

АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ФУНДАМЕНТОВ НА НЕРАВНОМЕРНО-СЖИМАЕМЫХ МЕРЗЛЫХ ОСНОВАНИЯХ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ПНЕВМОМЕМБРАН

П.М. САЗОНОВ^{1,*}

И.К. ПОПСУЕНКО¹, канд. техн. наук

И.А. ДЫМЧЕНКО^{1,2}

А.А. ЩЕРБАКОВА^{1,2}

Е.В. САФРОНОВ³

¹Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений (НИИОСП) им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Рязанский проспект, д. 59, г. Москва, 109428, Россия

²АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Россия

³Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Ленинские горы, дом 1

Аннотация

Введение. Осадка грунта при оттаивании многолетнемерзлых пород провоцирует деформации зданий и сооружений, расположенных в криолитозоне. Ранее предполагалось, что мерзлые грунты обладают стабильной несущей способностью, однако в условиях современного потепления процессы оттаивания происходят все чаще, что в перспективе может стать ключевой инженерной проблемой. Перед специалистами встает задача разработки методов адаптации зданий к изменяющимся грунтовым условиям в процессе эксплуатации. Одним из перспективных направлений является применение плитных фундаментов на пневмомембранах, способных компенсировать неравномерные осадки за счет регулируемого давления в воздушных контурах. В статье рассмотрены принципы работы такой технологии на примере лоткового испытания, ее ограничения и потенциальные области применения в условиях деградации многолетнемерзлых грунтов.

Цель. Получение экспериментальных данных по технологии компенсации неравномерной осадки фундаментов зданий и сооружений путем автоматического контроля и сохранения первоначального положения фундамента здания.

Материалы и методы. Методология заключалась в проведении анализа архивной, нормативной и другой технической литературы по методам компенсации деформаций и определении направлений экспериментальных исследований, разработке программы работ, проведении численного моделирования и лотковых исследований, их анализе и обобщении, а также испытаниях мембраны на прочность.

Результаты. В ходе исследований сформулированы рекомендации по минимизации неравномерных осадок фундаментов на неравномерно сжимающихся при повышении температуры многолетнемерзлых грунтах. Предложен подход с использованием эластичных поддерживающих мембран и системы автоматического контроля, обеспечивающий сохранение проектного положения фундамента.

Выводы. Автоматическая система способна стабильно и корректно работать и эффективно обеспечить своевременную подкачку воздуха в мембрану для соблюдения практически неизменного «нуле-

вого» положения плиты фундамента. Эксперименты показали возможность применения данной технологии, но для ее внедрения требуется еще больший комплекс экспериментов.

Ключевые слова: неравномерные деформации, оттаивающий грунт, неравномерно-сжимаемый грунт, автоматический контроль, пневмомембраны, фундаменты, компенсация деформаций, многолетне-мерзлые грунты

Для цитирования: Сазонов П.М., Попсуенко И.К., Дымченко И.А., Щербакова А.А., Сафронов Е.В. Автоматическая компенсация деформаций фундаментов на неравномерно-сжимаемых мерзлых основаниях путем применения пневмомембран // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2026. 1(48). С. 202–212. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2026-1\(48\)-202-212](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2026-1(48)-202-212)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках контракта с ФАУ «ФЦС».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 20.01.2026

Поступила после рецензирования 10.02.2026

Принята к публикации 17.02.2026

AUTOMATIC COMPENSATION OF FOUNDATION DEFORMATIONS ON UNEVENLY-COMPRESSED FROZEN SOILS BY USING PNEUMOMEMBRANES

P.M. SAZONOV^{1,*}

I.K. POPSUENKO¹, Cand. Sci. (Engineering)

I.A. DYMSHENKO^{1,2}

A.A. SHCHERBAKOVA^{1,2}

E.V. SAFRONOV³

¹*Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov (NIIOSP) of JSC Research Center of Construction, Ryazansky Prospekt, 59, Moscow, 109428, Russia*

