

О.В. Третьякова

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

ПОВРЕЖДЕНИЯ МОСТОВ ОТ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ ГРУНТА И МЕТОДЫ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

Статья посвящена актуальной проблеме нарушения эксплуатационной пригодности сооружений от воздействий окружающей природной среды. Значительные территории России и зарубежных стран подвержены сезонному промерзанию и морозному пучению грунтов. Этот опасный природный процесс приводит к возникновению силовых факторов, вызывающих деформации и разрушение конструкций. Особенно существенно это негативное влияние для легких протяженных сооружений. В исследовании затрагивается тема воздействия морозного пучения на элементы мостов. Несмотря на значимость проблемы, факты негативных проявлений этого воздействия в практике эксплуатации мостов не получили должного обобщения и изучения, не определены наиболее эффективные направления защиты. Целью исследования является поиск решений для предотвращения наступления аварийного состояния мостов в условиях морозного пучения грунта на основе анализа повреждений элементов сооружений, выявления наиболее характерных из них, определения факторов морозного пучения, вызывающих эти проблемные ситуации. В статье выполнен аннотированный обзор повреждений элементов мостов от влияния морозного пучения грунта в российской и зарубежной практике. Проведенный анализ показал, что наиболее характерными являются подъем и деформации опор, нарушение целостности пролетных строений. Показано, что причинами являются природные свойства грунтов и нарушение влажностного режима. Данное исследование дополнено также рассмотрением мероприятий, предотвращающих указанные виды повреждений, определением и обоснованием наиболее эффективных мер, основанных на модернизации конструкций опор. Работа носит практический характер и может послужить основой для теоретических и экспериментальных исследований, обеспечивающих безопасную эксплуатацию мостовых сооружений в районах с суровым климатом.

Ключевые слова: мост, опора моста, свая, пролетное строение, повреждение, деформация, морозное пучение грунта.

O.V. Tret'iakova

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

DAMAGE TO BRIDGES FROM FROST HEAVING AND METHODS FOR ITS PREVENTION

The article is devoted to the current problem of the failure in the operational stability of structures from environmental influences. Significant territories of Russia and foreign countries are subject to seasonal freezing and frost heaving of soils. This dangerous natural process leads to the emergence of force factors that cause deformation and destruction of structures. This negative effect is especially significant for lightly loaded structures. The study addresses the effect of frost heaving on bridge elements. Despite the significance of the problem, the facts of the negative manifestations of this impact in the practice of operating bridges did not receive proper generalization and study. The most effective areas of protection are not identified. The aim of the study is to find solutions to prevent the emergency condition of bridges under frost heaving based on the analysis of damage to structural elements, identifying the most characteristic of them, determining the factors of frost heaving that cause these problem situations. In the article an annotated review of damage to bridge elements from the influence of frost heaving in the Russian and foreign practice is made. The analysis showed that the most characteristic are lifting and deformation of piers, deformation of spans. It is shown that the reasons are the natural properties of soils and disturbance of the moisture regime. This study is also complemented by a review of measures to prevent these types of damage, identification and justification of the most effective measures based on the modernization of structures. The work is practical in nature and can serve as the basis for theoretical and experimental studies that ensure the safe operation of bridge structures in the areas with harsh climate.

Keywords: bridge, pier, pile, bridge span, damage, deformation, frost heaving.

Введение

Негативному влиянию морозного пучения грунта подвержены сооружения и конструкции, расположенные вблизи земной поверхности. В первую очередь это легкие сооружения, не обладающие весом, достаточным для нейтрализации сил морозного пучения. Еще одной причиной, усугубляющей воздействие этого опасного природного процесса, является отсутствие теплового влияния сооружения на грунт, как, например, у отапливаемого здания. Особенно важным фактором служит увлажнение окружающего грунта, обусловленное условиями эксплуатации. Неравномерность сил морозного пучения наиболее ощутима для линейных протяженных сооружений, где элементы расположены на значительных расстояниях.

