

УДК 624.139.262+624.139.264 DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-187-199

*В.В. ФУРСОВ, Г.И. ТАЮКИН, М.В. БАЛЮРА,
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

ДЕФОРМАЦИИ СООРУЖЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА В УСЛОВИЯХ ГЛУБОКОГО СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТОВ

Приведен анализ деформаций сооружений при строительстве объектов нефтехимического комбината (базы стройиндустрии, канализационно-очистных сооружений и др.) под воздействием сезонного промерзания и оттаивания глинистых грунтов оснований. Установлены закономерности возникновения и развития деформаций в период строительства при однократном промерзании-оттаивании и при многолетних циклах в зависимости от глубины заложения фундаментов в слой сезоннопромерзающего грунта, давления на основания и других факторов. Показано, что значения осадки при оттаивании промерзших грунтов основания значительно превосходят их выпучивание при промерзании. Разработаны рекомендации по уменьшению и предотвращению недопустимых деформаций, восстановлению и усилению конструкций. Показаны преимущества свайных фундаментов по сравнению с фундаментами на естественном основании в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов.

Ключевые слова: нефтехимический комбинат; сооружения; фундамент; обследование; деформации; грунты; морозное пучение; осадки при оттаивании; глубина промерзания; восстановление и усиление конструкций.

Для цитирования: Фурсов В.В., Таюкин Г.И., Балюра М.В. Деформации сооружений при строительстве объектов нефтехимического комбината в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 187–199. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-187-199

*V.V. FURSOV, G.I. TAYUKIN, M.V. BALYURA,
Tomsk State University of Architecture and Building*

STRUCTURAL DEFORMATION OF FUEL AND CHEMICAL REFINER OBJECTS IN SEASONAL SOIL FREEZING

The paper presents the analysis of deformation caused by seasonal freezing and thawing of clay foundation soils during the construction of construction industry bases, waste treatment facilities and others, etc. The deformation generation and development during a single freezing-thawing cycle and long-term cycles are discussed depending on the foundation depth of seasonally freezing soil, foundation pressure and other factors. It is shown that soil setting during thawing of the frozen soil significantly exceeds its bulging during freezing. Recommendations are given on the reduction and prevention of inadmissible deformations, and structural restoration and reinforcement. The advantages of pile foundations are shown against the natural foundations in seasonal soil freezing conditions.

Keywords: fuel and chemical refiner; buildings; foundation; examination; deformation; soil; frost heaving; freezing depth; structural restoration and reinforcement.

For citation: Fursov V.V., Tayukin G.I., Balyura M.V. Deformatsii sooruzhenii pri stroitel'stve ob'ektov neftekhimicheskogo kombinata v usloviyakh glubokogo se-

zonnogo promerzaniya gruntov [Structural deformation of fuel and chemical refiner objects in seasonal earth freezing]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 187–199.
DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-187-199

Сложность условий строительства в Западной Сибири с глубоким сезонным промерзанием морозоопасных грунтов нередко приводит к деформациям зданий и сооружений [1–4]. В Томской области, где нормативная глубина промерзания широко распространенных пылеватых суглинков составляет 2,2 м, ежегодно имеют место деформации сооружений в результате промерзания и последующего оттаивания оснований. Большая их часть происходит в период строительства, когда фундаменты, заложенные с учетом теплового режима зданий, оказываются в зоне промерзания. Актуальность вопросов, связанных с изучением взаимодействия фундаментов с пучинистыми грунтами оснований, и разработка методов исследования этого взаимодействия обуславливают необходимость анализа характерных деформаций сооружений с целью выявления особенностей и основных закономерностей этих явлений.

Деформации зданий и сооружений с фундаментами на естественном основании наблюдались при строительстве объектов Томского нефтехимического комбината (ТНХК), на площадках канализационно-очистных сооружений (КОС) и базы стройиндустрии (БСИ).

Грунты площадки представлены аллювиальными суглинками третьей надпойменной террасы р. Томи и Томь-Яйского водораздела с консистенцией от тугопластичной и мягкопластичной до текучей.

Суглинки пылеватые интенсивно карбонатизированные, легкая фракция на 70–95 % состоит из кварца и полевых шпатов, в коллоидно-дисперсной фракции преобладает каолинит.

Верхняя часть геологического разреза представлена суглинками полутвердыми и тугопластичными толщиной слоя 1,2–1,5 м, они подстилаются суглинками с консистенцией от мягкопластичной до текучей. На глубине более 2 м встречаются пылеватые суглинки и супеси пластичной и текучей консистенции. Влажность грунтов увеличивается с глубиной по мере приближения к уровню подземных вод.

