

М. Ф. КИСЕЛЕВ

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТОВ ОТ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ

g



М. Ф. КИСЕЛЕВ

**ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ
ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТОВ
ОТ МОРОЗНОГО
ПУЧЕНИЯ**

УДК 624.139.22

Киселев М. Ф. Предупреждение деформации грунтов от морозного пучения. — Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. — 000 с., ил.

Обобщены теоретические и экспериментальные исследования деформаций и возникающих при этом сил морозного пучения грунтов в процессе промерзания. Обосновано применение методики проведения экспериментальных исследований по определению нормальных и касательных сил морозного пучения грунтов в природных условиях. Описаны результаты наблюдений за величинами удельных нормальных сил морозного выпучивания фундаментов, на основании которых установлены зависимости значений удельных нормальных сил морозного пучения от глубины заложения подошвы фундамента и от ее размеров в плане.

Для научных работников проектных и научно-исследовательских организаций.

Рецензент — д-р техн. наук В. О. Орлов

К 3202000000—189
047(01)—85

Св. пл. подписн. изд. 1985 г.

© Стройиздат. Ленинградское отделение, 1985

В В Е Д Е Н И Е

В соответствии с решениями XXVI съезда КПСС в настоящее время интенсивно осваиваются Европейский Север, а также северные районы Западной и Восточной Сибири. В связи с этим усилилось строительство новых индустриальных центров, городов и поселков. В практике фундаментостроения в районах с глубоким промерзанием грунтов возникают затруднения при выборе конструкций фундаментов и эффективных мероприятий против деформации фундаментов и надфундаментного строения зданий и сооружений под действием сил морозного пучения.

Проблема строительства малоэтажных зданий и сооружений на пучинистых грунтах с малыми нагрузками на фундаменты приобретает актуальное значение. Мероприятие по заглублению мало-нагруженных фундаментов на расчетную глубину промерзания грунтов не обеспечивает их устойчивость и не избавляет здания от деформаций вследствие накапливания остаточных деформаций от морозного выпучивания фундаментов под действием касательных сил морозного пучения. Следовательно, встает вопрос об использовании сезоннопромерзающего слоя грунта в качестве естественного основания под малонагруженные фундаменты мелкого заложения, чтобы избежать накопления остаточных деформаций от морозного выпучивания фундаментов и деформаций зданий и сооружений.

При промерзании мелкодисперсных водонасыщенных грунтов в природных условиях возникают деформации и силы морозного пучения вследствие льдообразования в составе грунта. Величины этих деформаций и сил обусловлены сопротивлением среды развивающемуся давлению.

При возведении зданий, железных дорог, аэродромов и подземных коммуникаций различного назначения в СССР проводились многочисленные исследования в целях разработки мероприятий против деформаций зданий и сооружений от морозного пучения. Однако вопросы взаимодействия нормальных сил морозного пучения с фундаментами зданий весьма слабо освещены в технической литературе и мало изучены экспериментально в природных условиях на фундаментах, закладываемых в слое сезонного промерзания, так как проведение подобных работ в полевых условиях связано с большой трудоемкостью их организации и продолжительностью проведения систематических наблюдений.

Экспериментальные данные по исследованию взаимодействия морозного пучения грунтов с моделями фундаментов, полученные в лабораторных условиях, до сих пор не дают желаемого эффекта при перенесении их в природную среду. При моделировании такого взаимодействия между промерзающим грунтом и фундаментом невозможно создать сопротивление среды силам мороз-

ного пучения в полной аналогии с сопротивлением среды в природных условиях, поэтому следует крайне осмотрительно переносить зависимости, установленные в лабораториях, на грунты природного сложения. Кроме того, при проектировании фундаментов на пучинистых грунтах необходимо принимать в расчет данные многолетних стационарных наблюдений в полевых условиях, а не за один сезон, так как климатические условия в отдельные годы бывают с отклонениями, характерными для средней зимы данной местности.

В настоящей работе изложены результаты экспериментальных исследований действия нормальных сил морозного пучения на фундаменты за восьмилетний период в природных условиях на опытной площадке Загорского стационара. На основании полученных результатов впервые установлены зависимости удельных нормальных сил морозного пучения от площади подошвы фундамента и от толщины твердомерзлого слоя грунта ниже его подошвы.

Данные этих экспериментальных исследований убедительно доказали целесообразность использования промерзающего слоя грунта ниже подошвы фундамента в качестве естественного основания для незаглубленных и мелкозаглубленных фундаментов под малоэтажные здания на пучинистых грунтах и были включены в главу СНиП 15—74 «Расчет по проверке устойчивости фундаментов при действии сил морозного пучения грунтов оснований».

Приведенные в книге результаты оригинальных экспериментальных исследований действия нормальных сил морозного пучения грунтов послужат материалом для дальнейшего развития теории промерзания и пучения грунтов в практике фундаментостроения и использования их в качестве обоснования нормативно-технических документов по проектированию оснований и фундаментов на пучинистых грунтах.

Глава I. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ ГРУНТОВ И ЕГО ВЛИЯНИЯ НА ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

1. Понятие морозного пучения грунтов

В отечественной и зарубежной литературе до сего времени нет единого общепринятого определения морозного пучения грунтов. Так, первые русские исследователи — инженеры, железнодорожники эффект морозного пучения грунтов называли пучинами, а инженеры-строители — выпучиванием или распучиванием.

Под морозным пучением одни подразумевали изменение свойств грунтов при промерзании, другие — определенный процесс, обусловленный рядом факторов, третьи считают его специ-

фическим явлением. Рассмотрим некоторые из имеющихся в литературе определений.

Русский инженер П. Н. Любимов дал свое определение морозному пучению грунтов — «пучины на железных дорогах», которое сформулировал так: «Пучиною называется... местное поднятие полотна, зависящее от присутствия под ним в пределах промерзания насыщенных водою грунтов и вызывающее зимой и в начале весны такого рода неправильности в положении верхнего строения железнодорожного пути, которое нарушает спокойствие и безопасность движения поездов» [47, с. 5].

Из приведенного определения следует, что могут вспучиваться только насыщенные водой грунты, но, как известно, пучение водонасыщенных грунтов есть частный случай пучения. Наблюдаются случаи, когда пучение грунтов и образование пучин на дорогах происходят в значительных размерах на слабовлажных грунтах при стоянии уровня подземной воды на глубине 5—6 м от дневной поверхности, и, наоборот, иногда грунты, полностью насыщенные водой, не считаются пучнистыми потому, что при замерзании грунтовой воды в порах не происходит изменения объема скелета грунта по ряду причин. Следовательно, одно водонасыщение грунта не может во всех случаях промерзания грунта обусловить пучнистость всех без исключения грунтов в одинаковой степени и вызвать пучинообразование.

Наибольший эффект морозного пучения дает сочетание вида грунта с водным и термическим режимами и другими факторами, создающими наиболее благоприятные условия для развития процесса морозного пучения.

Положительное в определении П. Н. Любимова заключается в том, что главным моментом считается внешний признак (местное поднятие), привязанный ко времени года и пределам сезонного промерзания грунтов. Этот момент в определении П. Н. Любимова относится скорее к определению пучения грунтов, нежели к определению пучин.

М. И. Сумгин дает свое определение следующего содержания: «Пучением грунтов мы называем в обобщенном понимании деформации поверхности почвы, заключающиеся в поднятии, а затем опускании этой поверхности» [76, с. 39]. Здесь доминирующим моментом в определении служит внешний эффект. М. И. Сумгин процесс морозного пучения делит на два сменяющих друг друга самостоятельных цикла — пучение и оседание.

Н. И. Быков дал определение морозного пучения грунтов в следующей формулировке: «Будем впредь называть пучением всякое вертикальное перемещение вверх как самого грунта, так и заключенных в него предметов, происходящее вследствие замерзания и расширения грунта; противоположное явление — перемещение вниз при оттаивании — будем называть оседанием» [3, с. 149].

Н. А. Цытович дал следующее определение пучения грунтов: «Пучение грунтов при замерзании вызывается увеличением объема воды при переходе из жидкого состояния в твердое и образованием ледяных прослоек и линз» [92, с. 253]. В определении Н. А. Цытовича главным образом указывается на причину возникновения пучения грунта за счет изменения объема грунта при замерзании, но это определение нельзя считать исчерпывающим.

Автор данной книги предложил следующую формулировку этого процесса: под морозным пучением грунтов подразумевается их свойство при определенном сочетании гидротермических условий в пределах сезонного промерзания увеличиваться в объеме под действием сил кристаллизации льда при фазовых превращениях содержащейся в грунте и подтягиваемой дополнительно воды к кристаллам льда. Внешнее проявление этого свойства грунтов заключается в неравномерном поднятии дневной поверхности за счет образования ледяных включений [41]. Данное определение ближе к физической сущности пучения грунтов в природных условиях.

Позднее В. О. Орлов даёт несколько отличающееся определение следующего содержания: «Под морозным (криогенным) пучением понимается внутриобъемное деформирование промерзающих влажных почв, нескальных горных пород и грунтов, приводящее к увеличению их объема вследствие кристаллизации в них воды и образования ледяных включений в виде прослойков, линз, поликристаллов и т. п. Внешним проявлением морозного пучения служат местные, как правило, неравномерные поднятия поверхности слоя промерзающего грунта, сменяющиеся осадкой последнего при оттаивании» [58, с. 7].

В данном определении уточняются пределы геологических образований, в которых наблюдается морозное пучение. Кроме того, Орловым дано более широкое понятие («объемное деформирование»), охватывающее структурные изменения в грунте в результате пучения.

Более краткое определение дано Б. И. Далматовым: «Морозным пучением называется увеличение объема грунта при промерзании в результате перехода воды в лед и миграции влаги к фронту промерзания. Пучинистыми обычно называют грунты, которые при промерзании в условиях естественного залегания способны увеличиваться в объеме» [19]. Таким образом, Б. И. Далматов дает дополнение к определению пучинистых грунтов, но дополнительно к практике строительства.

В [70] «пучинистыми (морозоопасными) грунтами называются такие грунты, которые при промерзании обладают свойством увеличивать свой объем при переходе их в мерзлое состояние. Изменение объема грунта обнаруживается в природных условиях в поднятии дневной поверхности в процессе промерзания и опускании ее при оттаивании. В результате этих объемных изменений происходят объемные деформации, что и наносит повреждения ос-

нованиям, фундаментам и надфундаментному строению зданий и сооружений». Исчерпывающее определение процесса морозного пучения изложено в приложении СНиП II-15—74.

2. Классификация грунтов по степени морозной пучинистости

Оценку грунтов по их морозоопасности впервые дал Ч. А. Гогентоглер [13], который за основной признак пучинистости грунтов принял суммарное содержание в составе грунта мелких фракций диаметром менее 0,1 мм. По Гогентоглеру, все рыхлые отложения будут морозоопасными, если в составе грунта содержится более 10% частиц диаметром меньше 0,1 мм. Поскольку песчаные грунты в слое сезонного промерзания обычно более диспергированы в результате почвообразовательных процессов, то по классификации Гогентоглера все песчаные почвы и грунты могут быть отнесены к пучинистым.

По данным советских исследователей [28, 61], в 30% крупнообломочных грунтов, содержащих в своем составе мелкие фракции диаметром менее 0,1 мм в виде заполнителя, при замерзании в водонасыщенном состоянии не появлялось деформаций морозного пучения. Как видим, при установлении классификации морозного пучения грунтов нельзя руководствоваться только одним фактором — составом грунта, так как на эффект морозного пучения оказывают влияние другие моменты в совокупном сочетании в период промерзания. Специалисты-дорожники также за основной классификационный признак принимают гранулометрический состав, но такое подразделение на две группы (пучинистые и непучинистые) не отвечает запросам практики фундаментостроения.

В 1955 г. впервые автором была предложена классификация грунтов по степени морозной пучинистости по двум основным критериям — гранулометрическому составу грунта и величине всучивания поверхности грунта при полном промерзании его в природных условиях. Кроме этих двух факторов, учитывалось состояние грунта после его оттаивания, что имеет значение для устойчивости фундаментов зданий и сооружений. В данной классификации принималась во внимание также глубина промерзания грунтов, поскольку величина всучивания относилась к максимальному значению промерзания грунта в течение всей зимы.