²*JSC Research Center of Construction, 2nd Institut'skaya Street, 6, Building 1, Moscow, 109428, Russia*

³*Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory, Moscow*

Abstract

Introduction. Ground subsidence during thawing of permafrost causes deformation of buildings and structures located in the permafrost zone. Previously, it was assumed that frozen soils have a stable bearing capacity, but in the context of modern warming, thawing processes are becoming more frequent, which could become a key engineering challenge in the future. Experts are faced with the task of methods development for buildings adapting to the changing conditions. One of the promising directions is the use of slab foundations on pneumatic membranes capable of compensating for uneven subsidence due to controlled pressure in air circuits. The article discusses the principles of operation of such technology using the example of tray testing, its limitations and potential applications in conditions of degradation of permafrost soils.

Aim. Obtaining experimental data on technology for compensation of uneven subsidence of foundations of buildings and structures by automatically monitoring and maintaining the original position of the building foundation.

Materials and methods. The methodology consisted of analyzing archival, regulatory and other technical literature on deformation compensation methods and determining the directions of experimental research, development of the work program, conducting numerical modeling and tray studies, analyzing and summarizing them, as well as testing the membrane for strength.

Results. In the course of the research, recommendations were formulated to minimize uneven foundation deposits on multi-year frozen soils that contract unevenly with increasing temperature. An approach using elastic support membranes and an automatic control system is proposed to ensure the preservation of the design position of the foundation.

Conclusions. The automatic system is able to operate stably and correctly and effectively ensure timely air supply to the membrane to maintain an almost invariable “zero” position of the foundation slab. Experiments have shown the possibility of using this technology, but its implementation requires an even larger range of experiments.

Keywords: uneven deformations, thawing soil, unevenly compressible soil, automatic control, pneumatic membranes, foundations, deformation compensation, permafrost soils

For citation: Sazonov P.M., Popsuenko I.K., Dymchenko I.A., Shcherbakova A.A., Safronov E.V. Automatic compensation of foundation deformations on unevenly-compressed frozen soils by using pneumomembranes. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*, 2026, 1(48), pp. 202–212. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2026-1\(48\)-202-212](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2026-1(48)-202-212)

Authors contribution statement

All the authors have made an equal contribution to the preparation of the publication.

Financing

The study was carried out under a contract with the FAA “FTS”.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Received 20.01.2026

Received 10.02.2026

Accepted 17.02.2026

Введение

Современное потепление провоцирует учащение процессов оттаивания многолетне-мерзлых грунтов в криолитозоне, вследствие чего осадка грунта вызывает деформации сооружений – это опровергает прежние представления о стабильности мерзлых грунтов и превращается в ключевую инженерную проблему [1, 2].

При строительстве на неоднородных многолетнемерзлых деформирующихся оттаивающих грунтах вероятность сверхнормативных осадок зданий и сооружений, возводимых на них, весьма высока. В нормативной и рекомендательной базах [3–5] отсутствуют прямые указания по расчету, проектированию и применению мероприятий по компенсации упомянутых осадок. Под компенсацией осадок основания понимается эквивалентный осадке подъем фундамента. При этом, учитывая наличие в арсенале современных строительных материалов высокопрочных, долговечных эластичных мембран, программного обеспечения и автоматической пневмотехники, целесообразно и актуально исследовать возможность компенсации осадок путем автоматической накачки мембран, помещенных в основания деформирующихся фундаментов с целью сохранения их первоначального положения. Подобный подход является инновационным, так как может принести практическую и экономическую выгоду.