Уровень подземных вод залегает на глубине от 4 до 10 м, а на некоторых участках – на глубине 1,5–3,0 м.

В целом грунты площадки ТНХК представлены водонасыщенными, слабыми суглинками, сильнопучинистыми при промерзании.

Осредненные характеристики физико-механических свойств грунтов даны в табл. 1.

Характерным примером деформаций сооружений в период строительства в результате сезонного промерзания-оттаивания морозоопасных грунтов могут служить некоторые объекты КОС ТНХК.

Здание решеток (рис. 1) на площадке очистных сооружений получило аварийные деформации и было разобрано, а впоследствии восстановлено с усилением конструкций.

Таблица 1

Физико-механические свойства грунтов

Глубина	Грунт	Характеристики физико-механических свойств грунтов												
		ρ_s	ρ	ρ_d	e	S_r	w	w_L	w_P	I_P	I_L	E	c	ϕ
		г/см ³					в %					МПа		
0,0–1,5	Суглинок	2,71	1,90–1,93	1,57	0,73	0,8	21–23	28	18	10	0,3–0,5	8,0	0,02	14
1,5–2,2	Суглинок	2,71	1,93–1,98	1,55	0,76	0,9–1,0	23–28	28	18	10	0,5–1,0	4,0	0,01	13–9
2,2–6,0	Суглинок	2,70	1,89–1,95	1,55	0,75	0,9–1,0	22–26	26	17	8	0,6–1,0	3,0–5,0	0,01–0,02	18–9
2,0–9,0	Супесь	2,68	2,00–2,10	1,67	0,60	0,9–1,0	20–26	23	17	6	0,6–1,0	4,0	0,01	19–11

Гранулометрический состав грунтов приведен в табл. 2.

Таблица 2

Гранулометрический состав грунтов

Глубина залегания, м	Наименование грунтов, показатель текучести	Состав фракций, %		
		Песчаная 2,000–0,050 мм	Пылеватая 0,050–0,005 мм	Глинистая < 0,005 мм
0,0–2,2	Суглинок пылеватый $I_L = 0,3–1,0$	40–15	50–70	10–15
2,2–6,0	Суглинок пылеватый $I_L = 0,6–1,0$	63–26	24–63	13–11
2,0–9,0	Супесь $I_L = 0,6–1,0$	71–58	22–33	7–9

Оно имеет размеры в плане 30×12 м. Относительная отметка верха четырехэтажной части здания в осях «1–2» составляет +13.100 м, а одноэтажной в осях «2–6» составляет +9.100 м, при планировочной отметке: –0.150 м. В осях «2–3» расположен технологический приямок с отметкой пола –4.400 м. Стены кирпичные, фундаменты свайные. Сборные железобетонные фундаментные

балки опираются одной стороной на ростверк, другой – на стены приямка, который устроен на естественном основании. Такое проектное решение является грубой ошибкой, которое приводит к неравномерным деформациям конструкций, т. к. осадки свайных фундаментов значительно меньше осадок фундаментов на естественном основании.