Весь этот комплекс особенностей работы в пучинистом промерзающем грунте в большой степени характерен для мостовых переходов. Поэтому исследование опыта работы конструкций мостов в таких условиях необходимо для обеспечения их безопасной эксплуатации. Задачи исследования следующие: обзор данных о повреждениях конструкций мостовых сооружений на территории Российской Федерации и зарубежных стран; анализ видов повреждений и выявление наиболее часто встречающихся и характерных; определение силовых факторов и особенностей процесса морозного пучения грунта, являющихся причинами различных видов повреждений; систематизация мероприятий по их предупреждению и определение эффективных мероприятий.

Морозное пучение грунтов наблюдается на значительной территории Российской Федерации, а также в США (Аляска), скандинавских странах, Канаде, Монголии, Китае и других странах. На всех территориях мосты являются неотъемлемой частью транспортной инфраструктуры. В Российской Федерации крупные транспортные линии, такие как Байкало-Амурская, Транссибирская магистраль и ряд других, преимущественно проходят по территориям с суровыми климатическими условиями. Иными словами, мостовые сооружения достаточно часто эксплуатируются в условиях опасного природного процесса морозного пучения грунтов. На основе исторического и современного опыта эксплуатации мостов в этих условиях можно отметить следующие основные виды повреждений их элементов:

- подъем опор мостов;
- горизонтальные перемещения и отклонения опор;
- деформации и разрушение опор;
- деформации пролетных строений.

1. Подъем опор мостов

Вертикальные перемещения свай от действия касательных сил морозного пучения грунта, характерные для опор легких сооружений [1], имеют место и в мостовых переходах. Такое повреждение, как подъем свайных опор мостов в условиях морозного пучения грунта, имеет широкое распространение.

В России, по данным Н.А. Цытовича и М.И. Сумгина, 42 деревянных моста на сваях были деформированы вследствие подъема свай силами морозного пучения. Сообщалось, что на втором году эксплуатации западной части Амурской железной дороги, линии которой в настоящее время входят в состав Забайкальской и Дальневосточной железных дорог, 30 % деревянных мостов требовали ремонта по причине повреждений морозным пучением. Подъем центральных свай мостов приводил к разрушению стыков конструкций моста [2]. М.Я. Чернышов отмечал масштабность этой проблемы [3].

За рубежом явление выпучивания опор мостов в зимнее время наблюдалось, в частности, на Аляске. Ежегодный подъем свай железнодорожного моста вблизи г. Фэрбанк составлял 11 футов. По этой причине верхние части свай каждое лето срезались, что приводило к уменьшению длины свай [4, 5]. На мосту вблизи Большой Дельты подъем свай моста составил 11 футов. На рис. 1 показаны фотографии подъема свай, геологический разрез и схема конструкций указанного моста. Свайные опоры мостов центральной Аляски вблизи горячих источников Мэнли-Хот-Спрингс, Национального парка Маунт Маккинли также испытывали ежегодный подъем от сил морозного пучения [4].

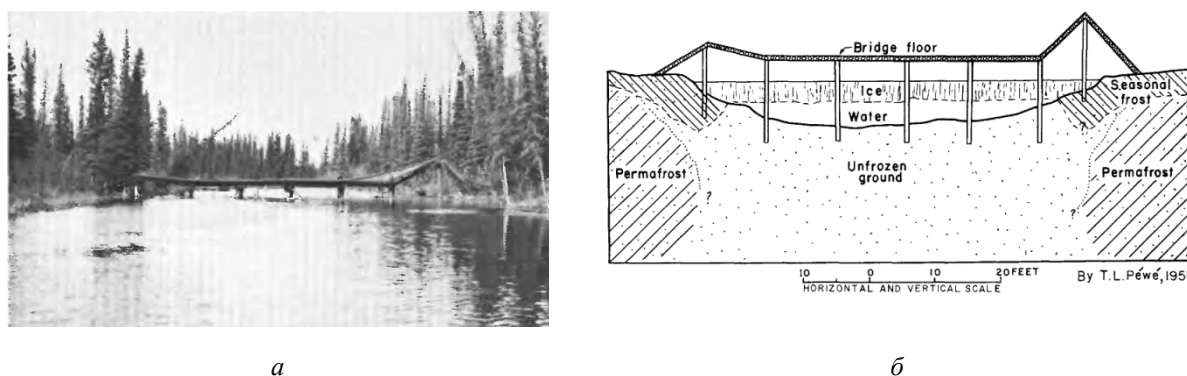


Рис. 1. Подъем сваи моста, расположенного в 8 милях к юго-востоку Большой Дельты, Аляска, силами морозного пучения грунта: *а* – фотография подъема сваи моста, Mark F. Meier, 15 августа, 1951 г.; *б* – геологический разрез и схема фундаментов моста в зимних условиях [4]