Разработанная автором классификация грунтов по степени морозной пучинистости основана на влиянии деформаций замерзающего грунта на устойчивость фундаментов зданий и сооружений. По этой классификации [35] грунты в их природном сложении подразделялись на непучинистые, малопучинистые, среднепучинистые и очень пучинистые. Классификация относилась только к грунтам при полном их водонасыщении, но, как известно, все виды грунтов в сухом или малоувлажненном состоянии при промерзании не обнаруживают внешних признаков морозного пуче-

ния, и поэтому возникла потребность ориентироваться при классификации грунтов на их природную влажность перед промерзанием и условия увлажнения.

В этой классификации показатель величины всучивания грунта был принят по единичным экспериментальным данным, что совершенно недостаточно для его обоснования, поэтому временно пришлось отказаться от этого критерия до накопления данных полевых исследований в достаточном количестве для обоснования.

Вторая классификация грунтов по степени морозной пучиности, учитывающая консистенцию грунта, была опубликована автором в «Указаниях по проектированию и строительству малонаруженных фундаментов на пучинистых грунтах» (М.: Стройиздат, 1963).

В зависимости от гранулометрического состава, природной влажности, глубины залегания уровня грунтовых вод и расчетной глубины промерзания грунтов по этой классификации грунты подразделяются на пять разновидностей: сильнопучинистые, среднепучинистые, слабопучинистые, условно непучинистые и непучинистые. Так, пылеватые супеси, суглинки и пылеватые глины пластичной консистенции при расположении уровня грунтовых вод в слое сезонного промерзания или ниже нормативной глубины промерзания в супесях не более чем на 0,5 м, а в суглинках и глинах не более 1 м относятся к наиболее морозоопасным сильнопучинистым грунтам.

К среднепучинистым относятся пески пылевые, супеси, суглинки и глины с природной влажностью, превышающей показатель консистенции 0,5, при стоянии уровня грунтовых вод, превышающем нормативную глубину промерзания в пылеватых песках не более чем на 0,6 м, в супесях — не более чем на 1 м, в суглинках — не более чем на 1,5 м и в глинах — не более чем на 2 м, по степени морозной пучинистости.

К группе слабопучинистых грунтов относятся пески мелкие и пылеватые, супеси, суглинки и глины тугопластичной консистенции, а также крупноблочные грунты с пылевато-глинистым заполнителем при стоянии уровня грунтовых вод, превышающем нормативную глубину промерзания: в пылеватых и мелкозернистых песках не более чем на 1 м, в супесях — не более чем на 1,5 м, в суглинках (с числом пластичности меньше 0,12) — не более чем на 2 м, в суглинках (с числом пластичности более 0,12) — не более 2,5 м и в глинах (с числом пластичности меньше 0,28) — не более чем на 3 м.

К практически непучинистым относятся: крупнообломочные грунты с пылевато-глинистым заполнителем, пески мелкие и пылеватые и все виды глинистых грунтов твердой консистенции с природной влажностью в период промерзания меньшей, чем влажность на границе раскатывания при уровне грунтовых вод ниже нормативной глубины промерзания: в крупнообломочных, пылеватых и мелкозернистых песках более чем на 1 м, в супесях — бо-

лее чем на 1,5 м, в суглинках (с числом пластичности меньше 0,12) — более чем на 2 м, в суглинках (с числом пластичности более 0,12) на 2,5 м и в глинах с числом пластичности меньше 0,28 — более чем на 3 м.

При определении степени морозной пучинистости грунтов следует в основном ориентироваться на их природную влажность и положение уровня стояния грунтовой воды на период, соответствующий началу промерзания грунта.

Скальные, крупнообломочные грунты, содержащие менее 30% по массе частиц диаметром $<0,1$ мм, пески гравелистые крупные и средней крупности независимо от их природной влажности и уровня залегания грунтовой воды относятся к непучинистым грунтам.

Эта классификация грунтов по степени морозной пучинистости включена в СНиП II-15—74 (прил. 6) для проверки устойчивости фундаментов на действие сил морозного пучения грунтов оснований [78].

3. Результаты теоретических исследований

Теоретические предпосылки причин возникновения объемных деформаций при промерзании и пучении грунтов опубликованы в трудах М. И. Сумгина [76], Н. А. Цытовича [95], Н. А. Пузакова [64], Б. И. Далматова [17], В. О. Орлова [58], М. Н. Гольдштейна [14] и других исследователей.

Результаты в основном экспериментальных исследований по вопросам деформации морозного пучения промерзающих грунтов в лабораторных и природных условиях содержатся во многих работах [1, 8, 14 и др.]. Многие из них посвящены изучению влияния отдельных факторов на эффект деформации морозного пучения грунтов [26, 27, 45 и др.].

Особое место в изучении процессов морозного пучения грунтов занимают силы морозного выпучивания фундаментов. Опыт эксплуатации искусственных сооружений и фундаментов зданий свидетельствует о том, что эти здания и сооружения деформируются под действием сил, возникающих при промерзании грунта ниже подошвы фундаментов, но при глубине заложения фундаментов более глубины промерзания деформации зданий не исключались за счет воздействия сил морозного пучения через смерзание грунта с боковой поверхностью фундаментов. Так произошло разделение сил морозного пучения на касательные, действующие на боковую поверхность фундамента, и нормальные силы, действующие на подошву фундамента.

По результатам экспериментальных исследований касательных сил морозного пучения в лабораторных и природных условиях опубликовано много работ [3, 11, 18, 25 и др.]. Второму вопросу (нормальным силам) уделялось меньшее внимание, поскольку против влияния нормальных сил применяли конструктивное ме-

роприятие; глубина заложения фундаментов принималась не менее глубины промерзания грунтов. Но при заложении фундаментов в слое сезонного промерзания грунтов фундаменты подвергались, кроме касательных, воздействию нормальных сил.

Определяя физику явления морозного пучения, М. И. Сумгин установил, что максимально увлажненный грунт, промерзая в замкнутом объеме, может создавать нормальное давление более 211,5 МПа [92]. При изучении промерзающего грунта М. И. Евдокимов-Рокотовский расчетным путем определил нормальное давление замерзающей воды в порах грунта при температуре $-0,5^{\circ}\text{C}$ равным 6,7 при температуре 3°C — 41,9, а при температуре -5°C — 72 МПа. При этом он подчеркивал, что в строительной практике известны многочисленные примеры поднятия сооружений огромной массы силами пучения и что в процессе промерзания грунта под фундаментом силы пучения будут неизмеримо больше массы сооружения [24].

Исследуя физико-механические процессы в грунтах при замерзании в них жидкой фазы, А. Е. Федосов [86] пришел к выводу, что напряжения между прослойками льда в глинах и песках равны примерно 0,15—0,18 МПа.

При исследовании причин пучения дорожного полотна Н. А. Пузаков [64] установил «критическое давление», при котором грунт не пучится, равным 0,05—0,07 МПа, а по Г. Бескову [6], оно колеблется от нуля до неопределенного больших величин.

При исследовании деформации морозного пучения образцов под давлением в лабораторных условиях М. Н. Гольдштейн [14] определил величину внешнего давления на промерзающий образец равной 0,3 МПа, при которой он не пучится.

Впервые изучением нормальных сил морозного пучения в лабораторных условиях занялся Н. Н. Морарескул [55]. Он промораживал образцы грунта высотой 8 см в цилиндрах без возможности бокового расширения с подтоком и без подтока воды снизу с условием исключения сил смерзания грунта со стеклами цилиндра. Результаты опытов показали, что при промерзании глинистые грунты развивают нормальные силы морозного пучения от 0,5 до 1,0 МПа, находясь в зависимости от температуры и времени промерзания, а также от сжимаемости нижележащего подстилающего, еще не промерзшего слоя грунта.

Первые известные в литературе экспериментальные данные о величинах вертикальных и горизонтальных нормальных сил морозного пучения деятельного слоя на вечномерзлых грунтах принадлежат В. О. Орлову [56]. Посредством применения мессодоз (мембранныго типа диаметром 12 см) ему удалось установить, что силы эти внутри мерзлого грунта зависят от температуры, скорости пучения, толщины мерзлого слоя и могут возрастать от нуля до 6,0 МПа. Установленные положения В. О. Орловым находятся в соответствии с зависимостями, полученными расчетным

путем автором [38], т. е. суммарные нормальные силы возрастают с ростом толщины слоя мерзлого грунта ниже подошвы фундамента.

Первые непосредственные экспериментальные исследования нормальных сил морозного пучения грунтов, действующих на подошву фундаментов и штампов разного диаметра, выполнены Н. А. Толкачевым [80]. По полученным данным в природных условиях на Загорском стационаре была установлена зависимость возрастания относительных нормальных сил морозного пучения от глубины промерзания грунтов ниже подошвы фундамента [81]. По экспериментальным данным Н. А. Толкачевым установлено, что относительные нормальные силы морозного пучения резко увеличиваются с увеличением плотности промерзающего грунта, степени его водонасыщения и скорости промерзания. Так, для суглинистых грунтов со степенью водонасыщения, близкой к единице, значения относительных нормальных сил в большинстве случаев находятся в пределах 0,15—0,25 МПа.

Разработка расчетной схемы по определению нормальных сил морозного пучения для проверки устойчивости фундаментов принадлежит автору [38]. В основе этой схемы приняты силы, действующие в переходном слое от пластичномерзлого к твердомерзлому, т. е. в слое интенсивного пучения, где происходит льдообразование с переходом грунта в твердомерзлое состояние. Эти силы названы относительными нормальными, поскольку они отнесены к площади подошвы фундамента.

При промерзании грунта ниже подошвы фундамента образуется твердомерзлый слой между слоем интенсивного пучения и фундаментом, следовательно, уже давление нормальных сил на фундамент передается через этот твердомерзлый слой грунта, который сам становится подошвой с резко увеличенной площадью в сравнении с площадью подошвы фундамента. В момент, когда напряжения нормальных сил, развивающиеся в переходной зоне от пластичного к твердомерзлому состоянию, превосходят некоторые критические значения сопротивления массы мерзлого грунта, наблюдается изгиб мерзлого слоя грунта за пределами подошвы фундамента [38], а в подстилающем талом грунте (если он структурный и недостаточно плотный) возникают необратимые структурные деформации.

Теоретические исследования действия нормальных сил морозного пучения грунтов на подошве жесткой твердомерзлой полосы с ограниченной податливостью опубликованы В. И. Пусковым [65]. Принятый им подход к решению задачи о величине нормальных сил морозного пучения грунта не является принципиально новым. Влияние сжимаемости нижележащего грунта на величину нормальных сил пучения подтверждено опытами Н. Н. Морарескула [55] и неоднократно отмечалось Н. А. Цытовичем, Ю. Г. Куликов и Н. А. Перетрухин при решении задачи о величине нормальных сил морозного пучения учитывали осадку однородного тало-

го основания, находящегося в напряженном состоянии под слоем мерзлого грунта бесконечной протяженности [44].

В более общем виде эта задача решена Ю. К. Зарецким [31] применительно к круглому фундаменту с фиксированной податливостью на двухслойном основании. Однако следует заметить, что авторы упомянутых теоретических работ умалчивают о возможности практического применения полученных ими решений и о степени точности предлагаемых расчетных формул.

На основании данных по выполненным комплексным полевым и лабораторным исследованиям влияния напряженного состояния грунта на уменьшение морозного пучения В. Б. Швец [101] предложил расчетную схему устойчивости мелкозаглубленного фундамента. В основе этой схемы — подчинение работы грунта под нагрузкой линейно-деформируемому упругому полупространству. Существенный недостаток расчетной схемы В. Б. Швеца в том, что им не учтено принципиальное различие работы двухслойного основания, каким по существу является промерзающий грунт, отличающийся от однородного полупространства. По теории упругости используемая В. Б. Швецом схема напряженного состояния выведена для идеального однородного материала.