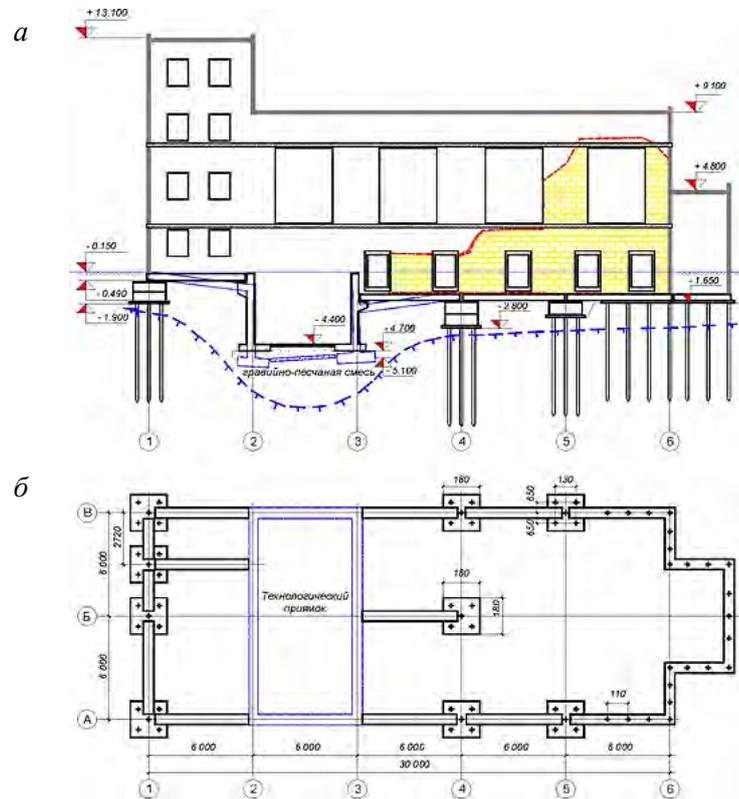


Рис. 1. Здание решеток на площадке КОС:
а – разрез; б – план фундаментов

Строительство велось в осенне-зимний период. Основание было заморожено, по нему выполнена уплотненная отсыпка из гравия, по которой устроена железобетонная фундаментная плита в технологическом приямке. До весны деформаций конструкций выявлено не было. Развитие трещин в стенах стало наблюдаться в мае при оттаивании грунтов и осадках основания приямка. Наибольшего раскрытия трещины в стенах достигали в июне, развиваясь особенно интенсивно в месте сопряжения четырехэтажной части здания с одноэтажной, на оседающей стене приямка. Осадка приямка составляла до 25 см, что привело здание в аварийное состояние с угрозой обрушения стен. Большая часть конструкций выше отметки $\pm 0,000$ м была демонтирована, фундаменты усилены, и монолитные железобетонные фундаментные балки стали опираться на дополнительно забитые сваи. Восстановление и усиление здания представлено на рис. 2.

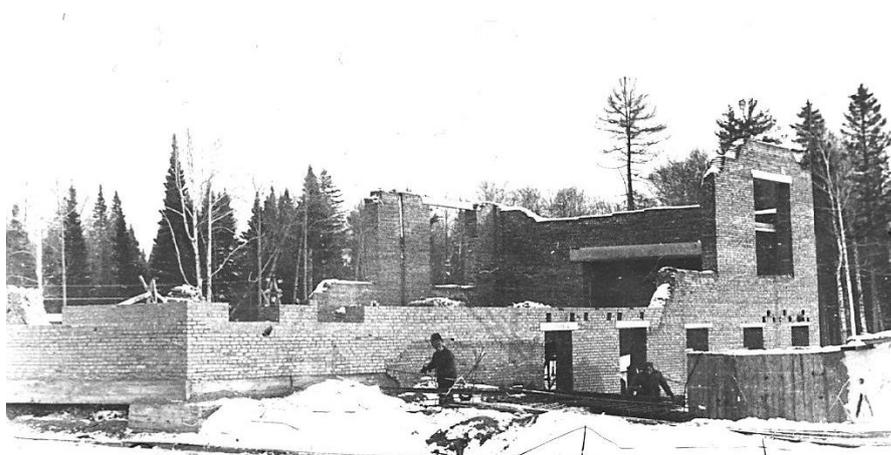


Рис. 2. Восстановление здания решеток после его частичной разборки

Здание было усилено железобетонными поясами и стальными колоннами, кладка стен была выполнена заново. Для предотвращения промерзания грунта в период строительства в приямок был сделан тепловой контур. Деформаций здания в процессе его дальнейшей эксплуатации не наблюдалось.

Вид здания решеток после восстановления и усиления конструкций представлен на рис. 3.