Так, в НИИОСП им. Н.М. Герсеванова возникла идея применения эластичных пневмомембран, компенсирующих осадки основания здания. В пользу возможности применения такого подхода свидетельствует наличие в практике современного строительства широкого арсенала высокопрочных, эластичных, долговечных мембран из синтетических материалов. В качестве многочисленных примеров применения таких

мембран можно привести системы гидроизоляции из геомембран в фундаментных плитах, ограждающих конструкциях, стенах в грунте. При этом стандартизованные технические характеристики геомембран (прочность при разрыве, относительное удлинение при разрыве, прочность на прокол, потеря прочности при циклическом оттаивании – замораживании) вполне отвечают условиям эксплуатации в многолетнемерзлых грунтах. Численное моделирование подтверждает техническую возможность автоматической компенсации осадки фундамента за счёт регулируемого увеличения высоты (надувания) поддерживающей геомембраны при оттаивании многолетнемерзлого основания.

Необходимо отметить, что одной из немногочисленных запатентованных и исследованных идей в мировой практике применения «надувных фундаментов» является патент РФ: RU 2701398C1, патентообладатель АО «НИЦ «Строительство» [6].

В статье представлены результаты исследования возможности внедрения инновационного решения по автоматической компенсации деформаций фундаментов на неравномерно-сжимаемых мерзлых основаниях путем применения пневмомембран.

Материалы и методы

В рамках исследования проведена серия лотковых испытаний. Ключевой целью при проведении лотковых исследований являлась разработка надежной, устойчиво работающей автоматической системы управления компенсирующими деформациями мембраны в зависимости от скорости и конечных величин неравномерных осадок оснований фундаментов. Это потребовало в свою очередь разработки экспериментального варианта программного обеспечения (ПО), исполнительных пневмоавтоматических систем, датчиков автоматического контроля соответствия полной и своевременной компенсации неравномерных деформаций оснований с целью недопущения осадки опытных фундаментов.

Для проведения исследований в климатической камере изготовлен деревянный лоток с отсыпкой в нем на высоту 75 см основания мембран – песка по ГОСТ 25100-2020 [7] кварцевого средней крупности, средней плотности. Форма лотка выбрана из соображений устойчивости модели фундамента на трех опорах (рис. 1).

На подготовленной и выровненной поверхности песчаного основания в лотке размещены три металлических диска-штампа толщиной 5 см и диаметром 27 см. На каждый диск установлен цилиндрический предварительно накачанный до давления 0,1–0,3 МПа надувной домкрат (диаметром 40 см), изготовленный из армированной стекловолокном ПВХ ткани. При этом материал верха и низа мембран домкрата имел одинаковую плотность (850 г/м²) и жесткость.

На верх надувных домкратов установлена горизонтальная плита модели фундамента с размещением металлических грузов общим весом 3 кН, включая вес плиты модели фундамента (рис. 2). Суммарное давление на песок основания под штампами составило 17,5 кПа. Для исключения влияния горизонтальных смещений на результаты испытаний треугольная плита модели фундамента прикреплена тремя упругими связями к неподвижным боковым стойкам по периметру опытного лотка.

Модель фундамента и штампы в основании мембран оснащены датчиками перемещений. Пневмомембраны и датчики перемещений присоединены (каждый автономно) к аппаратной базе ОСАКСПП (рис. 3).