Несмотря на то, что под фундаментом мелкого заложения твердомерзлый слой грунта резко отличается по физико-механическим свойствам от свойств талого нижележащего грунта, предлагаемая расчетная схема сопоставима со схемой автора [38], и обе эти схемы при промерзании грунта ниже подошвы фундамента до 1 м подтверждаются результатами экспериментальных исследований нормальных сил морозного пучения в природных условиях. По обеим расчетным схемам наблюдается возрастание нормальных сил с глубиной промерзания грунта под подошвой фундамента.

В. О. Орлов предложил схему для расчета нормальных сил морозного выпучивания по силам сцепления грунта и по интенсивности пучения [56].

Н. А. Перетрухин [67] опубликовал результаты многолетних экспериментальных исследований, проводившихся в условиях вечномерзлых грунтов на Сковородинской мерзлотной станции по определению величин касательных и нормальных сил пучения. Он заменил нормальные силы касательными, полагая, что разрушения структурных связей под подошвой стойки происходят по плоскостям, образующим периметр этой стойки, т. е. по схеме В. О. Орлова [68] под подошвой стойки будет нарастать стойка из твердомерзлого грунта. При этом нормальные силы приравниваются к сдвигу мерзлого грунта так же, как и смерзание грунта и его сдвиг у плоскости фундамента. Однако опыты автора показали, что не получается плоскостей разрушения по вертикали от грани подошвы фундамента, они всегда были наклонные под углом к оси стойки.

Анализ приведенного обзора литературных материалов по исследованию нормальных сил морозного пучения грунтов убеждает в том, что имеющихся результатов экспериментальных исследований для уточнения и дополнения предлагаемых схем расчета пока еще совершенно недостаточно. Известные научно-исследовательские работы по определению значений нормальных сил морозного пучения имели главным образом методический характер, но не было рекомендаций, как практически пользоваться опытными данными при расчете устойчивости фундаментов на действие нормальных сил морозного выпучивания при промерзании грунта под ними.

4. Мероприятия против деформаций сил морозного пучения

Мероприятия против деформаций фундаментов от морозного выпучивания подразделяются на инженерно-мелиоративные (направленные на снижение величины деформации выпучивания), строительно-конструктивные (по снижению или предотвращению повреждений зданий и сооружений под действием деформаций и сил морозного пучения грунтов) и термохимические (оказывающие влияние на снижение удельных касательных и нормальных сил морозного пучения).

На основании теоретических и экспериментальных исследований деформаций и сил морозного пучения грунтов, имеющегося опыта строительства и эксплуатации зданий и сооружений на пучинистых грунтах были предложены различные (большей частью конструктивные) мероприятия против повреждений зданий и сооружений при промерзании грунтов [12, 15, 20, 22, 24 и др.].

К конструктивным мероприятиям, направленным на снижение и преодоление касательных сил морозного выпучивания фундаментов, относятся: применение столбчатых фундаментов, уменьшение площади боковой поверхности фундамента в слое сезонного промерзания, повышение нагрузок на фундаменты, применение конструкций фундаментов аикерного типа, замена пучинистого слоя грунта непучинистым при засыпке пазух у фундаментов, снижение глубины промерзания грунтов, снижение прочности смерзания грунта с плоскостями фундаментов и др.

Мероприятия по исключению жесткого сцепления мерзлого грунта с фундаментами применяются в практике фундаментостроения уже давно. К ним относятся: засоление грунта, засыпки пазух, обмазка поверхностей фундаментов непрочносмешивающимися материалами (битумные обмазки, засыпки гидрофобным грунтом, эпоксидные смазки и др.), обертка столбчатых фундаментов брезолем или рубероидом.

М. И. Евдокимов-Рокотовский в своем учебнике [24] в качестве противопучинных мероприятий рекомендует устанавливать деревянные столбчатые фундаменты комлем вниз, а поверхность фундамента в слое промерзания грунта смазывать животным са-

лом в смеси с дегтем (1:3). Обработка грунтов в природных условиях сульфидным щелоком и гидрофобными материалами дала положительный эффект, действительно, деформации железнодорожного полотна от морозного пучения прекратились, но через 3 года стали снова наблюдаваться.

В настоящее время промышленностью выпускается большое количество различных смазочных и полимерных материалов, которые рекомендуются для применения по снижению прочности смерзания грунта с фундаментами. Эффективность этих материалов проведена на опыте, но о долговечности этого эффекта судить пока невозможно.

Вопросам проектирования зданий и сооружений на пучинистых грунтах посвящено большое количество работ [9, 27, 59, 61, 62 и др.] и нормативно-технических документов. Имеющиеся результаты теоретических и экспериментальных исследований внедряются в практику фундаментостроения, отражены в нормативно-технических документах: СНиП II-15—74 [78], Руководстве по проектированию зданий и сооружений [69], Руководстве по проектированию оснований и фундаментов на пучинистых грунтах [70].

Глава II. АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ НОРМАЛЬНЫХ СИЛ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ ГРУНТОВ В ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ

Изучение нормальных сил морозного пучения грунтов многими исследователями проводилось опытным путем при промораживании образцов грунта различного состава и разных размеров в лабораторных условиях с применением различных измерительных приборов. При этом попытки приблизить условия промораживания и пучения грунта на образцах-моделях в лабораторных условиях к естественным природным условиям не имели успеха, так как получаемые значения нормальных сил морозного пучения грунтов не были между собой сопоставимы. В проводившихся исследованиях измерялась не нормальная сила морозного пучения грунта, а сопротивление среды процессу морозного пучения. Поскольку это сопротивление среды при лабораторных опытах было разным, то и значения относительных нормальных сил морозного пучения по лабораторным данным получались различные соответственно сопротивлению среды, применяемой опытной установке и измерительной аппаратуре.

Экспериментальные исследования нормальных сил морозного пучения грунтов в природных условиях на установках, близких по размерам к конструкциям фундаментов, очень длительны, довольно трудоемки и дорогостоящи. Следует отметить интересные исследования в этой области, проведенные В. О. Орловым [56], Н. А. Толкачевым [80] и Э. А. Маровым [51].

Применительно к условиям глубокого промерзания и морозного пучения в области распространения вечномерзлых грунтов на территории Игарской мерзлотной станции В. О. Орлов [56] проводил исследования действия нормальных сил морозного пучения в природных условиях с помощью устанавливаемых им на разных глубинах мессдоз-штампов площадью подошвы 200 см².

Разработанные В. О. Орловым опытная установка, измерительная аппаратура и методика для проведения исследований позволили получить весьма достоверные и объективные значения нормальных сил морозного пучения грунтов.

В общем принцип измерительного устройства базируется на измерении деформации металлической пластины (диаметром 160 мм и толщиной 4 мм), которая под действием сосредоточенной силы морозного пучения грунта изгибается, и величина этого изгиба фиксируется индикатором на поверхности грунта.

Главная задача проводимых В. О. Орловым экспериментальных исследований заключалась в получении для строительных целей достоверных расчетных значений удельных нормальных сил морозного пучения, действующих при промерзании грунта на подошву фундамента.

Опыты проводились на двух площадках. На одной из них сезонное промерзание грунта сливалось с вечномерзлым грунтом с расположением верхней поверхности на глубине 1,7 м, на второй площадке сезонное промерзание грунта не сливалось с вечномерзлым грунтом, залегающим на глубине 4,5 м.

Во время проведения опытов по определению нормальных сил морозного пучения замерялись толщина промерзающего слоя грунта ниже подошвы мессдозы и температура грунта под мессдозой, а также деформации морозного пучения при промерзании грунта ниже подошвы мессдозы с применением установленных вблизи глубинных реперов.

Наибольшие значения удельных нормальных сил морозного пучения (5,6 МПа) В. О. Орловым получены при заглублении штампа-мессдозы на 62 см и промерзании грунта ниже подошвы штампа-мессдозы на 61 см. При этом, безусловно, не могло не сказаться влияние вечномерзлых грунтов, залегающих на глубине 170 см, так как талый слой толщиной 47 см находится в повышенном напряженном состоянии, иногда обуславливающим «дифференциальные пучины» и бугры пучения со взрывами.

По данным В. О. Орлова [56], удельные нормальные силы морозного пучения в условиях несливающейся вечной мерзлоты с сезонным промерзанием с установлением штампов-мессдоз на разных глубинах от поверхности (109, 165 и 191 см) меньше по сравнению со значениями, полученными в условиях сливавшейся мерзлоты. Это объясняется тем, что толщина талого слоя между сезонномерзлым и вечномерзлым грунтом соответственно равна 341, 285 и 256 см и, естественно, нижележащий талый грунт в период промерзания и пучения имеет меньшее напряженное состоя-

ние по сравнению с напряжениями в талом слое на сливающейся мерзлоте.

В данных этих опытов прослеживается зависимость силы морозного пучения от глубины заложения подошвы штампа-мессдозы, толщины талого слоя между сезонномерзлым и вечномерзлым грунтом, температуры мерзлого грунта и интенсивности пучения. Для них характерна общая закономерность: с увеличением толщины мерзлого слоя грунта ниже подошвы штампа-мессдозы возрастают значения удельных нормальных сил морозного пучения грунтов.

С выводом В. О. Орлова о снижении интенсивности пучения и продолжительности периода воздействия нормальных сил морозного пучения на подошву фундамента можно безоговорочно согласиться, но объяснение зависимости величин нормальных сил морозного пучения от прочности структурных связей (сцепления) вызывает сомнение, так как чем больше прочность сцепления, тем меньше интенсивность пучения и, следовательно, нормальные силы пучения.

В итоге экспериментальных исследований нормальных сил морозного пучения в природных условиях В. О. Орлов предложил способ расчета устойчивости фундаментов при промерзании грунта ниже подошвы фундамента исходя из значений сопротивления сдвига мерзлого грунта «относительно обреза подошвы фундамента». Но при этом Орлов не имел экспериментальных данных по сопротивлению сдвига мерзлого грунта применительно к природным условиям, так как значения сопротивления сдвига мерзлого грунта, полученные в лабораторных условиях, зависят от вида и состояния грунта, отрицательной температуры грунта при его испытании, скорости нагружения и времени воздействия нагрузки. Кроме того, наличие изгиба твердомерзлого слоя грунта, на котором стоит нагруженный фундамент, свидетельствует об отсутствии сдвига мерзлого грунта по контуру подошвы фундамента.

В опытах автора по продавливанию твердомерзлого слоя грунта под нагруженным штампом не удавалось получить вертикального среза мерзлого грунта. Даже при сильном ударе на штамп разлом твердомерзлого грунта был наклонным под углом к вертикальной оси фундамента. Следовательно, трудно физически и экспериментально обосновать принятую В. О. Орловым предпосылку о вертикальном сдвиге твердомерзлого грунта под подошвой фундамента по ее контуру.

Величина нормальных сил пучения определяется во всех случаях сопротивлением среды, зависящей от внешнего давления на грунт, расположения деформирующего слоя при промерзании, состава грунта и его плотности сложения, количества содержащейся воды в составе грунта, условий увлажнения, отрицательной температуры при замерзании грунта и, возможно, в какой-то степени от прочности структурных связей.

Структурная прочность грунта, по В. А. Бутовской и Д. Е. Польшину, экспериментально определяется как отношение сопротивления раздавливанию искусственно подготовленного образца к сопротивлению образца такого же размера без нарушения структуры грунта в его природном сложении, но такую прочность структурных связей вряд ли можно отнести к мерзлому грунту, в котором уже структурная прочность грунта не может играть большой роли.

Н. А. Толкачев [81] экспериментально изучал нормальные силы морозного пучения на образцах нарушенного и природного сложения подмосковного покровного суглинка на специально разработанной им установке по замеру величины деформации балки-динамометра. Было проведено 20 опытов, величина нормальных сил морозного пучения находилась в интервале от 0,05 до 0,3 МПа.

В целях разработки методики экспериментальных исследований нормальных сил морозного пучения и подготовки к проведению опытов в полевых условиях на моделях фундаментов в натуральную величину Н. А. Толкачев [81] изучал в лабораторных условиях изменение нормальных сил пучения в зависимости от площади подошвы штампа на той же экспериментальной установке с балкой-динамометром.

