащие слои уже имели положительную температуру, и, следовательно, практически не влияли на деформации пучения. Вместе с тем присутствие отрицательных температур на такой большой, нехарактерной для Петербурга глубине должно, очевидно, приниматься во внимание при устройстве инженерных водонесущих коммуникаций, особенно малого сечения.

Расчет температурных полей в основании и деформаций пучения был выполнен в программе Termoground. Алгоритм и описание программы приведены в [7]. Программа Termoground, созданная в начале 2000-х годов, помимо установления температурных полей, позволяет выполнять совместный расчет системы «промерзающее (оттаивающее) основание — сооружение». Некоторые примеры таких расчетов изложены в работах [8–12].

На рис. 3 приведены изолинии и эпюра температур в основании площадки строительства в конце февраля 2021 г. На рис. 4 показаны изолинии и графики температур для разных точек основания по глубине в течение всего периода промерзания.

Эпюра окончательных деформаций морозного пучения показана на рис. 5. Развитие дефор-

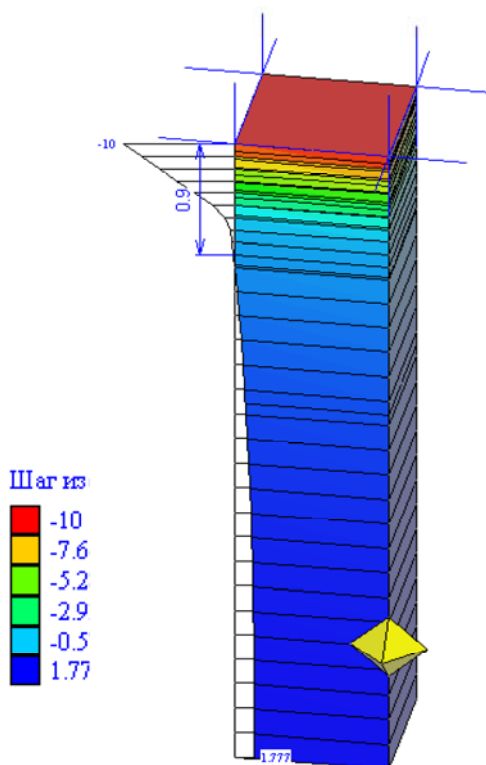


Рис. 3. Изолинии и эпюра температур в основании в конце февраля 2021 г.

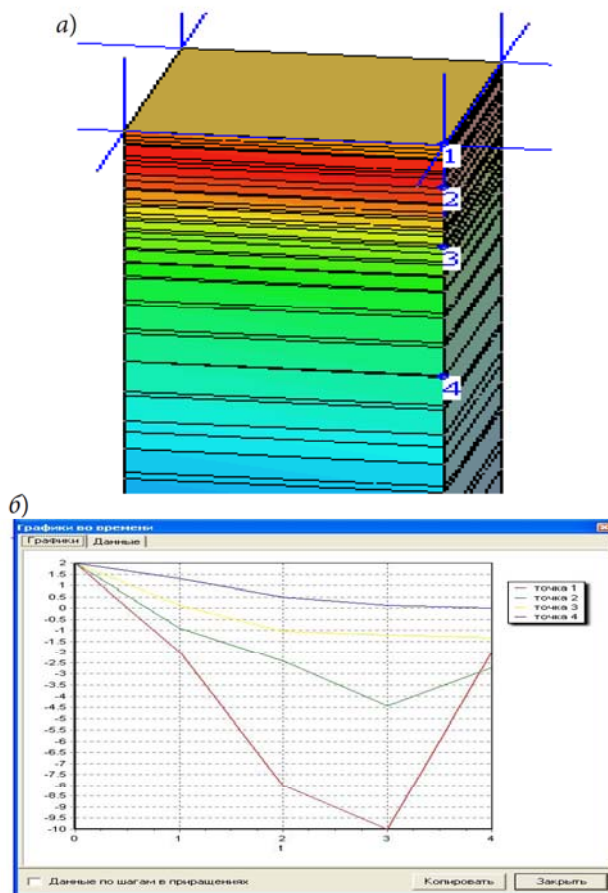


Рис. 4. Изолинии (а) и графики температур (б) для точек по глубине промерзания (точка 1 — на поверхности, 2 — 0,2 м; 3 — 0,4 м; 4 — 1,2 м). Ось абсцисс — месяцы, ось ординат — температуры

маций морозного пучения во времени показано на рис. 6.