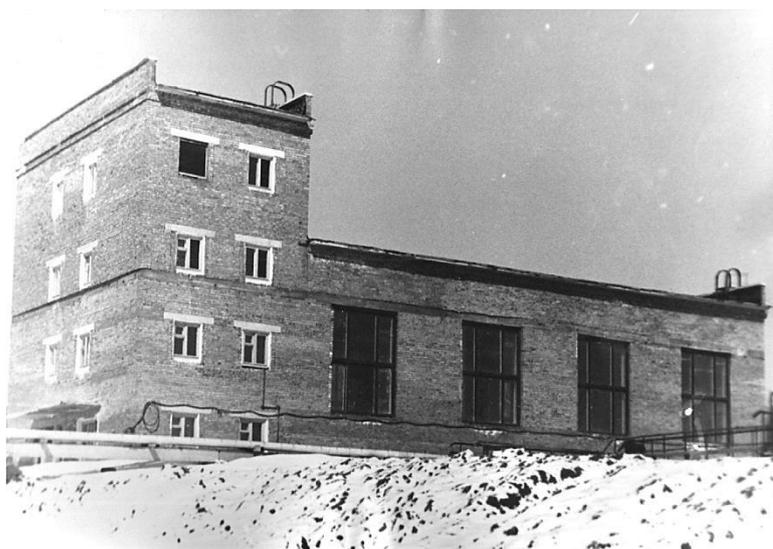


Рис. 3. Здание решеток после восстановления и усиления конструкций

Примером воздействия сезонного промерзания-оттаивания на здание с фундаментами на естественном основании, имеющими различное заглубление, может служить водонасосная станция второго подъема на той же площадке. Разрез и план водонасосной станции представлен на рис. 4.

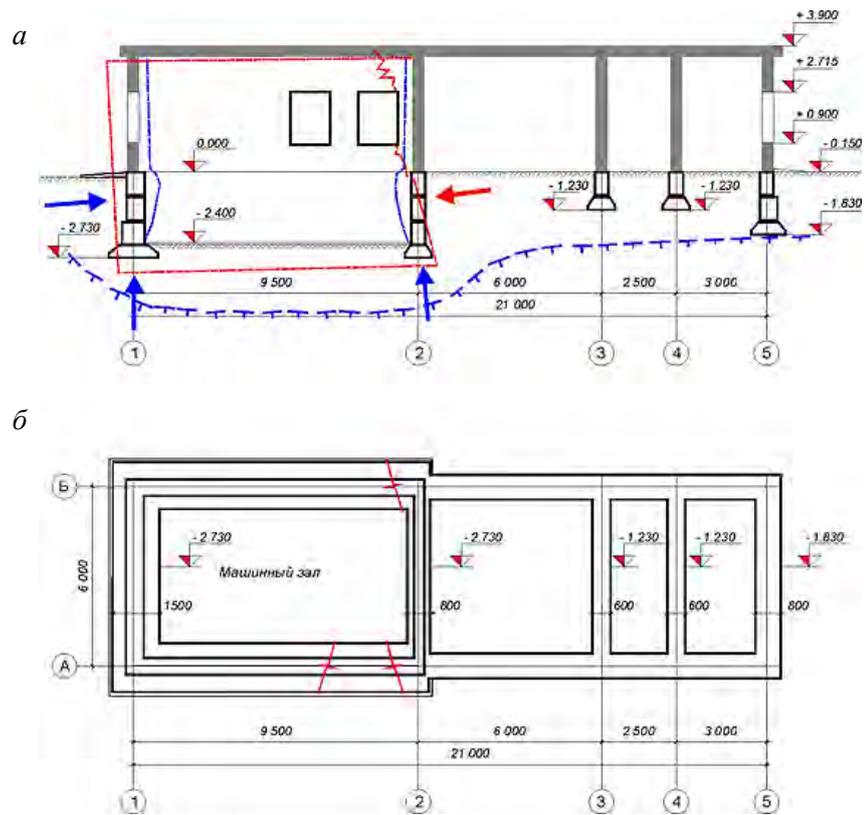


Рис. 4. Водонасосная станция на площадке КОС:
а – разрез; б – план фундаментов

Одноэтажный кирпичный корпус имеет размеры в плане 21×6 м и отметкой верха $+3.900$ м. Фундаменты сборные железобетонные на естественном основании с отметками подошвы -2.730 ; -1.830 ; -1.290 м. В осях «1–2» расположен приямок машинного зала размерами в плане $(6,5 \times 9,5)$ м, с отметкой пола $-2,400$ м. Глубина заложения фундаментов в машинном зале от планировочной отметки (-0.150 м) составляет $2,850$ м, а от пола в приямке $-0,330$ м.

Строительство осуществлялось одновременно со зданием решеток. В зимний период основание было заморожено, и при оттаивании грунтов в мае – июне появились трещины через оконные и дверные проемы (рис. 4).

В месте сопряжения приямка с бесподвальной частью здания ширина раскрытия трещин в верхних рядах кладки составляла $5\text{--}7$ см. Часть здания с фундаментами, заглубленными на -1.290 и -1.830 м, не была деформирована, хотя фундаменты в период строительства находились в слое сезонного промерзания, что свидетельствует о существенном влиянии величины заглубления фундаментов в слое промерзания на уменьшение их деформаций.

На территории БСИ в аналогичных условиях были деформированы пропарочные камеры завода керамзитобетонных панелей, опоры складов инертных материалов и другие объекты строительства.