Безусловно, полученную зависимость возрастания относительных нормальных сил морозного пучения от размеров площади подошвы фундаментов нельзя переносить на грунты в природных условиях, так как там поверхность промерзающего грунта вокруг фундаментов не ограничена, как это имело место при испытании грунта в пластмассовом кольце.

Под штампом $d = 4$ см в начале опыта отмечалась осадка грунта за счет поднятия грунта за пределами штампа, и поэтому, вероятно, получились наименьшие значения относительных нормальных сил пучения, а под штампом $d=9$ см почти вся поверхность грунта в цилиндре была закрыта (что напоминает лабораторные опыты Н. Н. Морарескула), и, следовательно, только этим можно объяснить полученные максимальные значения относительных нормальных сил морозного пучения в опытах Н. А. Толкачева.

Изучение нормальных морозного пучения в природных условиях Н. А. Толкачев проводил в районе Лыткарино на опытной площадке, сложенной покрывным суглинком при уровне залегания грунтовых вод на глубине 2 м. На поверхности грунта были установлены два штампа диаметром 35 и 50 см. Для каждого штампа зарыты в грунт по две штанги из стали круглого сечения диаметром 30 мм. К нижнему концу штанги приваривались анкеры из уголка 75×8 мм длиной 1,2 м. На анкеры укладывались железобетонные плиты перекрытий, и траншея засыпалась грунтом. На верхнем конце каждой штанги имелись проушины для закрепления двутавровых балок (№ 10 и 14). Между штам-

пом и упорной балкой устанавливалась раздвижная муфта на винтах, посредством которой можно было удерживать подошву штампа на постоянном уровне и передавать давление на балку от действия сил морозного пучения.

До монтажа опытной установки и штампа балка тарировалась гидравлическим прессом с измерением прогиба по показанию мес-суры часового типа с ценой деления 0,01 мм.

В основном принятая силоизмерительная схема заимствована из работы В. Ф. Жукова и С. С. Вялова, которые применяли ее для определения касательных сил морозного пучения. Эту схему использовали впоследствии многие исследователи при проведении опытов в полевых условиях по определению касательных сил пучения. Цель применения Н. А. Толкачевым раздвижной муфты заключалась в достижении возможности исключить выпучивания штампов при промерзании и пучении грунтов под ними.

При наличии подъема штампа на 0,5—1 мм увеличивалось давление на штамп через раздвижную муфту до тех пор, пока штамп не займет проектное высотное положение. Такое регулирование было не вполне совершенено и в конечном итоге положение штампов оказалось выше начального уровня. Штамп диаметром 35 см поднялся на 23 мм, а штамп диаметром 50 см — на 33 мм. Наличие такого перемещения вверх, безусловно, сказалось на результатах наблюдений..

В этих опытах относительные силы морозного пучения по штампу диаметром 35 см составили 0,31 МПа, по штампу диаметром 50 см — 0,43 МПа. По этим данным не представляется возможности судить о каких-либо зависимостях, но все же экспериментальные исследования нормальных сил пучения в полевых условиях на опытной площадке в Лыткарино послужили исходным материалом для разработки более обоснованной методики этих исследований в природных условиях на моделях фундаментов по размежрам, близким к применяемым в практике строительства.

Задаваясь целью установить значение нормальных сил пучения, Н. А. Толкачев [80] в течение двух зимних сезонов проводил опыты в полевых условиях нагружением четырех фундаментов постоянной нагрузкой. Так, на спланированную поверхность грунта были установлены четыре металлические плиты диаметром 50 см с нагрузкой 0,1, 0,2, 0,4 и 0,5 МПа. Давление на плиту создавалось путем укладки бетонных блоков до промерзания грунта. В течение всей зимы нагрузка оставалась на каждом фундаменте постоянной. За глубиной промерзания грунта и вертикальными перемещениями этих четырех установок проводились систематические наблюдения нивелированием с одной стоянки. Грунты на площадке на глубине до 2 м относились по возрасту к пучинистым, по составу — к мелкопылеватому покровному суглинку четвертичных образований.

Итоговые результаты наблюдений за глубиной промерзания грунта и морозным пучением по-разному нагруженных металлических плит приведены ниже:

	1958—1959 гг.	1959—1960 гг.
Глубина промерзания грунта, см	105	141
Высота морозного пучения, мм:		
поверхности грунта без нагрузки	48	68
плиты с давлением 0,1 МПа	29	41
то же, 0,2 МПа	20	26
то же, 0,4 МПа	9	13
то же, 0,5 МПа	0	7

Из приведенных результатов наблюдений за вертикальными перемещениями нагруженных плит видно, что зимой 1958—1959 гг. при промерзании грунта на 105 см нормальные силы пучения оказались большими при давлении 0,4 и меньшими при давлении 0,5 МПа, т. е. эти силы были уравновешены давлением 0,5 МПа. При промерзании грунта зимой 1959/60 г. на 141 см давление 0,5 МПа не уравновесило нормальных сил морозного пучения и величины вертикального перемещения (выпучивания) оказались значительно выше.

Отмечается закономерное снижение деформации пучения плит в зависимости от приложенной внешней нагрузки к этим плитам.

В течение зимних сезонов 1970/71 и 1971/72 г. на экспериментальной установке в условиях несливающегося сезонно-промерзающего слоя грунта с вечномерзлым величины нормальных сил морозного пучения грунтов определял Э. А. Маров [51].

На площадке, где проводились опыты, с поверхности до глубины 2,3—3,5 м залегают покровные суглинки, подстилаемые лагунно-морскими отложениями на пройденную глубину до 12 м. Верхняя граница венномерзлого грунта залегает на глубине 3,5—4,5 м, толщина слоя сезонного промерзания колеблется в пределах 2—2,7 м. Мерзлая толща сезонного промерзания характеризуется тонкослоистой текстурой с включениями ледяных шлифов от долей миллиметра до 3 мм.

Среднезимние температуры сезоннопромерзающего слоя с глубины от 0,5 до 2 м колеблются от —2,4 до —0,1°C. Температура грунта измерялась ртутными термометрами, устанавливающими в специально оборудованной скважине глубиной 10 м. Наблюдения за глубиной промерзания грунта проводились по четырем мерзлотометрам Данилина.

Физические свойства покровного суглинка характеризовались следующими показателями:

природная влажность, доли единицы	0,2—0,34
влажность на границе текучести, доли единицы	0,23—0,31

влажность на границе раскатывания, доли единицы	0,13—0,24
число пластичности	0,07—0,13
объемная масса грунта, $\text{г}/\text{см}^3$	1,76—1,99
объемная масса скелета грунта, $\text{г}/\text{см}^3$	1,33—1,66
пористость, %	38—50
коэффициент пористости	0,62—1,0

Наибольшие значения природной влажности грунта перед промерзанием (0,29—0,35) приурочены к слою на глубине 1—1,5 м. Грунтовые воды при бурении скважин на глубине до 12 м не встречены.

Конструкция экспериментальной установки Фундаментопроекта для измерения нормальных сил морозного пучения состояла из четырех анкеров и стальных труб, вмороженных в вечномерзлый грунт на глубину 8 м, в слое сезонного промерзания грунта на анкерные трубы были одеты обсадные трубы большего диаметра, зазор между трубами заполнялся солидолом во избежание действия касательных сил морозного пучения на анкерные трубы. К верхнему концу анкерных труб крепились двутавровые балки с приваренной в середине втулкой, в которую ввинчен опорный столик и два динамометра растяжения типа ДПУ, фиксирующих возрастающее усилие морозного пучения в зависимости от глубины промерзания грунта. В качестве опытного фундамента применялся металлический штамп с размером подошвы 30×30 см, устанавливаемый на глубине 30 см и на поверхности.

По полученным результатам наблюдений Э. А. Маров отмечает, что за два зимних сезона удельные нормальные силы морозного пучения увеличивались в продолжении всего периода промерзания грунта. Так, удельная нормальная сила пучения зимой 1970/71 г. достигла 0,95 МПа при промерзании грунта под штампом на 2,5 м, а в следующем сезоне она достигла 0,76 МПа при промерзании грунта на 2,4 м.

В итоге анализа полученных опытных данных Э. А. Маров пришел к заключению, что величина давления нормальных сил морозного пучения на подошву фундамента «будет находиться в прямой зависимости от толщины слоя промерзающего грунта, находящегося ниже подошвы фундамента». Эта зависимость подтверждена также экспериментальными данными и других исследователей.

Таким образом, наиболее достоверными результатами действия нормальных сил пучения будут только опытные данные, получаемые на строительных площадках в природных условиях на установках без возможности смещения подошвы фундамента.

Глава III. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ НОРМАЛЬНЫХ СИЛ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ ГРУНТОВ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

В соответствии со СНиП II-15—74 требуется проверять устойчивость фундаментов на действие нормальных сил морозного пучения, особенно в тех случаях, когда подошва фундамента закладывается в слое сезонного промерзания на пучинистых грунтах. Этот расчет в основном зависит от нормативного давления промерзающего грунта на подошву фундамента. Все попытки получить количественные значения относительных нормальных сил морозного пучения на образцах в лабораторных условиях не имели успеха, так как при лабораторных испытаниях не может быть соблюдено подобие промерзания и пучения грунтов под нагруженными фундаментами в природных условиях, т. е. нет соответствия сопротивления среды в опыте на образцах с сопротивлением среды силам морозного пучения грунтов под давлением фундамента на строительной площадке. Следовательно, в расчетах устойчивости фундаментов на действие нормальных сил морозного пучения применять данные лабораторных испытаний совершенно недопустимо.

Наиболее достоверными в какой-то степени пока признаются результаты экспериментальных определений нормальных сил морозного пучения грунтов в натуральных условиях на специально оборудованных опытных площадках.

Для изучения действия нормальных сил морозного пучения грунтов на подошву фундаментов в природных условиях, как уже было рассмотрено во II гл., применялись две установки: одна с анкерным устройством для передачи давления на штамп через упорную балку и вторая с передачей давления на штамп непосредственным его нагружением. Как показал опыт проведения полевых наблюдений нормальных сил пучения, установка с анкерным устройством оказалась более предпочтительной — получаемые на ней данные более точные и не так ограничены варианты. Особенno возникают трудности с нагружением штампа с большей площадью подошвы и давлением на него 0,5 МПа. Проводить измерения возле такой установки с большими нагрузками небезопасно, и при этом почти исключается возможность обеспечить регулировку удержания подошвы штампа на постоянном уровне в процессе промерзания и пучения грунта.

Из этих соображений при разработке методики для проведения исследований нормальных сил морозного пучения автором была принята экспериментальная установка для передачи давления на штамп с применением анкерного устройства и упорных балок, при этом исходными были следующие методологические требования:

1) проведение испытания на сильно- и среднепучинистых грунтах, промерзающих в натуральных условиях;

- 2) обеспечение стабильности устойчивости всех анкеров экспериментальной установки;
- 3) соблюдение условия несмещаемости подошвы штампа в течение проведения опыта при промерзании и пучении грунта;
- 4) возможность одновременного проведения трех опытов в течение одной зимы на одной экспериментальной установке;
- 5) базирование при проведении испытаний на серийно выпускаемую измерительную аппаратуру и общепринятые приборы;
- 6) возможность сохранения экспериментальной установки для проведения повторных испытаний в течение нескольких зим подряд;
- 7) создание наиболее благоприятных условий для содержания опытной установки, сохранения применяемой измерительной аппаратуры и облегчения труда при проведении экспериментальных работ.

На основании разработанной автором методики в НИИ оснований была запроектирована и изготовлена на механическом экспериментальном заводе им. Кучеренко установка (рис. 1), которая была размещена на площадке Загорского научно-экспериментального полигона на средне- и сильнопучинистых грунтах (характеристика грунтов опытной площадки дана в гл. IV).