Результаты численных расчетов оказались достаточно близки к данным натурных измерений. Наиболее близкое совпадение получено для температур и глубины промерзания. Рассчитанные деформации морозного пучения (12 мм) несколько превышают фактические (7 мм), однако при таких малых величинах сложно ожидать полного совпадения результатов. Однако то, что рассчитанные значения несколько превышают фактические, является положительным фактором при проектировании.

Выводы

1. Поверхностные фундаменты для малоэтажных каркасных зданий могут устраиваться в зимнее время, что предполагает промерзание основания и его морозное пучение.
2. Для минимизации деформаций пучения грунта основания должны быть хорошо уплотнены и предохранены от увлажнения.
3. При устройстве поверхностных фундаментов в зимнее время необходима расчетная оцен-

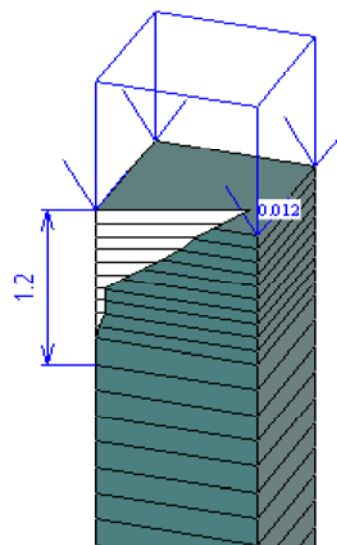


Рис. 5. Эпюра деформаций морозного пучения (м) при максимальной глубине промерзания