Высота железобетонных стен камер составляет 3,3 м; длина – 120,0 м. Глинистое основание под южной частью камер, выходящих торцом к складу готовой продукции, было заморожено. По его поверхности выполнена отсыпка гравием с последующим уплотнением и выравниванием.

По поверхности гравийной подготовки устроена железобетонная плита фундамента пропарочной камеры. При оттаивании в мае – июне основание южной части камер получило осадку более 50 см и возник выгиб конструкции.

По всей длине стенки через 3–5 м наблюдалось раскрытие трещин до 3–4 см (рис. 5). При реконструкции камер просевший край наращивался до проектных отметок дополнительным бетонированием, а трещины по длине камер замоноличивались. На рис. 6 показано наращивание стен пропарочной камеры завода керамзитобетонных панелей на БСИ.

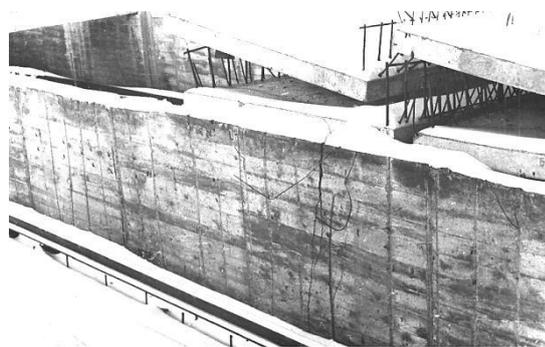


Рис. 5. Раскрытие трещин в стенке пропарочной камеры завода керамзитобетонных панелей БСИ ТНХК



Рис. 6. Наращивание стенки пропарочной камеры завода керамзитобетонных панелей

После реконструкции здание не было введено в эксплуатацию и не отапливалось. В стенах приемных устройств камеры возникли деформации от воздействия морозного пучения грунтов в основании и за стенкой.

В качестве противопучинных мероприятий широко применяются засыпки и подсыпки из непучинистых материалов, таких как песок, гравийно-песчаная смесь, гравий и др. Вместе с тем следует учитывать, что такие материалы обладают значительно большей теплопроводностью и глубина их промерзания приблизительно на 25–40 % больше, чем местных глинистых грунтов: суглинков и супесей. На рис. 7 показано разрушение опор склада инертных материалов завода железобетонных конструкций на БСИ ТНХК.



Рис. 7. Разрушение опор складов инертных материалов завода железобетонных конструкций БСИ ТНХК

Причиной возникновения деформаций сооружения стало использование гравийно-песчаной смеси (ГПС) в качестве противопучинного мероприятия для обратной засыпки пазух фундаментов.

В них скапливались талые воды и дождевые осадки, обводняющие залегающие ниже суглинки и повышающие их влажность и морозоопасность. При этом глубина промерзания пучинистых суглинков благодаря высокой теплопроводности засыпки ГПС увеличивалась, что приводило к деформациям конструкций складов инертных материалов. В качестве материалов для обратной засыпки пазух фундаментов рекомендуется использовать местные глинистые грунты, золошлаковые отходы тепловых электростанций, а для уменьшения воздействия морозного пучения – современные эффективные материалы [5]. В дальнейшем склады, имеющие аварийные деформации, были демонтированы. На рис. 8 показан демонтаж одного из складов инертных материалов завода железобетонных конструкций на БСИ.

Проведенные исследования позволили установить некоторые закономерности деформаций оснований при сезонном промерзании и последующем оттаивании грунтов, а также разработать конкретные рекомендации по повышению надежности фундаментов при строительстве сооружений ТНХК. Было установлено, что осадки фундаментов зданий и сооружений при оттаивании

промороженных оснований значительно превосходили их выпучивание при промерзании [6–10].



Рис. 8. Демонтаж деформированного склада инертных материалов

Процесс промерзания-оттаивания, сопровождающийся текстурно-структурными преобразованиями пылевато-глинистых грунтов, приводит к изменению их физико-механических свойств по сравнению с исходными до промерзания.

В период оттаивания наблюдается уменьшение значений прочностных характеристик, увеличение сжимаемости и ускорение консолидации осадок вследствие повышения фильтрационной способности грунтов, а также изменения водостойкости грунтовых агрегатов [11–14].

По результатам проведенного анализа отказов несущей способности конструкций зданий и сооружений установлено, что их причины обусловлены в большинстве случаев ошибками при проектировании, связанными с недостаточным учётом влияния процессов сезонного промерзания и последующего оттаивания грунтов на совместные деформации оснований сооружений, нарушением технологии производства работ и в меньшей степени зависят от качества конструктивных элементов и пр.