На выбранном для опытов участке драглайном был открыт котлован глубиной 6 м, площадь котлована по дну 7×10 м. Рядом с экспериментальной установкой, ниже дна котлована на 1 м, были установлены три несмешаемых репера, состоящих из стальных стержней 10 диаметром 22 мм, металлических плит 13 с размерами $70 \times 70 \times 2$ см, скрепленных с нижними концами стержней. С целью исключения промерзания грунта к стержням с поверхности на стержни были одеты обсадные трубы 12 длиной 260 см. Зазор между стенками стержня и трубы заполнялся солидолом. Металлические анкеры трех реперов, установленные в шурфы, засыпались грунтом с послойным уплотнением ручной трамбовкой на глубину 1 м до уровня дна котлована. Затем были установлены шесть металлических анкеров 11 длиной 100 см, к ним гайками на двойной резьбе укреплялись металлические тяжи 9 длиной 6 м и диаметром 50 мм.

На металлические анкеры были уложены четыре 5-метровые железобетонные колонны 15, а по их концам — железобетонные плиты перекрытий 16 длиной 5 м. Затем все шесть анкерных тяжей по их верхним концам были закреплены в строго вертикальном положении и произведена обратная засыпка котлована бульдозером отдельными небольшими порциями грунта, который разравнивался и тщательно уплотнялся ручными трамбовками. Объем насыпанного и уплотненного грунта высотой 5 м на железобетонное анкерное устройство площадью 30 м^2 составляет 150 м^3 . При плотности грунта $2 \text{ т}/\text{м}^3$ удерживающая сила анкерного устройства равна 300 т, а для каждого фундамента-штампа

(на два тяжа) сила, удерживающая анкер, не считая веса всей установки из железобетона, составляет более 1000 кН.

Если на каждый фундамент-штамп будет устанавливаться для измерения нормальных сил пучения по одному 50-тонному динамометру, то сопротивление анкерного устройства превысит наиболее вероятные нормальные силы морозного пучения в 2 раза, чем и гарантируется обеспечение стабильной устойчивости всех анкеров экспериментальной установки.

На несущие тяжи, так же как и на реперные стержни, были одеты обсадные трубы 12 диаметром 60 мм и длиной 260 см для исключения влияния на тяжи касательных сил морозного пучения. После засыпки котлована и тщательного уплотнения грунта произведена планировка всей поверхности участка.

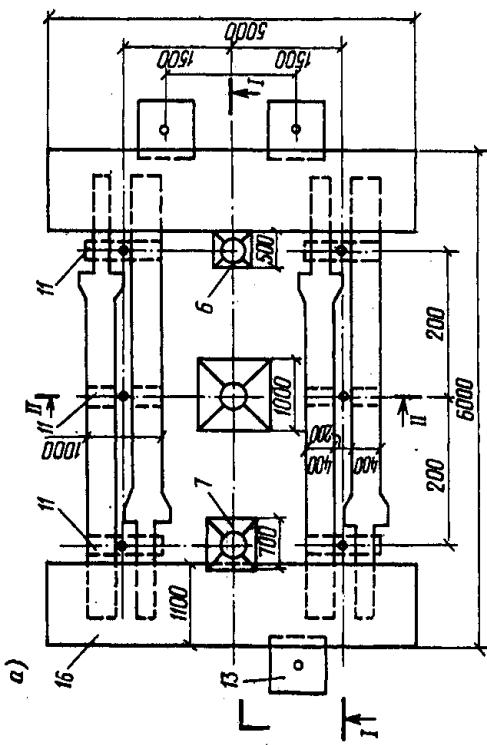
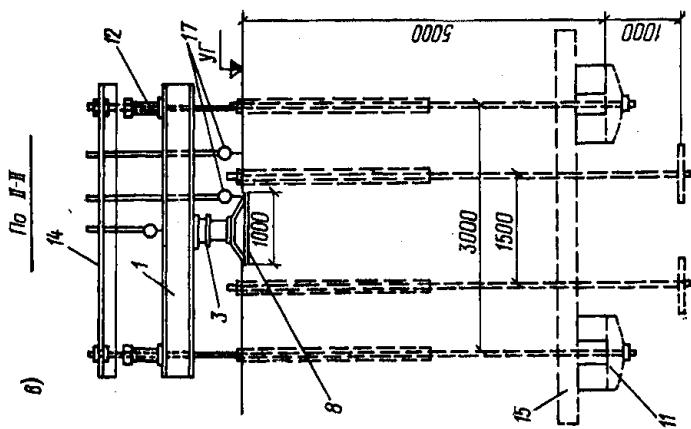
Экспериментальная установка предусмотрена на одновременное проведение трех параллельных опытов, поэтому к каждым двум парам тяжей крепились мощные металлические балки с таким расчетом, чтобы они не сгибались при воздействии нормальных сил морозного пучения в зависимости от глубины заложения и площади подошвы фундамента.

На рис. 1 показано расположение анкерного устройства; по разрезу I—I видно заглубление трех парных анкеров и двух несмешаемых реперов. На фундаменты-штампы устанавливались подставки 5 из отрезка металлической трубы с крышкой, между подставкой и упорной балкой устанавливались динамометры 3, 4.

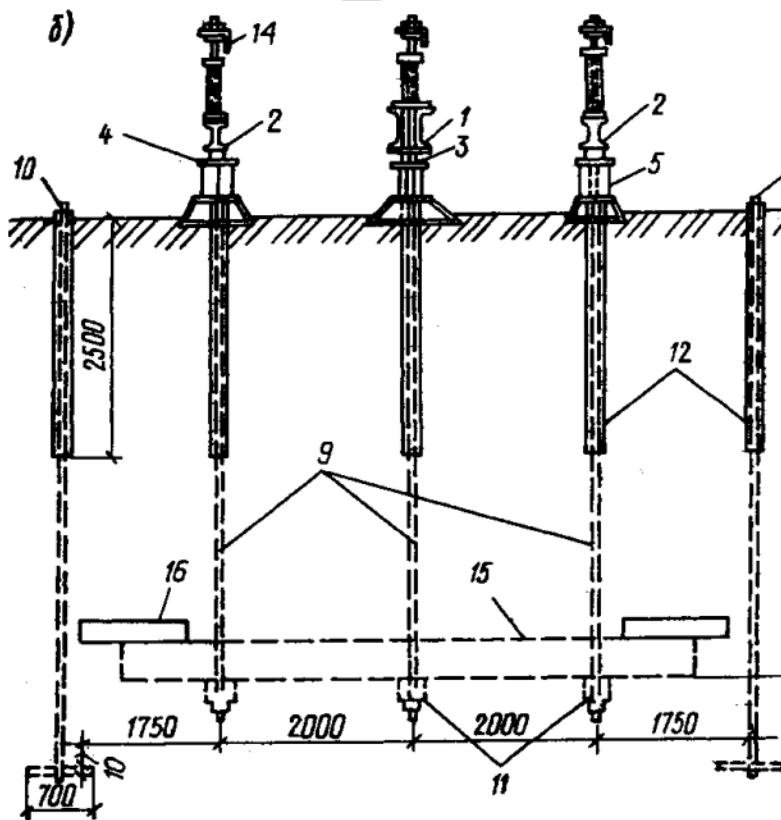
На разрезе II—II показано крепление упорных балок 1, 2 (одна из них спаренная из двух швеллеров № 40 и две другие — из двутавра № 30), опирающихся на фундамент-штамп 8. Сверху балки на тяжи одеты металлические трубы 12 длиной 50 см и диаметром 60 мм, закрепленные двумя гайками, по которым можно регулировать проектное вертикальное положение подошвы штампа (смещение штампа морозным пучением на величину деформации динамометра). На верхних концах тяжей прикреплен независимо от упорной балки уголок 14 ($75 \times 75 \times 8$ мм) для контроля по мессуре 17 за возможной деформацией изгиба балки. Кроме того, контроль за горизонтальными смещениями анкеров и всей установки осуществлялся путем нивелирования (по методике, изложенной в Указаниях по наблюдениям за осадкой зданий и сооружений НИИ оснований) с привязкой данных наблюдений к несмешаемым реперам 10.

Деформации поверхности грунта от морозного пучения вокруг фундаментов-штампов измерялись по показаниям мессур, установленных на металлические пластинки, нормальные силы морозного пучения грунтов определялись по показаниям мессур, установленных на динамометрах на сжатие ДОСМ-50 системы Токаря, выдерживающих усилие на сжатие 500 кН.

После того как была полностью смонтирована экспериментальная установка, построили ограждающее помещение размерами в плане 8×10 м с целью предохранения всей измерительной



No I-I



10
11/11

Рис. 1. Проект экспериментальной анкерной установки по исследованию нормальных сил морозного пучения грунтов

а — план; б — разрез I—I; в — разрез II-II; 1 — двутавровая балка; 2 — однотавровая балка; 3 — динамометр ДС-5; 4 — динамометр ДС-3; 5 — подставка; 6—8 — фундаменты; 9, 10 — тяжи; 11 — анкер; 12 — труба; 13 — металлический жесткий лист; 14 — швеллер; 15 — железобетонная балка; 16 — железобетонная плита; 17 — мессура

5000

1000

аппаратуры от повреждений и исключения сложной и трудоемкой работы в течение всей зимы по очистке экспериментальной площадки от снега. Чтобы предотвратить влияние ограждения на снижение глубины промерзания грунта внутри помещения на продольных стенах предусмотрены для вентиляции воздуха жалюзийные решетки.

Наблюдения за температурой воздуха в экспериментальном помещении проводились по показаниям ртутного термометра (большая модель Асмана), за глубиной промерзания и оттаивания грунта в помещении опытной установки у каждого фундамента — по мерзлотомерам Ратомского и Данилина соответственно рекомендациям НИИ оснований.

Сначала на экспериментальной установке изучали зависимость влияния глубины заложения фундамента на показания нормальных сил морозного пучения. С этой целью были установлены три фундамента одного размера подошвы (50×50 см) при глубинах заложения 10, 50 и 100 см. Этой зависимости в первый год получить не удалось, очевидно, вследствие податливости талого грунта от напряжений, передаваемых мерзлым слоем грунта. На этом опыты по изучению зависимости нормальных сил пучения от глубины заложения фундаментов были прекращены, поскольку для всех глубин нормальные силы пучения были около 0,15 МПа.

На этой же экспериментальной установке в дальнейшем в течение восьми зимних сезонов (с 1968/69 по 1979/80 гг.) изучались нормальные силы пучения в зависимости от размеров площади подошвы фундамента-штампа. На поверхности грунта были расположены без заглубления три металлических фундамента размерами 50×50 , 70×70 и 100×100 см под теми же упорными балками. Кроме того, была установлена в грунт металлическая труба с внутренним диаметром 76,4 и высотой 160 см. Эта труба была опущена вровень с поверхностью грунта в открытый шурф; наружные стенки были смазаны густо солидолом, затем обернуты толем и обложены досками торцом вниз. Пазухи между грунтом и трубой засыпаны грунтом с послойной утрамбовкой. Внутренние стены трубы также были смазаны солидолом и покрыты в два слоя рубероидом. Затем трубу заполняли тем же суглинком слоями 10—15 см и тщательно утрамбовывали каждый слой. На поверхность грунта в трубе уложен был металлический штамп, на который устанавливался динамометр на сжатие с упором на несмешающуюся балку. Цель опытов с трубой заключалась в установлении зависимости нормальных сил пучения от толщины мерзлого слоя ниже подошвы штампа.

Вся применяемая измерительная аппаратура ежегодно перед установкой тщательно проверялась (50-тонные динамометры тарировались в механической мастерской ЦНИИСКА, мерзлотомеры Ратомского и Данилина вновь заправлялись, дефектные мессуры заменялись исправными или ремонтировались).

Фундаменты-штампы, установленные на поверхность грунта, выдерживались под давлением 0,1 МПа для консолидации сильно-пучинистого грунта, затем перед промерзанием грунта между упорной балкой и подставкой устанавливались 50-тонные динамометры, по которым и проводились ежедневные наблюдения за нарастанием нормальных сил морозного пучения.

Вследствие того, что насыпной грунт, лежащий на анкерах экспериментальной площадки, после первого зимнего сезона самоуплотнился и на поверхности образовалась небольшая впадина, перед первой установкой опытных фундаментов на разную глубину пришлось сделать подсыпку грунта слоем от 10 до 15 см на всей площади внутри помещения.