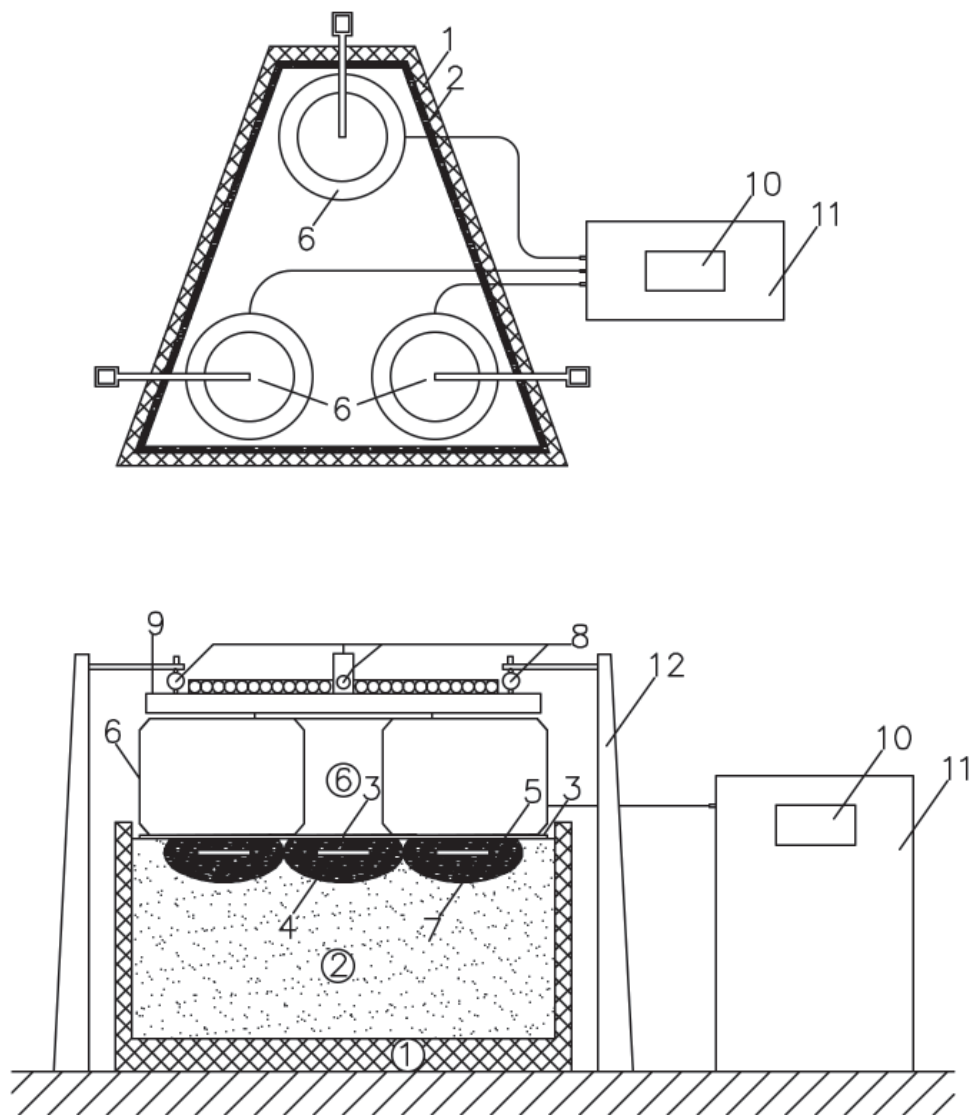


Рис. 1. Схема лотка: 1 – деревянная емкость; 2 – основание экспериментального фундамента – песок; 3 – металлический диски – штампы в основаниях мембран; 4 – зоны предполагаемых деформаций; 5 – деформационные диски из льда; 6 – пневмомембрана; 7 – термонагревательные элементы; 8 – прибор измерения смещений; 9 – модель фундамента; 10 – опытная система автоматического контроля сохранения первоначального положения (ОСАКСПП); 11 – компрессор; 12 – реперные неподвижные стойки для крепления датчиков перемещений

Fig. 1. Tray diagram: 1 – wooden container; 2 – the base of the experimental foundation – sand; 3 – metal discs – stamps in the bases of the membranes; 4 – zones of suspected deformations; 5 – deformation discs made of ice; 6 – pneumatic membrane; 7 – thermal heating elements; 8 – displacement measuring device; 9 – foundation model; 10 – experimental system automatic control of maintaining the initial position (OSAKSPP); 11 – compressor; 12 – reference fixed racks for mounting motion sensors. На подготовленной и выровненной поверхности песчаного основания в лотке размещены три металлических диска-штампа толщиной 5 см и диаметром 27 см. На каждый диск установлен цилиндрический предварительно накачанный до давления 0,1–0,3 МПа надувной домкрат (диаметром 40 см), изготовленный из армированной стекловолокном ПВХ ткани. При этом материал верха и низа мембран домкрата имел одинаковую плотность (850 г/м²) и жесткость.