Во избежание возникновения деформаций сооружений строившихся заводов на ТНХК было принято согласованное решение отказаться от фундаментов на естественном основании, а строительство вести на свайных фундаментах. Основные сооружения, построенные на свайных фундаментах, не имели деформаций, связанных с сезонным промерзанием и морозным пучением грунтов, ни в период строительства, ни в период дальнейшей эксплуатации.

Здания, передающие большие нагрузки на глинистые грунты при промерзании, как правило, не имели заметных деформаций выпучивания, но деформировались при последующем оттаивании грунтов и значительном ухудшении физико-механических свойств грунтов основания.

Одноэтажные здания и сооружения с небольшими нагрузками на фундаменты с глубиной заложения 0,5–0,8 м имели серьёзные повреждения.

С увеличением глубины заложения фундаментов до 1,5 м в ряде случаев здания не получили заметных деформаций, что подтверждает возможность в некоторых случаях применения мелкозаглубленных фундаментов в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов.

Для уменьшения воздействия морозного пучения грунтов на фундаменты необходимо использовать эффективные противопучинные мероприятия в зависимости от инженерно-геологических условий и степени морозной пучинистости грунтов.

Здания, деформированные морозным пучением, в ряде случаев удавалось восстановить при создании условий для равномерного медленного оттаивания промороженных грунтов оснований [15–17]. При быстром и неравномерном оттаивании грунтов деформации носят характер просадок, а в некоторых случаях сопровождаются потерей несущей способности оснований. Если фундаменты были установлены на промороженном основании, а весной грунты дополнительно замачивались, то осадки при оттаивании оснований, как правило, приводили к большим деформациям и нарушению эксплуатационной пригодности зданий.

Неправильное применение гравийных материалов для обратной засыпки пазух фундаментов и для инженерной подготовки территорий приводит к повышению морозоопасности грунтов, вследствие аккумуляции талых вод и дождевых стоков, обводняющих залегающие ниже суглинки, повышающие их влажность и морозоопасность. Глубина промерзания через гравийные грунты увеличивается благодаря их высокой теплопроводности. В качестве материалов для обратной засыпки пазух фундаментов рекомендуется использовать местные глинистые грунты, золошлаковые отходы тепловых электростанций, обладающие хорошей уплотняемостью и пониженной теплопроводностью. Глубина промерзания уплотненной золы и золошлака на 25–30 % меньше, чем у местных суглинков и супесей, а прочностные и деформационные характеристики близки к пескам [5].

Анализ деформаций сооружений показывает, что на пучинистых грунтах наибольшие деформации имеют здания с минимальным заглублением фундаментов, малонагруженные в период промерзания и загруженные в период оттаивания грунтов, при этом существенное значение имеет способность здания воспринимать неравномерные, знакопеременные деформации оснований. В результате многократного циклического сезонного промерзания-оттаивания грунтов под фундаментами сооружений развиваются деформации, которые носят характер дополнительных осадков. Суммарное их значение складывается из дополнительных осадков за каждый цикл промерзания-оттаивания.