В 70–80-х гг. на территории России в Сибири и на Дальнем Востоке отмечались многочисленные случаи подъема свайных опор мостов силами морозного пучения грунта. Эти случаи касались свайно-эстакадных мостов (СЭМ), которые ранее уже заслужили популярность на железных и автомобильных дорогах в европейской части России. В частности, проблемные ситуации с такими мостами имели место на железной дороге Тюмень – Тобольск – Сургут. Сваи моста были железобетонными составными на «стаканных» стыках.

Негативный опыт повреждений СЭМ из-за выпучивания свай, накопленный в течение 10–15 лет, обусловил необходимость принятия проектно-конструкторских решений. Этими вопросами занимался коллектив лаборатории оснований и фундаментов Сибирского научно-исследовательского института транспортного строительства СибЦНИИСа. По результатам исследований были разработаны Методические рекомендации по предотвращению выпучивания свайных опор мостов, опубликованные и утвержденные ЦНИИС Минтрансстроя СССР. Рекомендации были одобрены для опытного использования. Свайная опора моста до ее переработки коллективом СибЦНИИСа и грунтовые условия эксплуатации моста, в которых был зафиксирован подъем свай, представлены на рис. 2.

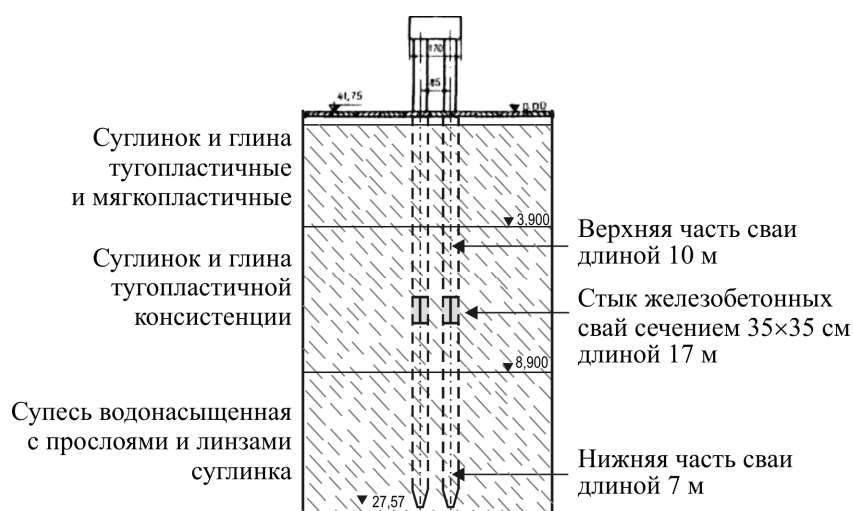


Рис. 2. Схема свайной опоры моста, испытывающей пучение, и грунтовые условия эксплуатации моста по рабочему чертежу Сибгипротранса со стыкованными железобетонными сваями (Методические рекомендации по предотвращению выпучивания свайных опор мостов)

2. Горизонтальные перемещения и отклонения опор мостов

Условия для смещения береговых свайных опор мостов под влиянием сил морозного пучения грунта формируются при расположении свай на склонах.

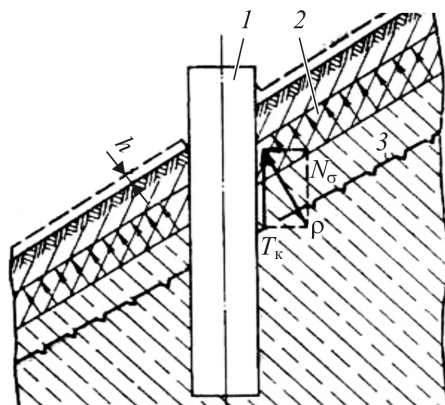


Рис. 3. Схема воздействия сил пучения на одиночный фундамент, установленный в грунте с наклонной поверхностью [6]: 1 – фундамент; 2 – слой сезонного промерзания; 3 – поверхность вечномёрзлого грунта