После проведения опытов зимой 1967/68 г. летом фундаменты были извлечены из грунта, котолованы затрамбованы суглинком и перед установкой фундаментов-штампов с разной площадью подошвы опять пришлось спланировать поверхность грунта в опытном помещении с подсыпкой песчаного слоя толщиной до 10 см для выравнивания основания. При дальнейших опытных работах за период с 1968 по 1980 г. осадки поверхности грунта в помещении не наблюдалось и планировка площади с подсыпкой грунта больше не требовалась.

Как видно, комплекс проводимых работ по методике выполнения подразделяется на две части: экспериментальные работы, выполняемые в лабораторных и полевых условиях на Загорском опытном полигоне, и камеральные, выполняемые в НИИ оснований. Камеральные работы состоят из разработки методики и проекта установки, первичной камеральной обработки результатов наблюдений (составление сводных таблиц и вспомогательных графиков) и вторичной обработки результатов — обобщения и анализа полученных данных наблюдений, оформления отчетных материалов и обсуждения их на секции ученого совета НИИ оснований.

Глава IV. ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ

5. Климатическая и гидрогеологическая характеристика района Загорского стационара

Площадка для оборудования экспериментальных установок по исследованию деформации морозного пучения грунтов и нормальных сил морозного выпучивания расположена на территории Загорского стационара в Московской области.

Средняя многолетняя температура воздуха составляет 3,6°C. Наиболее теплый месяц — июль (среднемесячная температура

17,5°C), самый холодный — январь (среднемесячная температура минус 10°C). Среднегодовая сумма атмосферных осадков 650 мм, из них 60—70% выпадает в виде снега, который в этом районе ложится с начала ноября и растаивает в апреле. Толщина снежного покрова различна и зависит от расположения площадки, степени ее защищенности, различной интенсивности снегопада, переноса снега ветром, уплотнения слоя снежных отложений в периоды оттепелей и других факторов. В среднем по многолетним данным наблюдений толщина снежного покрова составляет 60 см, в отдельные годы в зависимости от погодных условий бывает от 20 до 100 см, максимальная толщина снежного покрова — в марте.

Время выпадения и условия формирования снежных отложений являются одной из важнейших причин, оказывающих большое влияние на ход и глубину сезонного промерзания грунтов. Результаты наблюдений показывают, что на покрытых снегом площадках Загорского стационара грунт промерзает на глубину от 15 до 35 см, в то время как на обнаженных площадках глубина промерзания грунта колеблется от 80 до 190 см.

Территория Загорского стационара представляет собой слабо понижающийся склон водораздельного плато с высотным отметками 225—230 м, поросший травянистой, кустарниковой и лесной растительностью. В северо-восточном углу территории стационара занимает участок на правом склоне долины р. Веля, притока р. Дубна, находящийся в пределах Клинско-Дмитровской возвышенности, характеризующейся резкой пересеченностью рельефа, большой дренированностью и редкими бессточными западинами. Почти в центре территории стационара имеется водоем — остаток углубленного русла лощины, занесенный по краям продуктами смыва с более возвышенных мест.

Наиболее древними породами, обнажающимися на территории Загорского стационара, являются меловые отложения, представленные песчаниками и темными слюдистыми песчанистыми глинами. Подстилающие их породы (вскрытые буровыми скважинами) — известняки и глины среднего и верхнего карбона, кровля которых расположена под уровнем русла реки. Ниже подстилают верхнеюрские черные глины.

На меловых отложениях повсеместно залегают четвертичные ледниковые и водно-ледниковые отложения, представленные двумя горизонтами морены, разделенными прослойми флювиогляциальных песков различной толщины. Вследствие того, что поверхность коренных пород неровная, толщина четвертичных отложений изменчива. Поверх четвертичных отложений залегают покровные суглинки толщиной слоя от 1,5 до 3—4 м; это безвалунные бурые или светло-коричневые отложения, плотные и в отдельных местах структурные с крупными порами.

Верхний слой на глубину до 1,5 м подразделяется на почвенные генетические горизонты. По гранулометрическому составу

преобладает пылеватая фракция диаметром от 0,1 до 0,005 мм. Типичный разрез геологических отложений для территории Загорского стационара характеризуется следующими породами:

	Толщина слоя, м
Суглинок бурый плотный влажный	0—2
Суглинок желто-бурый с включением редких валунов и про- слоек зеленоватой супеси	2—3
Песок желтый мелкозернистый с содержанием выветрелых ва- лунов из гранита	3—6
Суглинок бурого цвета плотного сложения с включениями галь- ки и валунов	6—8
Песок светло-желтый разнозернистый с содержанием гальки и гравия	8—14
Суглинок серовато-зеленый песчанистый с содержанием редких валунов и гальки	14—20
Песчаник плотный серовато-желтый, сверху на 10—15 см вывет- релый до дресвы и щебня*	20—38
Глина черная плотная слюдистая	38—38,5

Выдержаных водоносных горизонтов в четвертичных отложе-
ниях на территории Загорского стационара нет. Нижележащие ме-
ловые песчаники вследствие их трещиноватости и слабой цемен-
тации также не обеспечивают ясно выраженных водоносных гори-
зонтов. Подземные воды отмечаются в коренных породах между
отложениями темных песчанистых глин верхнего карбона и зале-
гающими над ними меловыми песчаниками. Эта вода прослежи-
вается на склоне вблизи р. Веля. Водоносный комплекс верхне-
каменноугольных отложений является главным ресурсом подзем-
ных вод района.

В покровных суглинках отмечается наличие верховодки, при-
уроченное лишь к пониженным участкам кровли моренных отло-
жений. На таком наиболее характерном участке с верховодкой и
выбрана площадка для проведения экспериментальных исследо-
ваний нормальных сил морозного пучения.

Согласно визуальному описанию грунтов по шурфам, заложен-
ным на площадке, и лабораторным исследованиям водно-физиче-
ских свойств, всю толщину грунта в слое сезонного промерзания
на участке слагают покровные суглинки, характеризующиеся сле-
дующим строением и физическими свойствами:

0—0,1 м — почвенно-растительный слой (густая сеть корней
травянистых растений с песчанистым и суглинистым заполните-
лем) темно-серого цвета мелкокомковатой структуры;

0,1—0,35 м — суглинок, участками супесь темно-серого цвета,
изнанку буровато-серого, мелкокомковатозернистой структуры
(в нижней части слоя отличается плитчатой структурой). Плоско-
сти структурных отдельностей покрыты бурым налетом; с глубины

* Встречаются тонкие слои плотной темно-серой слюдистой глины.

0,25 м — частые включения твердых черно-бурых круглых конкреций размером 1,0—1,5 мм. Грунт пористый, с отдельными макропорами диаметром до 1,0 мм; слой пронизан корнями травяных растений;

0,35—0,7 м — суглинок желто-серого и желто-бурового цвета мелкокомковатой структуры пористый (отдельные поры диаметром до 1 мм);

0,7—1,2 м — суглинок желто-буровый с голубовато-серыми пятнами преимущественно вертикального направления, полосы — по вертикальным трещинам. Структура грунта крупнокомковатая. Размер структурных отдельностей увеличивается сверху вниз. Преимущественный размер комков верхней части слоя от 3 до 4 см в поперечнике. В нижней части слоя грунт разбит трещинами на отдельные крупные блоки. Поверхность отдельностей покрыта голубовато-бурым налетом (оглеение, ожелезнение);

1,2—3 м — суглинок буровый, разбитый трещинами на крупные блоки. По поверхности трещин грунт избыточно увлажнен; на глубине 2,4 м по отдельным трещинам сочится вода (через 15 ч на дне шурфа скопилась вода слоем 10 см).

На всю пройденную глубину до 3 м грунты бескарбонатны (от соляной кислоты не вскипают). С глубиной визуально отмечается повышение влажности до полного водонасыщения грунта ниже 2,5 м. Закономерного возрастания плотности сложения грунта по глубине не замечается.

При описании грунта в шурфе отбирались образцы для определения его объемной массы, плотности твердых частиц, плотности скелета грунта, природной влажности, гранулометрического состава, физических свойств и химического состава. Образцы для химического анализа, определения гранулометрического состава и водно-физических свойств отбирались одновременно из одного и того же шурфа.

Физические свойства и химический состав грунтов опытной площадки исследовались в грунтовой лаборатории Фундамент-проекта (гранулометрический состав, плотность твердых частиц, пределы пластичности, гигроскопическая влажность и химический анализ). В полевых условиях определены объемная масса грунта и его природная влажность. Пористость, коэффициент пористости, степень водонасыщения и показатели консистенции получены расчетом по данным лабораторных и полевых исследований.

Как видно из табл. 1, пылеватые частицы в грунте преобладают и их содержание колеблется от 62,3 до 82,6%, что дает основание отнести этот грунт к разновидности пылеватого суглинка.

Водно-физические характеристики определены в слое сезонного промерзания через 25 см на глубине до 1 м и через 50 см — на глубине от 1 до 2 м (табл. 2). По данным таблицы, не наблюдается резкого изменения объемной массы и плотности скелета грунта в слое сезонного промерзания на глубине 2 м. Колебание их значений составляет сотые доли, число пластичности — в пре-

Таблица 1. Гранулометрический состав суглинка (%)

Глубина отбора образца, м	Песок				Пыль				Глина	
	2—1*	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	0,1—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	<0,005	0,005—0,002	<0,002
1	0	0,6	1,1	4,3	7,4	41,1	13,8	1,2	30,5	
2	0	0,1	0,1	0,4	9,7	56,6	16,3	8,8	8,0	
3	0	0,1	0,2	0,3	13,0	43,6	11,3	10,7	20,8	

* Указан размер частиц в миллиметрах.

Таблица 2. Водно-физические свойства пылеватого суглинка
(плотность твердых частиц 2,71)

Глубина отбора образца, м	Природная влажность W	Объемная масса грунта γ_w	Плотность скелета грунта γ_{sk}	Пределы пластичности			Пористость P , доли единицы	Коэффициент пористости ϵ	Степень водонасыщения g
				W_L	W_P	I_P			
0,25	0,15	1,84	1,60	0,32	0,20	0,12	0,41	0,695	0,585
0,50	0,19	1,95	1,63	0,32	0,20	0,12	0,40	0,665	0,798
0,75	0,24	1,98	1,61	0,34	0,20	0,14	0,41	0,695	0,928
1,00	0,27	1,99	1,57	0,35	0,18	0,17	0,42	0,728	1,000
1,50	0,26	1,98	1,57	0,31	0,18	0,13	0,42	0,728	0,970
2,00	0,26	1,99	1,58	0,30	0,18	0,12	0,42	0,717	0,985

делах 0,12—0,17. По СНиП II-15—74 этот грунт относится к суглинку, по консистенции в верхней части — к тугопластичному и полутвердому. На глубине от 1,5 до 2,0 м суглиночок имеет мягко-пластичную консистенцию. Значения пористости суглинистого грунта в его природном сложении колеблются от 0,40 до 0,42. Степень водонасыщения с глубиной возрастает до полного заполнения водой всех пор грунта.

Результаты химического анализа суглинка с трех глубин приведены ниже:

	1 м	2 м	3 м
Влажность, доли единицы . . .	0,05	0,04	0,05
Потери от прокаливания . . .	3,68	2,53	3,35
Кремнекислота (SiO_2) . . .	71,06	74,28	72,28

Полуторные окислы (P_2O_5) . . .	20,29	17,99	19,17
Окись железа (Fe_2O_3) . . .	4,99	4,29	4,59
» алюминия (Al_2O_3) . . .	15,30	13,70	14,58
» магния (MgO) . . .	1,49	1,30	1,33
» кальция (CaO) . . .	0,91	1,15	1,23
» марганца (MnO) . . .	0,08	0,10	0,08
Сульфаты (SO_3)	0,09	0,04	0,11

Как видно из вышеприведенных данных, в химическом составе суглинка преобладает кремнекислота, полуторные окислы составляют около пятой части всего химического состава, остальные четыре компонента в среднем около 2,6%. Химический состав грунта мало изменяется в зависимости от глубины. Это дает основание считать покровный суглиник на глубину до 3 м однородным по составу и химическим свойствам.