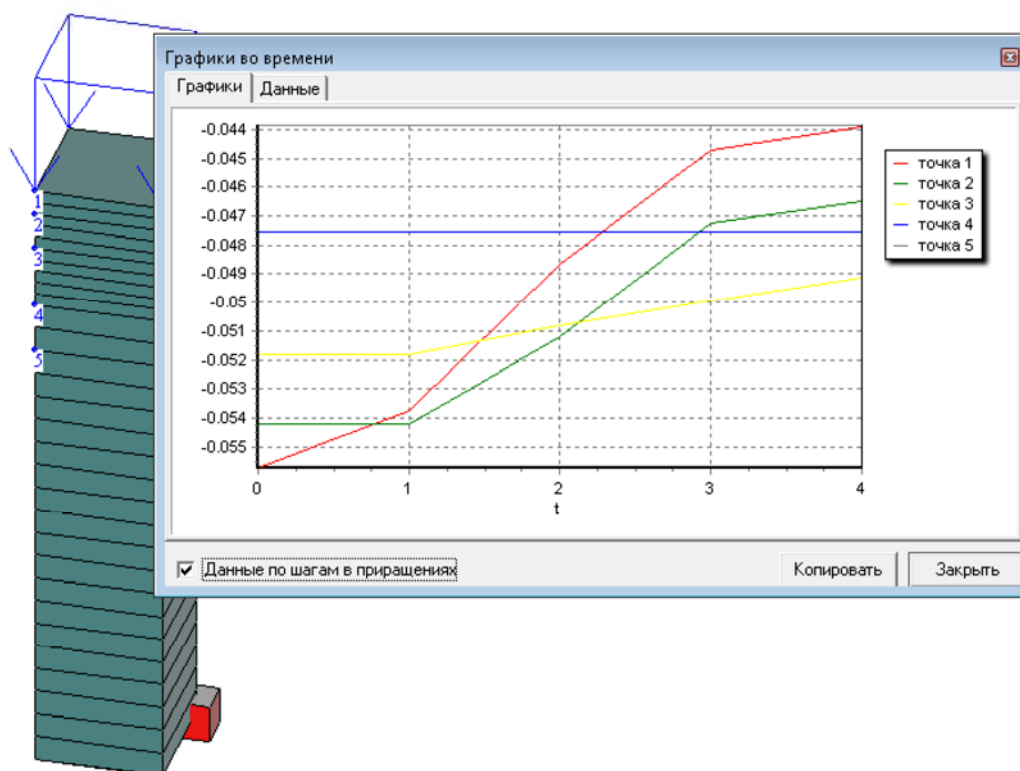


Рис. 6. Развитие деформаций морозного пучения (м) во времени для разных точек по глубине. Начальные деформации равны 0,056 м и обусловлены действием собственного веса грунта и действующих давлений в 50 кПа. Собственно деформации морозного пучения равны $0,056 - 0,044 = 0,012$ м = 12 мм. Ось абсцисс — месяцы, ось ординат — деформации подъема

ка температурных полей и деформаций основания, что может осуществляться с помощью численных методов.

4. Устройство поверхностных фундаментов, ввиду их дешевизны и высокой скорости возведения, может быть рекомендовано для различных малоэтажных каркасных зданий, в том числе госпиталей, востребованных в настоящее время во всем мире в связи с пандемией коронавируса.

Библиографический список

1. Мангушев Р. А., Сахаров И. И. Основания и фундаменты / под ред. Р. А. Мангушева. М.: АСВ, 2019. 468 с.
2. Пат. 2420628, Российская Федерация, МПК E02D 27/08. Способ возведения фундамента / Е. В. Городнова, И. И. Сахаров, В. М. Улицкий. № 2010105423/03, заявл. 15.02.2010, опубл. 10.06.2011. Бюл. № 16.
3. Пат. 2464381, Российская Федерация, МПК E02D 27/01. Предварительно напряженный фундамент мелкого заложения / Р. А. Мангушев, И. И. Сахаров,

Е. В. Городнова. № 2010142529/03, заявл. 18.10.2010, опубл. 27.04.2021. Бюл. № 12.

4. Пат. 2540738, Российская Федерация, МПК E02D 27/01. Железобетонная плита для возведения незаглубляемых фундаментов / Г. И. Белый, Ю. Б. Берман, И. И. Сахаров. № 2013139411/03, заявл. 23.08.2013, опубл. 27.02.2015. Бюл. № 6.

5. Сахаров И. И., Берман Ю. Б. Поверхностные фундаменты — обоснование, расчет, натурная реализация // Материалы докладов XIV Общерос. науч.-практ. конф. «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации», Москва, 11–14 декабря 2018 г. М.: Геомаркетинг, 2018. С. 727–737.

6. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под общ. ред. В. А. Ильичева, Р. И. Мангушева. 2-е изд. М.: АСВ, 2016. 1040 с.

7. Улицкий В. М., Сахаров И. И., Пармонов В. Н., Кудрявцев С. А. Расчет системы «основание — сооружение» при промерзании и оттаивании грунтов с помощью программы «Termoground» // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2015. № 5. С. 3–7.

8. Сахаров И. И., Парамонов В. Н., Парамонов М. В. Опыт совместного расчета здания с испытывающим промерзание оснований // Жилищное строительство. 2011. № 2. С. 10–13.

9. Сахаров И. И., Шашкин К. Г., Парамонов В. Н., Кудрявцев С. А. Теплофизические и деформационные расчеты оснований зданий холодильников, замороженных в ходе эксплуатации // сб. докл. междунар. науч.-практ. конф. «Реконструкция — Санкт-Петербург — 2003». Ч. I. СПб.: СПбГАСУ, 2002. С. 219–222.

10. Сахаров И. И., Парамонов В. Н., Парамонов М. В., Игошин М. Е. Деформации морозного пучения и оттаивания грунтов при работе и повреждении сезонно-охлаждающих устройств // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 12. С. 23–30.

11. Sakharov I. I. Computational method for soil frost heaving characteristics determination // Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations. Proceedings of the International Conference on Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations (GFAC 2019). London: CRC Press, 2019. Pp. 307–311.

12. Сахаров И. И., Кудрявцев С. А., Парамонов В. Н. Промерзающие, мерзлые и оттаивающие грунты как основания зданий и сооружений / под ред. И. И. Сахарова. М.: АСВ, 2021. 364 с.