Такое воздействие пучинистого грунта обуславливается несимметричной схемой действующих сил, направления которых не совпадают с осями свай. При этом возникают дополнительные горизонтальные усилия, вызывающие смещение или отклонение конструкций от вертикальной оси. Расчетная схема такого воздействия, показанная В.О. Орловым в работе [6], приведена на рис. 3. Исследования фундаментных опор на участках с наклонной поверхностью грунта проводились в Забайкалье на мерзлотной станции в Сквородино. По результатам исследования отмечалось, что смещение происходит от влияния равнодействующей сил морозного пучения грунта, касательных и нормальных к поверхности конструкции. Эти силы оказывают давление на конструкцию опоры только с верхней части откосной поверхности. Такое одностороннее действие сил пучения приводит к горизонтальным перемещениям и отклонениям опор.

3. Деформации и разрушение опор мостов

Причиной деформаций и разрушения конструкций свайных опор мостов являются вертикальные и горизонтальные перемещения свай.

Случаи деформаций свайных опор по причине выпучивания свай имели место на свайно-эстакадных мостах железной дороги Тюмень – Сургут, по данным СибЦНИИСа, отраженным выше.

Приведем пример из истории зарубежного мостостроения. В работе [4] описывается разрушение деревянной свайной опоры моста на железной дороге в долине Голдстрим возле г. Фэрбанкс, Аляска. Крестовая связь опоры была разрушена в результате неравномерного поднятия свай силами морозного пучения грунта. Ежегодные вертикальные перемещения свай составляли 14 футов. На рис. 4 показан геологический разрез с расположением конструкций моста (рис. 4, а), представлена фотография разрушенной опоры (рис. 4, б).

Целостность конструкций опор мостов может быть нарушена под влиянием влаги, поступающей к элементам опоры, расположенным в зоне сезонного промерзания грунта. Это явление может наблюдаться у обсыпных устоев железнодорожных или автомобильных мостов при отсутствии или недостаточной работе дренажных устройств [7]. Влага, попадающая внутрь обсыпного устоя, при промерзании может вызвать увеличение объема засыпки. Увеличивающаяся в объеме засыпка, ограниченная стенками устоя, будет создавать нормальные силы морозного пучения. Эти силы, не учтенные при проектировании, становятся дополнительной нагрузкой

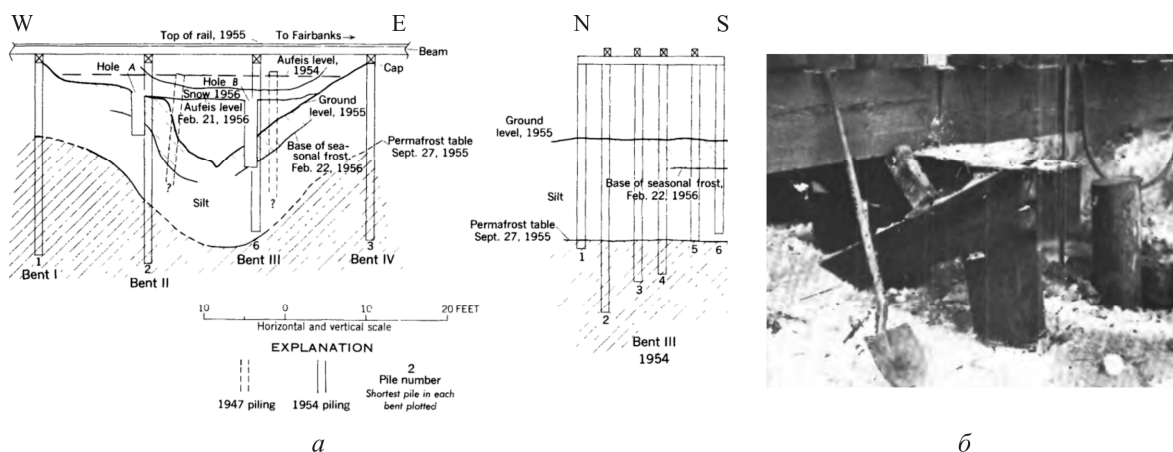


Рис. 4. Мост на железной дороге в долине Голдстрим возле г. Фэрбанкс, Аляска:
 а – схематический геологический разрез и схема фундаментов моста в зимних условиях [4, 5];
 б – фотография деформации свайной опоры, Т.Л. Rewe, 11 февраля, 1954 [4]

на стенку устоя, что приводит к его деформациям. Иными словами, расчетное боковое давление засыпки на стенку устоя может быть неоправданно увеличено за счет объемных сил морозного пучения грунта.