Применяемые технологии производства работ по восстановлению поврежденных зданий и сооружений рекомендуется выполнять, не допуская повторного промерзания грунтов основания, использовать свайные фундаменты с противопучинным покрытием либо обработкой грунтов на контакте с боковой поверхностью свай [15–17]. Такие технологии и противопучинные мероприятия позволяют значительно сократить затраты на фундаменты и повысить их надежность и устойчивость под воздействием сил и деформаций морозного пучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Таякин Г.И., Фурсов В.В., Балюра М.В.* Воздействие сезонного промерзания грунтов на фундаменты строящихся объектов (терминал хранения сжиженных углеводородов) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 186–198.
2. *Плевков В.С., Фурсов В.В., Балюра М.В., Балдин И.В., Уткин Д.Г.* Особенности оценки технического состояния строительных конструкций зданий на свайных фундаментах после длительного перерыва в строительстве в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 2 (16). С. 64–78.
3. *Савельев В.С., Белоцерковская Г.В.* Причины деформаций нефтегазопромысловых сооружений на севере Западной Сибири // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1987. № 5. С. 12–14.
4. *Мальшиев М.А., Фурсов В.В., Балюра М.В., Рождественская Л.И.* Основания и фундаменты в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1992. 280 с.
5. *Фурсов В.В., Балюра М.В.* Исследование морозоустойчивости золошлаковых отходов тепловых электростанций для целей строительства // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 1. С. 242–252.
6. *Фурсов В.В.* Вертикальные перемещения малозаглубленных фундаментов при многолетнем сезонном промерзании и оттаивании пучинистых грунтов // Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции : сб. тр. научно-технической конференции. Санкт-Петербург : СПб гос. архит.-строит. ун-т, 2010. С. 333–337.
7. *Malyshev M.A., Fursov V.V., Balyura M.V.* Investigation of the deformation of clayey soils resulting from frost heaving and thawing in foundations due to loading // IV International Conference on Permafrost. National Academy Press. USA, Washington, 1984. P. 259–263.
8. *Orlov V.O., Fursov V.V.* Foundation settlements on season freezing soils // V International Conference on Permafrost. Trondheim, Norway, 1988. P. 1441–1445.
9. *Орлов В.О., Железняк И.И., Филиппов В.Д., Фурсов В.В.* Морозоопасные грунты как основания сооружений. Новосибирск : Наука. Сибирское отделение, 1992. 168 с.
10. *Фурсов В.В.* Деформации сезоннопромерзающего пучинистого грунта основания и его взаимодействие с фундаментами сооружений // Обской вестник. 1999. № 1–2. С. 64–68.
11. *Захаров Н.К.* К вопросу сопротивления грунтов сдвигу при оттаивании // Железнодорожное строительство. 1952. № 4.
12. *Михайлов Г.Д.* Методика определения сопротивления сдвигу сезонномерзлых глинистых грунтов земляного полотна при их оттаивании // Труды IV совещания-семинара по обмену опытом строительства в суровых климатических условиях. Т. VIII. Красноярск, 1966.
13. *Шушерина Е.П.* О методике определения сопротивления сдвигу оттаявших грунтов // Мерзлотные исследования : сб. Вып. VII. Москва : Изд-во МГУ, 1967.
14. *Цытович Н.А.* Механика мерзлых грунтов. 2-е изд-е. Москва : Книжный дом «Либроком», 2010. 448 с.
15. *Орлов В.О.* Рекомендации по учёту и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов / ПНИИИС. Москва : Стройиздат, 1986. 72 с.
16. *Фурсов В.В., Мальшиев М.А.* Деформации сооружений, связанные с сезонным промерзанием и оттаиванием пучинистых грунтов в Томской области // Проблемы гидрогеологии, инженерной геологии, оснований и фундаментов. Томск : Изд-во ТГУ, 1988. С. 105–115.
17. *Руководство по проектированию оснований и фундаментов на пучинистых грунтах / НИИОСП.* Москва : Стройиздат, 1979. 39 с.

REFERENCES

1. *Tayukin G.I., Fursov V.V., Balyura M.V.* Vozdeistvie sezonnogo promerzaniya gruntov na fundamenty stroyashchikh ob"ektov (terminal khraneniya szhizhennykh uglevodorodov) [Seasonal soil freezing impact on foundations of buildings (liquefied hydrocarbon depot ter-