Рис. 2. Общий вид лотка: 1 – датчики перемещения фундаментной плиты (П1, П2, П3);
2 – датчики перемещения основания (О1, О2, О3)
Fig. 2. General view of the tray: 1 – sensors for the movement of the foundation plate (P1, P2, P3);
2 – sensors for the movement of the base (O1, O2, O3)



Рис. 3. Интерфейс ОСАКСПП
Fig. 3. OSAKSPP interface

Проведение испытаний

После окончания подготовительных работ производились лотковые испытания ОСАКСПП при неравномерной осадке его основания. Важным фактором является анализ влияния скорости деформирования на целостность фундаментов и конструкций здания. Это особенно важно, так как большинство конструкций в строительстве изготавливается из бетона. Согласно имеющимся литературным данным [8–10], решающая роль в разрушении строительных конструкций играет не столько характер, сколько собственно полная деформация – амплитуда при периодических колебаниях. Периодические колебания характеризуются частотой (периодом) и амплитудой перемещений. В опытах период вертикальных перемещений плиты опытного фундамента, установленного на мембранах, фактически соответствовал статическому режиму, а амплитуда не превышала 1 мм за 150 минут. Таким образом, скорость перемещения в фактически статическом режиме в рамках, допускаемых по СП 22.13330.2016 [11], не может привести к трещинообразованию в бетоне фундамента.

В рамках экспериментальных исследований проведен опыт автоматической компенсации неравномерной осадки фундамента, вызванной оттаиванием деформационных блоков под мембраной № 1. Нагревательный элемент работал под деформационным блоком 6,5 часов, в течение которых фиксировались перемещения модели фундамента и основания, а также изменения температуры грунта под мембранами. Эксперимент начался при температуре грунта и воздуха в камере минус 7 °С, однако в ходе эксперимента было принято поднять температуру воздуха в холодильной камере до минус 2 °С для упрощения работы нагревательного элемента.

При принудительном оттаивании ледяного деформационного блока в основании мембраны № 1 развивалась осадка общей величиной порядка 2 мм. При этом ее развитие практически прекратилось спустя 3 часа от начала эксперимента, в то время как основание на глубине установки деформационного блока перешло в талое состояние. В связи с необходимостью достичь больших деформаций основания принято инициировать деформации путем выбуривания грунта.

Контролируемое выбуривание грунта в основании мембран выполнялось с помощью буров длиной 40 см и диаметром 14 мм. Всего проведено 3 контролируемых выбуривания грунта продолжительностью от 5 до 10 мин. В процессе выбуривания фиксировались перемещения модели фундамента и основания, температура основания поддерживалась неизменной.

Результаты испытаний

На рис. 4 представлен типичный график перемещений оснований, модели фундамента и компенсация деформаций (разность между наблюдаемыми перемещениями основания и контролируемого фундамента).

Согласно результатам эксперимента, колебания положения плиты, относительно первоначального положения, не превышают 1 мм за 3 минуты для первого испытания, 0,5 мм – за 1 минуту для второго испытания, 0,3 мм – за 1 минуту для третьего испытания. По результатам эксперимента сделаны следующие выводы:

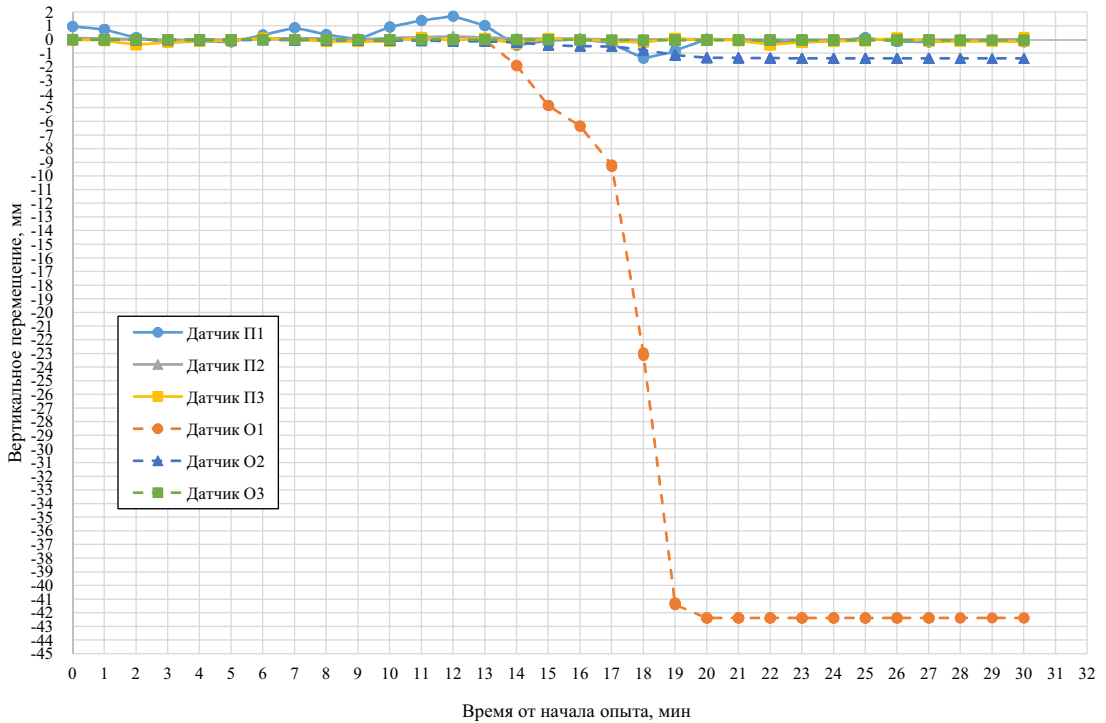


Рис. 4. График перемещения плиты и основания во времени при выбуривании грунта под мембраной № 1 (датчик О1): датчики П – датчики перемещений модели фундаментной плиты; датчики О – датчики перемещений основания

Fig. 4. Graph of the movement of the slab and base over time when drilling the soil under membrane No. 1 (sensor O1): sensors P – sensors of movement of the model of the foundation slab; sensors O – sensors of movement of the base

– В процессе всего эксперимента, сопровождавшегося большими осадками основания, система ОСАКСПП стабильно включалась, корректно работала и эффективно обеспечивала своевременную подкачку воздуха в мембрану и осуществляла соблюдения практически неизменного «нулевого» положения плиты модели фундамента при абсолютной величине осадки основания, равной 21–42 мм, наибольшей относительной неравномерности осадки, равной 0,04. При этом скорость восстановления горизонтального неизменного положения модели фундамента с помощью системы ОСАКСПП при скорости, инициированной деформаций основания 3–4 мм/сек, и величине деформации, превышающей в 5–10 раз предельные по [11] была удовлетворительной при запаздывании не более 1–2 минут.

– Система ОСАКСПП сохраняла надежность, работоспособность, исправность и целостность всех элементов во время экспериментов.

Выводы

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Система ОСАКСПП показала стабильную работу в условиях значительных осадок (21–42 мм) и высокой неравномерности (до 0,04). Восстановление положения фундамента при критических скоростях деформации (3–4 мм/сек) занимало не более 1–2 минут, что подтверждает ее практическую пригодность.

2. Проведенное численное моделирование на подготовительном этапе исследования в программе PLAXIS [12] для расчета напряженно-деформированного состояния мембраны и ее основания позволило детально изучить напряжения и деформации с высокой степенью детализации на всех стадиях работы системы ОСАКСПП. Полученные при математическом моделировании перемещения основания мембраны и восстановления соответствуют экспериментально полученным перемещениям.