4. Деформации пролетных строений

Деформации элементов пролетных строений мостов неизбежны при повреждении опорных конструкций. Вертикальные и горизонтальные перемещения свайных опор, нарушение целостности опор в конечном итоге приводят к потере прочности и устойчивости балок, ферм и плит пролетной части мостов.

Морозное пучение грунта – сложный многофакторный природный процесс. Определяющее влияние на протекание этого процесса оказывают грунтовые условия, влажность грунта, закономерности фильтрации и миграции влаги [8–10]. В промерзающем и талом грунте вблизи опор мостовых сооружений развивается сложное напряженное состояние, которое обуславливается водно-тепловым режимом грунта, влагопроводными свойствами грунта, жесткостью конструкций и другими факторами. Это напряженно-деформированное состояние грунта характеризуется комплексом силовых факторов, вызывающих те или иные повреждения конструкций. Основные виды повреждений элементов мостов, эксплуатируемых в условиях морозного пучения грунта, и их причины отражены в таблице.

Виды и причины повреждений элементов мостов в условиях морозного пучения грунта

№ п/п	Вид повреждения	Причина повреждения
1	Подъем опор мостов (вертикальные перемещения)	Касательные силы морозного пучения
2	Горизонтальные перемещения и отклонения опор мостов	Одностороннее влияние равнодействующей касательных и нормальных сил морозного пучения
3	Деформации и разрушение опор мостов	Касательные силы морозного пучения → подъем свай опор Нарушение работы дренажных устройств → нормальные силы морозного пучения → дополнительная нагрузка на стенки обсыпных устоев мостов
4	Деформации пролетных строений	Виды повреждений опор мостов № 1, 2 и 3

5. Методы предотвращения повреждений элементов мостов от сил морозного пучения грунта

Транспортный комплекс, в том числе мостовые сооружения, играют важнейшую роль в производственной и социальной сферах жизни. Вместе с тем есть объективные условия и воздействия природной среды, которые затрудняют и в некоторых случаях останавливают работу такой важной составляющей транспортного комплекса, как мостовые переходы, по причине повреждений их элементов. На сегодняшний день в отдельных документах и научных публикациях разработаны и обсуждаются мероприятия по предотвращению этих повреждений. Мнения ученых и специалистов по поводу эффективности тех или иных мероприятий различны.

Автором предложена систематизация существующих методов защиты конструкций от морозного пучения грунта [11], где эти методы объединены в два основных направления: 1) снижение влияния морозного пучения грунта на конструкции; 2) соответствующий расчет конструкций, способных без разрушения воспринимать силы морозного пучения, что неизбежно приводит к увеличению материалоемкости. Очевидно, что второе направление недостаточно эффективно.

В рамках первого направления из общепринятых методов защиты элементов мостовых сооружений от сил морозного пучения грунта можно отметить: утепление грунта вокруг опор; замену пучинистого грунта непучинистым с применением засыпок из гравия [12], щебня [13], смесей с гидрофобными свойствами; использование полимерных обмазок, не смерзающихся с грунтом. Однако непучинистые засыпки подвергаются увлажнению в конструкции мостов и испытывают пучение вместе с окружающим грунтом в результате смерзания. Кроме того, часто эти методы не обладают долговечностью, сопоставимой со сроком службы сооружения. Поэтому больший интерес представляют способы нейтрализации негативного влияния морозного пучения грунта на элементы мостовых сооружений, которые основаны на повышении эффективности конструкций самого сооружения, без дополнительных элементов и мероприятий.