- minal)]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 186–198. (rus)
2. Plevkov V.S., Fursov V.V., Balyura M.V., Baldin I.V., Utkin D.G. Osobennosti otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'nykh konstruksii zdaniy na svainykh fundamentakh posle dlitel'nogo pereryva v stroitel'stve v usloviyakh glubokogo sezonnogo promerzaniya gruntov [Estimation of technical condition of half-finished pile-foundation buildings under seasonal soil freezing conditions]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2017. No. 2 (16). Pp. 65–78. (rus)
 3. Savel'ev V.S., Belotserkovskaya G.V. Prichiny deformatsij neftegazopromyslovykh sooruzhenij na severe Zapadnoj Sibiri [Causes of deformation of oil and gas facilities in the North of Western Siberia]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*. 1987. No. 5. Pp. 12–14. (rus)
 4. Malyshev M.A., Fursov V.V., Balyura M.V., Rozhdestvenskaya L.I. Osnovaniya i fundamenty v usloviyakh glubokogo sezonnogo promerzaniya gruntov [Bases and foundations in seasonal soil freezing conditions]. Tomsk: TSU, 1992. 280 p. (rus)
 5. Fursov V.V., Balyura M.V. Issledovanie morozoustoichivosti zoloshlakovykh otkhodov teplovykh elektrostantsii dlya tselei stroitel'stva [Frost resistance of ash and slag wastes from thermal power plants in construction]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2013. No. 1. Pp. 242–252. (rus)
 6. Fursov V.V. Vertikal'nye peremeshcheniya malozaglublennykh fundamentov pri mnogoletnem sezonnom promerzanii i ottaivanii puchinistykh gruntov. In: Aktual'nye voprosy geotekhniki pri reshenii slozhnykh zadach novogo stroitel'stva i rekonstrukcii: sb. tr. nauchno-tekhnicheskoy konferencii (*Proc. Int. Sci. Conf. 'Relevant Problems of Geotechnology in Solving Problems of New Construction and Reconstruction'*). Saint-Petersburg, 2010. Pp. 333–337. (rus)
 7. Malyshev M.A., Fursov V.V., Balyura M.V. Investigation of the deformation of clayey soils resulting from frost heaving and thawing in foundations due to loading. In: *Proc. 4th Int. Conf. on Permafrost*. National Academy Press. USA, Washington, 1984. Pp. 259–263.
 8. Orlov V.O., Fursov V.V. Foundation settlements on season freezing soils. *V International Conference on Permafrost*. Trondheim, Norway, 1988. Pp. 1441–1445.
 9. Orlov V.O., Zheleznyak I.I., Filippov V.D., Fursov V.V. Morozoopasnye grunty kak osnovaniya sooruzhenij [Frost-Prone soils as the foundations of structures]. Novosibirsk: Nauka, 1992. 168 p. (rus)
 10. Fursov V.V. Deformacii sezonnopromerzayushchego puchinistogo grunta osnovaniya i ego vzaimodejstvie s fundamentami sooruzhenij [Deformations of seasonal frost heaving of soil foundation and its interaction with foundations]. *Obskoi vestnik*. 1999. No. 1–2. Pp. 64–68. (rus)
 11. Zakharov N.K. K voprosu soprotivleniya gruntov sdvigu pri ottaivanii [Toward soil shear resistance during thawing]. *Zheleznodorozhnoe stroitel'stvo*. 1952. No. 4. (rus)
 12. Mikhailov G.D. Metodika opredeleniya soprotivleniya sdvigu sezonnomerzlykh glinistykh gruntov zemlyanogo polotna pri ih ottaivanii [Shear resistance of seasonal freezing of clay soils during thawing]. Trudy IV soveshchaniya-seminara po obmenu opytom stroitel'stva v surovykh klimaticheskikh usloviyakh. Tom VIII (*Proc. Seminar on Construction Experience Exchange in Severe Climatic Conditions*), vol. VIII, Krasnoyarsk, 1966. (rus)
 13. Shusharina E.P. O metodike opredeleniya soprotivleniya sdvigu ottayavshih gruntov [On the method of determining the shear resistance of the soil thawed]. In: *Merzlotnye issledovaniya [Permafrost research]*, vol. VII, Moscow: MSU, 1967. (rus)
 14. Tsytovich N.A. Mekhanika merzlykh gruntov [Mechanics of frozen soils], 2nd Ed., Moscow: Librokom, 2010. Pp. 448. (rus)
 15. Orlov V.O. Rekomendacii po uchyotu i preduprezhdeniyu deformatsij i sil moroznogo pucheniya gruntov [Recommendations on allowing for and prevention of strains and forces of frost heaving of soils]. Moscow: Stroizdat, 1986. 72 p. (rus).
 16. Fursov V.V., Malyshev M.A. Deformacii sooruzhenij, svyazannye s sezonnym promerzaniem i ottaivaniem puchinistykh gruntov v Tomskoj oblasti. [Deformations of structures caused by seasonal freezing and thawing of heaving soils in the Tomsk region]. In: *Problemy gidrogeologii, inzhenernoj geologii, osnovanij i fundamentov Tomsk*: TSU, 1988, Pp. 105–115. (rus)
 17. Rukovodstvo po proektirovaniyu osnovanij i fundamentov na puchinistykh gruntah [Guidelines for foundation design on heaving soils]. Moscow: Stroizdat, 1979. 39 p. (rus)

Сведения об авторах

Фурсов Владимир Валентинович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, v_fursov_tomsk@mail.ru

Таюкин Геннадий Иванович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, tgi52@mail.ru

Балюра Мария Васильевна, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, ofis-tgasu@mail.ru

Authors Details

Vladimir V. Fursov, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, v_fursov_tomsk@mail.ru

Gennadiy I. Tayukin, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, pvs@tomsksep.ru

Mariya V. Balyura, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, ofis-tgasu@mail.ru