References

1. Mangushev R. A., Sakharov I. I. *Osnovaniya i fundamenti* [Bases and Foundations]. Ed. by Mangushev R. A. Moscow, ASV Publ., 2019, 468 p.

2. Gorodnova E. V., Sakharov I. I., Ulitskiy V. M. *Sposob vozvedeniya fundamenta* [Method of foundation construction]. Patent RF, no. 2420628, 2011.

3. Mangushev R. A., Sakharov I. I., Gorodnova E. V. *Predvaritel'no napryazhenniy fundament melkogo zalozheniya* [Prestressed foundation of shallow laying]. Patent RF, no. 2464381, 2021.

4. Belyi G. I., Berman Yu. B., Sakharov I. I. *Zhelezobetonnaya plita dlya vozvedeniya nezaglublyaemykh fundamentov* [Reinforced concrete slab for the construction of non-buried foundations]. Patent RF, no. 2540738, 2013.

5. Sakharov I. I., Berman Yu. B. *Poverkhnostnye fundamenti — obosnovanie, raschet, naturnaya realizatsiya* [Surface foundations. Justification, calculation, full-scale implementation]. *Mat-ly dokladov XIV Obshcherossiyskoy nauch.-prakt. konf. «Perspektivy razvitiya inzhenernykh izyskaniy v stroitel'stve v Rossiyskoy Federatsii», Moskva, 11–14 dekabrya 2018 g.* [Proceedings of the XIV All-Russian scientific and practical conference “Prospects for

the development of engineering surveys in construction in the Russian Federation”, Moscow, December 11–14, 2018]. Moscow, Geomarketing Publ., 2018, pp. 727–737.

6. *Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenti i podzemnye sooruzheniya* [Reference book of geotechnical engineering. Bases, foundations and underground structures]. Ed. by Il'ichev V. A., Mangusheva R. A. 2-nd ed. Moscow, ASV Publ., 2016, 1040 p.

7. Ulitskiy V. M., Sakharov I. I., Paramonov V. N., Kudryavtsev S. A. *Raschet sistemy «osnovanie — sooruzhenie» pri promerzanii i ottaivanii gruntov s pomoshch'yu programmy «Termoground»* [Calculation of the “base — structure” system during freezing and thawing of soils using the “Termoground” program]. *Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov – Bases, Foundations and Soil Mechanics*, 2015, no. 5, pp. 3–7.

8. Sakharov I. I., Paramonov V. N., Paramonov M. V. *Opyt sovmestnogo rascheta zdaniya s ispytyvayushchim promerzanie osnovaniem* [Experience of joint calculation of the building with freezing soil base]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing Construction*, 2011, no. 2, pp. 10–13.

9. Sakharov I. I., Shashkin K. G., Paramonov V. N., Kudryavtsev S. A. *Teplofizicheskie i deformatsionnye raschety osnovaniy zdaniy kholodil'nikov, promorozhennykh v khode ekspluatatsii* [Thermophysics and deformation calculations of the bases of buildings of refrigerators frozen during operation]. *Sb. dokl. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Rekonstruktsiya — Sankt-Peterburg–2003»* [Proceedings of the International scientific-practical conference “Reconstruction — St. Petersburg–2003”]. Pt. I. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2002, pp. 219–222.

10. Sakharov I. I., Paramonov V. N., Paramonov M. V., Igoshin M. E. *Deformatsii moroznogo pucheniya i ottaivaniya gruntov pri rabote i povrezhdenii sezonno-okhlazhdayushchikh ustroystv* [Deformations of frost heaving and thawing of soils during operation and damage of seasonal cooling devices]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and Civil Construction*, 2017, no. 12, pp. 23–30.

11. Sakharov I. I. Computational method for soil frost heaving characteristics determination. *Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations. Proceedings of the International Conference on Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations (GFAC 2019)*. London, CRC Press Publ., 2019, pp. 307–311.

12. Sakharov I. I., Kudryavtsev S. A., Paramonov V. N. *Promerzayushchie, merzlye i ottaivayushchie grunty kak osnovaniya zdaniy i sooruzheniy* [Freezing, frozen and thawing soils as bases of buildings and structures]. Ed. by Sakharov I. I. Moscow, ASV Publ., 2021, 364 p.