Над такими решениями работал коллектив лаборатории оснований и фундаментов СибЦНИИСа в рамках разработки мер для обеспечения нормальной эксплуатации свайно-эстакадных мостов, в частности на железной дороге Тюмень – Тобольск – Сургут. Специалисты СибЦНИИСа предложили ряд способов защиты свай от выпучивания. Один из них предполагает устройство анкерных уширений, как показано на рис. 5. В качестве основного разработан конструктивный способ предотвращения выпучивания свайных опор мостов, который заключается в устройстве ниже границы сезонного промерзания анкерной плиты, объединенной со сваями (рис. 6). Плита засыпается сверху местным грунтом с трамбовкой. Засыпка в этом случае будет промерзать. Развивающиеся в промерзающей засыпке объемные силы морозного пучения будут создавать нормальное давление на плиту. В обоих способах отмечается эффект «самоанкерирования» свай.

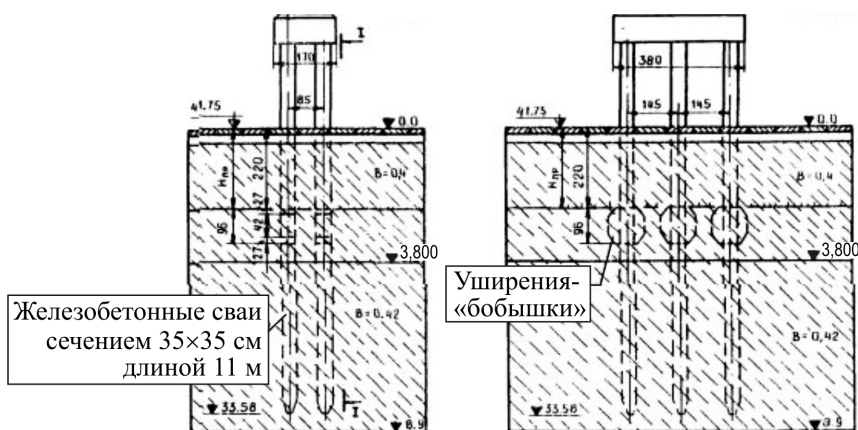


Рис. 5. Сваи с анкерными уширениями СибЦНИИСа (Методические рекомендации по предотвращению выпучивания свайных опор мостов)

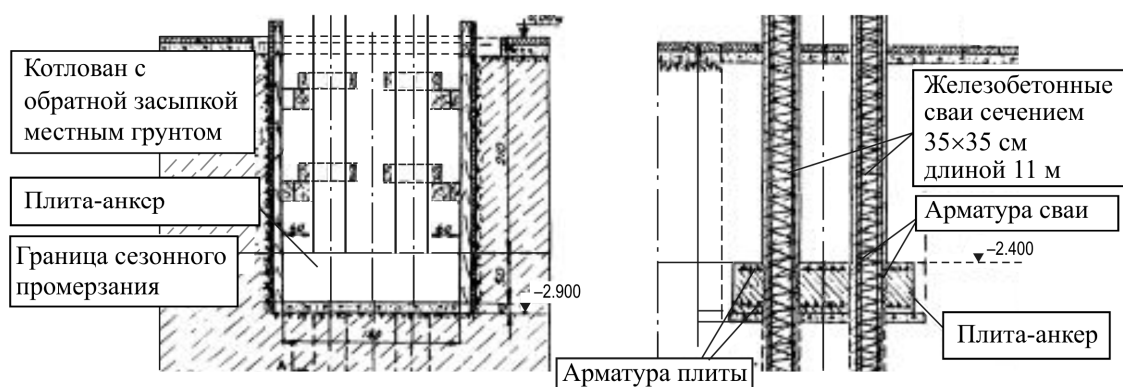


Рис. 6. Сваи с анкерной плитой СибЦНИИСа
(Методические рекомендации по предотвращению выпучивания свайных опор мостов)

Одним из способов снижения негативного влияния касательных сил морозного пучения на сваи мостовых переходов может служить разработанная автором свая с верхним обратным конусом [11, 14, 15]. Эффект применения сваи заключается в возникновении на наклонной поверхности конуса вертикальной составляющей нормальных сил морозного пучения грунта. Эта составляющая противодействует касательным силам морозного пучения и препятствует подъему сваи. В этом случае также создается эффект «самоанкеривания» сваи в пучинистом грунте. Еще одним позитивным фактором такого решения сваи является уменьшение площади поверхности конуса, расположенного в мерзлой зоне, по сравнению с площадью цилиндра. Это позволяет уменьшить интегральные касательные силы морозного пучения на поверхности сваи. Таким образом, устойчивость сваи против морозного выпучивания обеспечивается за счет ее конфигурации без дополнительных мер.