3. Исследования производителей материала ПВХ пневмомембраны, используемого для гидроизоляции, показали ее способность длительное время противостоять различным агрессивным химическим веществам и гарантировать защиту бетонных и железобетонных конструкций фундаментов и стилобатов. Для оценки потенциального срока службы до и после выдержки в агрессивных средах определены деформационно-прочностные свойства, масса, гибкость и водонепроницаемость гидроизоляционного материала. Путем математической обработки результатов изменений этих параметров установлен потенциальный срок службы гидроизоляционных материалов – он составил не менее 100 лет. Расчетные внутренние напряжения в оболочке мембраны не превышали ее фактической прочности, по результатам испытаний можно ожидать, что надувные ПВХ мембраны, примененные для выполнения данного исследования, достаточно прочные и долговечные для применения их в основаниях зданий и сооружений, в том числе при отрицательной температуре.

4. Технология имеет следующие ограничения:

– Требуется непрерывное электроснабжение для поддержания рабочего давления в мембранах. Перебои в подаче электроэнергии приводят к снижению компенсационной способности системы и риску необратимых деформаций фундамента. Необходимость резервных источников питания повышает затраты.

– Под воздействием отрицательной температуры сжимается материал мембраны, вследствие чего появляются отверстия, которые пропускают часть воздуха. Для компенсации утечек требуется постоянная подкачка воздуха, что увеличивает энергопотребление.

– Технология не рекомендована для использования для сейсмоопасных районов и зон с вибрационными воздействиями из-за риска резонансных колебаний воздушной подушки.

5. Технология автоматической компенсации деформаций фундаментов путем применения пневмомембран является перспективным методом возведения сооружений на неравномерно-сжимаемых мерзлых основаниях. В рамках дальнейшего исследования технологии рекомендуется провести полевые исследования.

Список литературы

1. Алексеев А.Г., Сазонов П.М., Зорин Д.В., Алексеева А.А., Дымченко И.А. Восстановление эксплуатационной пригодности оснований и фундаментов в Арктической зоне и криолитозоне России. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2024;43(4):66–80. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-4\(43\)-66-80](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-4(43)-66-80). EDN: PNLOKS.
2. Сазонов П.М., Алексеев А.Г. Особенности проектирования фундаментов в различных геокриологических условиях России. *Фундаменты*. 2024. 4(18). С. 34–37. EDN: AAUTUW.
3. СП 25.13330.2020. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная версия СНиП 2.02.04-88. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573659326>.

4. Руководство по проектированию оснований и фундаментов на вечномёрзлых грунтах. Москва: Стройиздат; 1980.
5. СП 496.1325800.2020. Основания и фундаменты зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах. Правила производства работ. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/603253371>.
6. Патент РФ №2701398. Попсуенко И.К., Алексеев А.Г. Фундамент здания, сооружения. RU 2701398 C1. 2018.
7. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200174302>.
8. Созонов П.С., Пинус Б.И. Влияние скорости нагружения на конструктивные свойства бетона // *Вестник Иркутского государственного университета*. 2015;101(6):117–120. Режим доступа: https://journals.istu.edu/vestnik_irtgu/journals/2015/06/articles/20.
9. Баженов Ю.М. Бетон при динамическом нагружении. Москва: Стройиздат; 1970.
10. Клепиков С.Н. Расчет конструкций на упругом основании. Киев: Будівельник; 1967.
11. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная версия СНиП 2.02.01-83*. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456054206>.
12. Тер-Мартirosян З.Г., Тер-Мартirosян А.З., Сидоров В.В. Методика выполнения геотехнических расчетов методом конечных элементов на программном комплексе PLAXIS 2D: методические указания к выполнению практических работ по дисциплине «Численное моделирование в механике грунтов». Москва: НИУ МГСУ; 2015.