Во время проведения опытов по исследованию нормальных сил морозного пучения в помещении между опытными фундаментами площадью 50×50 и 100×100 см бурили скважины на глубину 2 м с целью отбора проб грунта для определения его природной влажности как перед промерзанием, так и после полного промерзания; в первом случае скважины проходили почвенным буром, во втором — буром геолога. Пробы грунта на влажность отбирались через каждые 20 см, влажность определялась в лаборатории Загорского стационара сразу же после отбора проб (табл. 3).

Таблица 3. Изменение природной влажности грунта (доли единицы) в процессе его промерзания

Дата отбора пробы	Для отобранных проб с глубины, м							
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,5
25.11.70	0,31	0,21	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,29
23.03.71	0,36	0,33	0,32	0,30	0,28	0,27	0,26	0,26
29.09.75	0,51	0,41	0,33	0,24	0,24	0,26	0,23	0,26
10.05.76	0,30	0,41	0,25	0,19	0,26	0,26	0,30	0,29
10.11.76	0,49	0,25	0,22	0,24	0,25	0,25	0,24	0,25
11.04.77	0,39	0,25	0,27	0,23	0,26	0,24	0,26	0,24
11.04.78	0,41	0,38	0,29	0,28	0,24	0,24	—	0,22
02.11.78	0,50	0,28	0,26	0,26	0,28	0,27	0,28	0,29
16.05.79	0,28	0,33	0,26	0,28	0,30	0,29	0,27	0,29
29.10.79	0,26	0,26	0,26	0,25	0,25	0,26	0,26	0,25
10.04.80	0,43	0,41	0,28	0,26	0,25	0,26	0,31	—
16.06.80	0,39	0,30	0,27	0,26	0,25	0,25	0,25	0,26
12.11.80	0,24	0,25	0,25	0,24	0,25	0,25	0,26	—

Из приведенных данных видно, что наибольшие колебания природной влажности как до промерзания, так и после приурочены к верхнему слою до глубины 50 см, ниже 50 см она изменяется меньше.

Степень водонасыщения промерзающего и оттаивающего грунта (за редким исключением) соответствует единице. По консистенции покровный пылеватый суглинок в верхнем слое до 50 см относится к текучепластичному, в отдельных участках непостоянно наблюдается текучее состояние. Ниже залегает суглинок более устойчивой мягко- и тугопластичной консистенции. Таким образом, по степени заполнения пор грунта водой, по консистенции и составу грунты опытной площадки в период проведения опытов по определению нормальных сил морозного пучения относятся к сильнопучинистым.

6. Деформации морозного пучения грунтов свободной поверхности в зависимости от глубины промерзания

В 1977—1981 гг. проводились инструментальные наблюдения за величиной морозного пучения покровного суглинка по установленным на поверхности грунта в экспериментальном помещении трем металлическим маркам и одному бетонному блоку. Марки располагались на разном расстоянии от опытного фундамента с размерами подошвы 50×50 см: № 1 — на 40 см, № 2 — на 60 см, № 3 — на 80 см, бетонный блок — на 150 см. Методика проведения наблюдений за величиной морозного пучения грунта изложена в гл. III.

Глубина промерзания грунта определялась по мерзлотометру Ратомского, температура наружного воздуха в экспериментальном помещении отмечалась по ртутному термометру Асмана на момент снятия показаний высотного положения марок на поверхности грунта. Показания глубины промерзания грунта, пучения опытных марок и температуры воздуха в помещении приведены в табл. 4.

Таким образом, по величине морозного пучения грунт данной площадки можно отнести к сильнопучинистому. По полученным результатам прослеживаются две зависимости величины пучения — от глубины промерзания грунта и от влияния несмешаемого фундамента при промерзании.

За четыре года наблюдений морозное пучение грунта было непропорционально нарастанию глубины промерзания. Так, при промерзании грунта на 50 см деформации морозного пучения в основном приурочены к этому слою, ниже глубины 50 см промерзающий грунт деформируется незначительно.

Приведенные в табл. 4 данные морозного пучения грунта показывают влияние несмешаемого фундамента на величину деформации грунта от морозного пучения. Такое влияние можно проследить за три зимних сезона (с 1977—1978 по 1979—1980 гг.), а

Таблица 4. Результаты наблюдений за морозным пучением покровного суглинка по маркам, установленным на поверхности грунта в опытном помещении

Дата наблюдения 1	Глубина промерзания, см 2	Величина пучения (см) поверхностных марок и бетонного блока				Температура воздуха в опытном помещении, 0°C 7
		№ 1 3	№ 2 4	№ 3 5	бетонного блока 6	
1977 — 1978 гг.						
19.12.77	41	0,6	0,8	1,0	13,3	—
26.12.77	50	1,0	1,3	1,5	14,0	—
04.01.78	60	1,8	2,2	2,5	15,1	—
16.01.78	71	2,4	2,8	3,2	15,6	—
23.01.78	81	2,4	2,8	3,3	15,6	— 24
30.01.78	90	2,6	3,1	3,5	15,9	—
13.02.78	99	2,8	3,3	3,8	17,4	— 2
24.02.78	112	2,9	3,5	4,0	17,5	— 17,5
06.03.78	122	3,0	3,6	4,1	17,6	— 2,8
31.03.78	122	3,2	4,1	4,6	18,4	— 6,4
1978 — 1979 гг.						
08.12.78	11	7,6	7,4	7,2	8,4	— 5,8
13.12.78	31	8,5	8,5	8,4	10,3	— 15
18.12.78	40	8,9	8,8	8,7	11,0	— 31
22.12.78	50	9,1	9,0	9,0	11,3	— 24
29.12.78	77	9,3	9,2	9,2	11,6	— 27,5
24.01.79	120	9,5	9,5	9,5	11,9	— 20
22.02.79	127	9,7	9,7	9,8	12,1	— 16,2
1979 — 1980 гг.						
31.11.79	14	0,1	0,2	0,1	0	— 6,4
10.12.79	22	1,6	2,2	1,5	1,9	— 10,4
17.12.79	37	3,2	4,1	3,8	4,4	— 11,3
24.12.79	40	4,0	5,1	5,0	5,2	— 12
07.01.80	56	5,0	6,2	6,1	7,8	— 13
18.01.80	77	5,4	6,7	6,8	7,8	— 10
28.01.80	90	5,7	7,0	7,2	8,1	— 21,4
11.02.80	108	5,8	7,2	7,4	8,6	— 15,6
18.02.80	114	5,9	7,4	7,6	8,6	— 10
29.02.80	121	6,0	7,4	7,7	8,7	— 10

1	2	3	4	5	6	7
1980 — 1981 гг.						
01.12.80	17	3,6	3,6	4,6	2,6	— 15
08.12.80	28	6,8	6,7	7,9	5,7	— 12,8
15.12.80	41	7,9	7,8	8,9	7,3	+ 0,9
31.12.80	41	8,1	7,8	8,9	8,0	— 2,1
01.01.81	41	8,9	8,6	9,7	8,7	— 7,6
12.01.81	52	12,7	12,6	14,0	10,7	— 8
21.01.81	56	14,1	14,2	15,1	12,6	— 7
23.02.81	70	15,2	15,0	16,1	13,2	— 7,2
09.03.81	88	16,7	16,5	16,6	16,1	— 7,4
30.03.81	93	17,3	16,8	16,8	16,2	— 2

зимой 1980—1981 гг. фундамент свободно лежал на грунте без упора в анкерную балку, поэтому имелась возможность свободно подниматься фундаменту при промерзании и пучения грунта. Таким образом, исключалась возможность влиять на величину морозного пучения грунта вблизи ненагруженного фундамента. Как видим, по состоянию на 30 марта 1981 г. морозное пучение по всем четырем маркам почти одинаковое, что и объясняется отсутствием влияния на величину морозного пучения нагруженного фундамента.

Приведенные материалы гидрогеологических и грунтовых исследований на опытной площадке Загорского стационара доказывают, что грунты в промерзающем слое по составу, природной влажности, условиям их увлажнения и величине деформации свободной поверхности от морозного пучения относятся к среднепучинистым и в большей части к сильнопучинистым.

Глава V. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СИЛ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ ГРУНТОВ НА ОПЫТНОМ ПОЛИГОНЕ

С целью выявления зависимостей удельных нормальных сил морозного пучения от глубины промерзания грунтов и размеров подошвы фундаментов автором проводились экспериментальные исследования в природных условиях на крупноразмерных фундаментах-штампах (с 1968 по 1973 г. и с 1977 по 1980 г.).

В опытах применялись металлические фундаменты-штампы с размерами 50×50 , 70×70 и 100×100 см, устанавливаемые без заглубления в грунт на сильноупучистые грунты, при всех прочих равных условиях. Кроме того, в течение четырех зимних сезонов (с 1968 по 1973 г.) на той же опытной площадке определяли удельные нормальные силы морозного пучения грунта, уложенного в металлическую трубу диаметром 76,4 см и высотой 160 см, погруженную в грунт на отметку с дневной поверхностью.

Подсчет удельных нормальных сил морозного пучения производился в следующем порядке: по показаниям мессур 50-тонных динамометров и тарировочным графикам устанавливалась величина нормальной силы морозного пучения в тоннах на фундамент-штамп, а частное от деления нормальной силы на площадь подошвы фундамента-штампа составляет величину удельных нормальных сил пучения.

Полученные опытные данные имеют большую практическую ценность при строительстве малоэтажных зданий и сооружений с незаглубленными и мелкозаглубленными фундаментами.

7. Удельные нормальные силы морозного пучения в зависимости от глубины промерзания грунта ниже подошвы опытного фундамента-штампа

Наблюдения за изменением нормальных сил морозного пучения производились одновременно по всем четырем фундаментам-штампам с начала промерзания грунта с ноября-декабря до полного его оттаивания в апреле-мае.

Данные наблюдений за удельными нормальными силами морозного пучения в зависимости от глубины промерзания и диаметра фундамента-штампа за зимний сезон помещены в табл. 5—12, а кривые значений удельных нормальных сил морозного пучения $\sigma_{уд}$ в зависимости от глубины промерзания $h_{см}$ отмечены на рис. 2—9 для фундаментов с размерами подошвы 50×50 см (1), 70×70 см (2), 100×100 см (3) и для штампа диаметром 76,4 см (4).

По данным табл. 5 можно отметить, что наибольшие значения воздействия удельных нормальных сил морозного пучения приходятся на фундамент 1 при промерзании грунта на 9 см, а по всем остальным фундаментам $\sigma_{уд}$ оказались в 3 раза меньше, чем по фундаменту 1. За время с 26 ноября по 4 декабря значения $\sigma_{уд}$, как видим, опять значительно возросли по фундаменту 1, меньшее возрастание отмечается у фундамента 2, еще меньшее — у фундамента 3, а под штампом 4 — небольшое снижение. Как видно из таблицы, 30 декабря грунт промерз на 50 см и значения $\sigma_{уд}$ по сравнению с показателями на 4 декабря по всем фундаментам возросли почти вдвое при увеличении толщины мерзлого слоя на 24 см.

Таблица 5. Удельные нормальные силы морозного пучения суп., МПа, действующие на подошву фундаментов за 1968—1969 гг.