Заключение

На основании проведенного обзора можно отметить, что наиболее характерными повреждениями элементов мостовых переходов в условиях морозного пучения грунта являются перемещения свайных опор, деформации опор и пролетных конструкций.

Причинами повреждений служат как природные свойства грунтов, подверженных морозному пучению, так и изменение влажностного режима грунта вследствие нарушения работы дренажных устройств в процессе эксплуатации.

Эффективным направлением предотвращения повреждений конструкций мостовых переходов является группа методов, предполагающих разработку и использование конструкций опор, устойчивых против сил морозного пучения грунта, без дополнительных мер. Это позволит уменьшить затраты на проектирование, монтаж и эксплуатацию сооружений в условиях морозного пучения грунта. Кроме того, такие методы дадут возможность повысить долговечность мостов, эксплуатационная пригодность которых обеспечивается за счет собственных элементов, поскольку срок службы элемента сопоставим со сроком службы всего сооружения, чего часто нельзя сказать о таких дополнительных мероприятиях, как утепление, засыпки, обмазки.

В связи с распространенностью опасного природного процесса морозного пучения грунта проблема повреждений мостовых переходов в этих условиях имеет международный масштаб. Поэтому систематизация фактических данных о повреждениях элементов мостов, исследование причин повреждений, разработка эффективных методов их предотвращения имеют большое практическое значение.

Список литературы

1. Kibriya T., Tahir L. Adfreeze forces on Lightly Loaded Pile foundations of Solar PV Farms in Gold Regions // *American journal of Civil Engineering and Architecture*. – 2015. – Vol. 3, no. 4. – P. 109–117.
2. Цытович Н.А., Сумгин М.И. Основания механики мерзлых грунтов. Академия наук СССР. – М.; Л.: Изд-во Акад. наук СССР, 1937 (М.: «Образцовая» тип.). – 432 с.
3. Чернышев М.Я. Деформации деревянных мостов от пучин мерзлого грунта // *Железнодорожное дело*. – 1928. – № 1–2.
4. Frost Heaving of Piles With an Example from Fairbanks, Alaska. *Geological survey bulletin* 1111-I. 1963. – 75 с.
5. Arctic and subarctic construction foundations of structure. TM 5-852-4 AFM 88–19, Chapter 4. Departments of the Army and the Air Force. Washington DC. October 1983. P. 31.
6. Орлов В.О., Дубнов Ю.Д., Меренков Н.Д. Пучение промерзающих грунтов и его влияние на фундаменты сооружений. – Л.: Стройиздат; Ленингр. отд-ние, 1977. – 184 с.
7. Исследование конструкций опор мостов / под ред. Э.А. Балючика // *Труды ВНИИ транспортного строительства*. – М.: Транспорт, 1985. – 78 с.
8. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. – М.: Высшая школа, 1973. – 636 с.
9. Невзоров А.Л. Фундаменты на сезоннопромерзающих грунтах. – М.: Изд-во АСВ, 2000. – 152 с.
10. Dai H.M., Wang X.L. Frost heave susceptibility of highway bridge foundation in seasonal frost region // *Cold Regions Science and Technology*. – 1992. – No 20 (2). – P. 141–146.
11. Третьякова О.В. Влияние сурового климата на транспортные сооружения и методы их защиты // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика*. – 2018. – № 3. – С. 95–107.
12. Lund M.S.M., Hansen K.K., Andersen I.B. Frost susceptibility of sub-base gravel used in Pearl-Chain Bridges: an experimental investigation // *International Journal of Pavement Engineering*. – 2018. – No 19 (11). – P. 986–998.
13. Experimental Research on the Stability of Embankment-bridge Transition Section of High-speed Railway in Seasonal Frozen Regions / Y.-P. Shen, Z.-H. Da, Z.-R. Yue, Y.-H. Tian // *Journal of Railway Engineering Society*. – 2018. – No 35 (1). – P. 17–22.
14. Tretyakova O.V., Yushkov B.S. Inverted-cone piles intended for transport construction in seasonally freezing soils // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. – 2017. – Vol. 54, no 3. – P. 173–176.
15. Третьякова О.В. Моделирование работы свай транспортных тоннелей в условиях морозного пучения грунта // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. – 2019. – № 3. – С. 72–82.