References

1. Alekseev A.G., Sazonov P.M., Zorin D.V., Alekseeva A.A., Dymchenko I.A. Restoration of serviceability of bases and foundations in the Arctic zone and permafrost zone of Russia. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*, 2024;43(4):66–80. (In Russian) [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-4\(43\)-66-80](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-4(43)-66-80). EDN: PNLOKS.
2. Sazonov P.M., Alekseev A.G. Features of foundation design in various geocryological conditions of Russia. *Foundations*, 2024, no. 4(18), pp. 34–37. (In Russian). EDN: AAUTUW.
3. SP 25.13330.2020. Soil bases and foundations on permafrost soils. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/573659326>. (In Russian).
4. Guide to Designing Foundations and Bases on Permafrost Soils. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1980. (In Russian).
5. SP 496.1325800.2020. Soil bases and foundations of buildings and constructions on permafrost soils. Rules for production of works. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/603253371>. (In Russian).
6. Russian Federation Patent No. 2701398. Popsuenko I.K., Alekseev A.G. Foundation of a building, structure. RU 2701398 C1. 2018. (In Russian).
7. GOST 25100-2020. Soils. Classification. 2020. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200174302>. (In Russian).
8. Sozonov P.S., Pinus B.I. Impact of loading speed on structural properties of concrete. *Bulletin of Irkutsk State University*, 2015;101(6):117–120. Available at: https://journals.istu.edu/vestnik_irtgu/journals/2015/06/articles/20. (In Russian).
9. Bazhenov Yu.M. Concrete under dynamic loading. Moscow: Stroyizdat; 1970. (In Russian).
10. Klepikov S.N. Calculation of structures on elastic foundation. Kyiv: Budivelnik; 1967. (In Russian).
11. SP 22.13330.2016. Soil bases of buildings and structures. 2016. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/456054206>. (In Russian).
12. Ter-Martirosyan Z.G., Ter-Martirosyan A.Z., Sidorov V.V. Methods for performing geotechnical finite element calculations using PLAXIS 2D software: guidelines for practical work in the discipline «Numerical Modeling in Soil Mechanics». Moscow: NIU MGSU; 2015. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Павел Михайлович Сазонов*, заведующий лабораторией геокриологических и геотехнических исследований (№ 8), НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: sazonov-pm@yandex.ru

Pavel M. Sazonov*, Head of the Laboratory of Geocryological and Geotechnical Research (No. 8), Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: sazonov-pm@yandex.ru

Иван Константинович Попсуенко, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории новых видов свайных фундаментов (№ 38), НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва, кандидат технических наук
e-mail: popsuenko@list.ru

Ivan K. Popsuenko, Cand. Sci. (Engineering), Leading Researcher at the Laboratory of New Types of Pile Foundations (No. 38), Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: popsuenko@list.ru

Анна Андреевна Щербакова, инженер сектора проектирования и геокриологических исследований лаборатории геокриологических и геотехнических исследований (№ 8), НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство»; аспирант, АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: shcherbakovaannaandreevna@gmail.com

Анна А. Shcherbakova, Engineer of the Design and Geocryological Research Sector of the Laboratory of Geocryological and Geotechnical Research (No. 8), Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction; Graduate Student, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: shcherbakovaannaandreevna@gmail.com

Илья Александрович Дымченко, инженер сектора проектирования и геокриологических исследований лаборатории геокриологических и геотехнических исследований (№ 8), НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство»; аспирант, АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: 89212002055i@gmail.com

Ilya A. Dumchenko, Engineer of the Design and Geocryological Research Sector of the Laboratory of Geocryological and Geotechnical Research (No. 8), Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction; Graduate Student, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: 89212002055i@gmail.com

Сафронов Евгений Викторович, научный сотрудник кафедры геокриологии Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, соискатель степени кандидата геолого-минералогических наук, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва
e-mail: evgenii567@yandex.ru

Safronov Evgeny V., researcher of the Department of Geocryology of the Geological Faculty of Moscow State University. M.V. Lomonosov, applicant for the degree of Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Moscow State University. M.V. Lomonosova, Moscow
e-mail: evgenii567@yandex.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author