References

1. Kibriya, T. Adfreeze forces on Lightly Loaded Pile foundations of Solar PV Farms in Gold Regions / T. Kibriya, L. Tahir // *American journal of Civil Engineering and Architecture*. 2015. Vol. 3, no. 4. pp. 109–117.
2. Tsytoovich, N. A., Sumgin, M.I. Osnovaniia mekhaniki merzlykh gruntov [Fundamentals of mechanics of frozen soils]. Moskva, Leningrad: *Izd-vo Akad. nauk SSSR*, 1937, 432 p.
3. Chernyshev, M. Ia. Deformatsii dereviannykh mostov ot puchin merzlogo grunta [Deformation of wooden bridges from heaving of frozen soil] *Zheleznodorozhnoe delo*, 1928, no. 1-2.
4. Frost Heaving of Piles With an Example from Fairbanks, Alaska. *Geological survey bulletin* 1111-I. 1963, 75 p.
5. Arctic and subarctic construction foundations of structure. TM 5-852-4 AFM 88–19, Chapter 4. Departments of the Army and the Air Force. Washington DC. October 1983. P. 31.
6. Orlov, V. O., Dubnov, Iu. D., Merenkov, N.D. Puchenie promerzaiushchikh gruntov i ego vliianie na fundamenty sooruzhenii [Heaving of freezing soil and it influence to the structures foundations]. Leningrad: *Stroiizdat*, 1977, 184 p.
7. Issledovanie konstruksii opor mostov [The study designs of bridge piers] (pod redaktsiei E.A. Baliuchika). *Trudy Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta transportnogo stroitel'stva*. Moskva: «Transport», 1985, 78 p.
8. Tsytoovich, N.A. Mekhanika merzlykh gruntov [The mechanics of frozen soil]. Moskva: *Vysshaia shkola*, 1973, 636 p.

9. Nevzorov, A.L. Fundamenty na sezonopromerzaiushchikh gruntakh [Foundations on seasonally freezing soils]. Moskva: *ASV*, 2000, 152 p.
10. Dai, H.M., Wang, X.L. Frost heave susceptibility of highway bridge foundation in seasonal frost region // *Cold Regions Science and Technology*. 1992. no 20 (2), pp. 141-146.
11. Tret'iakova, O.V. Vliianie surovogo klimata na transportnye sooruzheniia i metody ikh zashchity [Effect of inclement climate to transport structure and its protection measures] *Prikladnaia ekologiia. Urbanistika*, 2018, no 3, pp. 95-107.
12. Lund, M.S.M., Hansen, K.K., Andersen, I.B. Frost susceptibility of sub-base gravel used in Pearl-Chain Bridges: an experimental investigation // *International Journal of Pavement Engineering*. 2018. No. 19 (11). pp. 986-998.
13. Shen, Y.-P., Da, Z.-H., Yue, Z.-R., Tian, Y.-H. Experimental Research on the Stability of Embankment-bridge Transition Section of High-speed Railway in Seasonal Frozen Regions // *Journal of Railway Engineering Society*. 2018. no. 35 (1). pp. 17-22.
14. Tretyakova, O. V., Yushkov, B.S. Inverted-cone piles intended for transport construction in seasonally freezing soils. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2017. Vol. 54, no. 3. Pp. 173-176.
15. Tretyakova, O. V., Modelirovanie raboty svai transportnykh tonnelei v usloviakh moroznogo pucheniiia grunta [Simulation piles behavior of transport tunnel in heaving soils] *Transport. Transportnye sooruzheniia. Ekologiya*, 2019, no. 3, pp. 72-82.

Получено 24.04.20

Об авторе

Третьякова Ольга Викторовна (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 19а, e-mail: Olga_wsw@mail.ru. SPIN-код: 8675-3740).

About the author

Ol'ga V. Tret'iakova (Perm, Russian Federation) – Senior Lecturer, Department of Motorways and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (19a, Academician Korolev st., Perm, 614013, Russian Federation, e-mail: Olga_wsw@mail.ru).