Дата наблюдений	Глубина промерзания, см	Для фундаментов с размерами, см			
		50×50	70×70	100×100	трубы $d = 76,4$
1	2	3	4	5	6
Ноябрь 1968 г.					
5	0	0	0	0	0
13	9	0,015	0,005	0,005	0,005
18	10	0,042	0,021	0,021	0,011
20	17	0,054	0,025	0,025	0,017
22	20	0,067	0,033	0,031	0,022
26	25	0,090	0,050	0,049	0,029
28	25	0,111	0,060	0,050	0,028
29	25	0,119	0,062	0,052	0,028
Декабрь 1968 г.					
2	25	0,129	0,075	0,062	0,028
4	26	0,164	0,088	0,070	0,026
8	28	0,178	0,110	0,085	0,031
10	29	0,247	0,113	0,086	0,036
12	36	0,266	0,122	0,102	0,046
13	40	0,270	0,125	0,104	0,048
17	44	0,251	0,129	0,098	0,041
19	45	0,280	0,136	0,112	0,043
23	47	0,280	0,144	0,116	0,043
25	47	0,292	0,149	0,118	0,043
27	48	0,298	0,153	0,120	0,043
30	50	0,314	0,164	0,127	0,050
Январь 1969 г.					
3	53	0,330	0,162	0,120	0,049
7	58	0,382	0,170	0,139	0,051
9	63	0,412	0,180	0,147	0,052
10	65	0,416	0,185	0,152	0,053
14	82	0,473	0,210	0,164	0,056
16	86	0,473	0,216	0,157	0,059
22	96	0,500	0,198	0,146	0,053
27	104	0,509	0,214	0,154	0,054
29	109	0,535	0,226	0,165	0,049

Продолжение табл. 5

1	2	3	4	5	6
30	111	0,535	0,222	0,160	0,047
31	112	0,526	0,220	0,155	0,045
Февраль 1969 г.					
4	120	0,544	0,246	0,174	0,050
6	123	0,539	—	0,145	0,043
10	128	0,489	0,222	0,143	0,036
13	132	0,500	0,218	0,147	0,038
18	140	0,512	0,232	0,156	0,052
21	143	0,507	0,232	0,155	0,049
24	146	0,491	0,226	0,145	0,049
26	150	0,489	0,220	0,139	0,046
28	152	0,491	0,218	0,137	0,044
Март 1969 г.					
4	160	0,452	0,208	0,128	0,039
6	162	0,448	0,208	0,129	0,039
10	163	0,476	0,222	0,142	0,039
12	164	0,450	0,213	0,126	0,047
14	164	0,446	0,210	0,123	0,048
18	165	0,436	0,205	0,118	0,044
20	166	0,446	0,218	0,128	0,050
21	166	0,450	0,226	0,133	0,053
26	170	0,490	0,222	0,127	0,051
31	173	0,460	0,240	0,140	0,050
Апрель 1969 г.					
3	175	0,446	0,240	0,148	0,060
7	176	0,389	0,242	0,140	0,058
9	177	—	0,230	0,128	0,055
14	178	0,320	0,179	0,117	0,052
21	178	0,209	0,013	0,042	0,032
24	178	0,039	0,013	0,010	0
Май 1969 г.					
6	175	0	0	0	0
10	174	0	0	0	0

Максимальные значения $\sigma_{уд}$ по трем фундаментам (1—3) отмечены по состоянию на 4 февраля при промерзании грунта на 120 см. По штампу 4 максимальное значение $\sigma_{уд}$ наблюдается раньше на 15 дней, т. е. 16 января, при глубине промерзания грунта 86 см.

Как видно из рис. 2, при дальнейшем промерзании грунта от 120 до 178 см значения $\sigma_{уд}$ большие не превышались. Причину получения наибольших значений $\sigma_{уд}$ для фундамента 1 можно объяснить тем, что зона распределения напряжений в грунте будет меньшей, чем у фундаментов 2 и 3, и грунт в этой зоне за два года уже достаточно был уплотнен. У фундаментов же с большими размерами подошвы напряженная зона в грунте будет большей, кроме того, грунт, видимо, недостаточно был уплотнен, и только этим объясняется снижение значений $\sigma_{уд}$. На показания значений в металлической трубе 4, очевидно, также повлияла недостаточная плотность сложения грунта, промерзающего в трубе в первую зиму.

Исследования удельных нормальных сил морозного лущения грунтов продолжались на той же экспериментальной установке за весь зимний сезон 1969—1970 гг. Полученные данные наблюдений за изменениями $\sigma_{уд}$ приведены в табл. 6 и на рис. 2,а.

Как видно из таблицы по состоянию на 29 декабря при промерзании грунта до 50 см значения $\sigma_{уд}$ для фундамента 1 достигло 0,468 МПа, для фундамента 2 — 0,264 МПа и для фундамента 3 — 0,152 МПа. Глубина промерзания грунта для всех трех фундаментов была одинаковая, но значения $\sigma_{уд}$ с возрастанием площади подошвы снижались: у фундамента 2 в 2 раза, а у фундамента 3 — в 3 раза по сравнению с этим показателем фундамента 1.

С нарастанием толщины твердомерзлого слоя грунта ниже подошвы фундаментов значения $\sigma_{уд}$ возрастают с разной скоростью. Так, максимальные значения по всем трем фундаментам приурочены к первой декаде марта при глубине промерзания грунта на 123—125 см. С дальнейшим нарастанием глубины промерзания значения $\sigma_{уд}$ по этим трем фундаментам снизились, за исключением штампа 4, где максимальное значение $\sigma_{уд}$ отмечено при глубине промерзания на 132 см.

Полученная величина максимального значения $\sigma_{уд}$ по штампу 4, равная 0,061 МПа, не сопоставима с величинами максимальных значений по фундаментам 1—3, несмотря на то, что глубина промерзания грунта при максимальном значении $\sigma_{уд}$ была больше глубины промерзания по фундаментам 1—3.

На рис. 2,б отчетливо прослеживается зависимость возрастания значения $\sigma_{уд}$ с увеличением глубины промерзания грунта по всем фундаментам, за исключением штампа 4 в металлической трубе.

Значения $\sigma_{уд}$, действующие на подошвы фундаментов зимой 1970/71 г., приведены в табл. 7. Этот сезон отличался наступ-

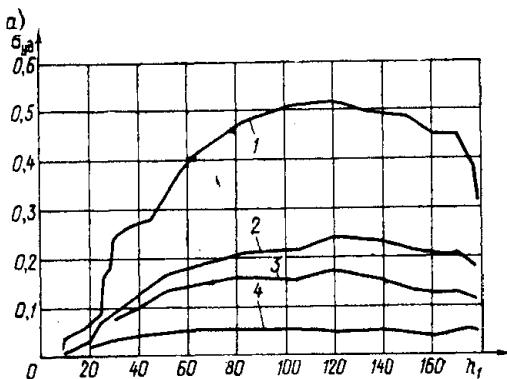


Рис. 2. Данные наблюдений за изменениями удельных нормальных сил морозного пучения
 а — в зависимости от площади подошвы фундамента и глубины промерзания грунта (1968—1969 гг.); б — то же, от толщины твердо-мерзлого слоя грунта ниже подошвы фундамента (1969—1970 гг.); в — то же, от глубины промерзания грунтов (1970—1971 гг.); г — то же, от скорости промерзания грунта (1971—1972 г.); д — то же, от толщины твердо-мерзлого слоя грунта под подошвой фундаментов (1972—1973 гг.)

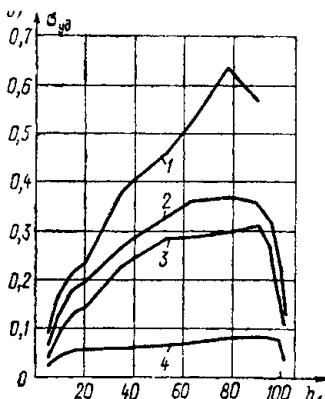
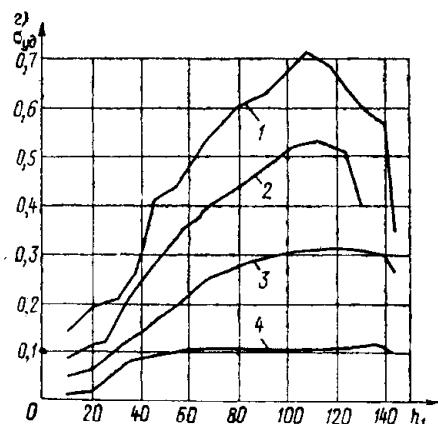
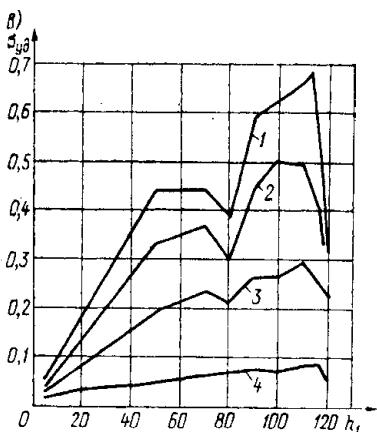
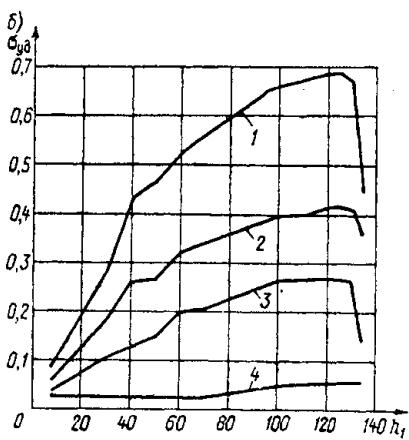


Таблица 6. Удельные нормальные силы морозного пучения σ_{ud} , МПа, действующие на подошву фундаментов за 1969—1970 гг.

Дата наблюдений 1	Глубина промерзания, см 2	Для фундаментов с размерами, см			
		50×50 3	70×70 4	100×100 5	трубы $d = 76,4$ 6
Декабрь 1969 г.					
8	0	0	0	0	0
10	3	0,075	0,0492	0	0,017
11	8	0,089	0,0566	0,04	0,025
22	25	0,282	0,180	0,108	0,024
24	42	0,368	0,218	0,128	0,024
26	40	0,432	0,257	0,148	0,024
29	50	0,468	0,264	0,152	0,024
Январь 1970 г.					
6	60	0,520	0,320	0,194	0,024
7	66	0,520	0,304	0,192	0,024
8	67	0,520	0,297	0,193	0,024
9	68	0,475	0,304	0,183	0,018
12	69	0,482	0,297	0,176	0,017
14	71	0,534	0,336	0,209	0,023
15	72	0,551	0,344	0,213	0,027
19	76	0,551	0,332	0,199	0,028
21	80	0,596	0,358	0,226	0,033
23	84	0,613	0,368	0,239	0,039
26	88	0,625	0,377	0,245	0,043
28	91	0,629	0,382	0,244	0,043
30	92	0,634	0,373	0,239	0,043
Февраль 1970 г.					
2	95	0,654	0,374	0,254	0,048
4	99	0,662	0,396	0,262	0,050
5	100	0,662	0,398	0,265	0,052
9	105	0,662	0,399	0,256	0,053
10	106	0,676	0,406	0,269	0,053
13	109	0,672	0,386	0,245	0,056
16	111	0,662	0,400	—	0,056
18	113	0,676	0,400	0,250	0,056
20	115	0,676	0,412	0,258	0,056

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5	6
23	118	0,688	0,432	0,264	0,048
25	120	0,688	0,414	0,270	0,055
26	121	0,676	0,406	0,258	0,055
Март 1970 г.					
2	123	0,692	0,414	0,274	0,054
5	125	0,688	0,420	0,270	0,056
9	127	0,688	0,414	0,255	0,053
11	128	0,656	0,406	0,249	0,055
12	129	0,656	0,407	0,250	0,053
16	130	0,676	0,432	0,267	0,058
18	131	0,676	0,408	0,255	0,059
23	132	0,521	0,397	0,236	0,061
24	133	0,485	0,386	0,234	0,061
27	134	0,451	0,370	0,223	0,061
Апрель 1970 г.					
2	134	0,440	0,366	0,223	0,061
8	134	0,440	0,147	0,143	0,006
10	132	0,010	0,005	0,003	0

Таблица 7. Удельные нормальные силы морозного пучения ^{суд}, МПа, действующие на подошву фундаментов за 1970—1971 гг.

Дата наблюдений	Глубина промерзания, см	Для фундаментов с размерами, см			
		50×50	70×70	100×100	трубы $d = 76,4$
1	2	3	4	5	6
Ноябрь 1970 г.					
20	0	0	0	0	0
27	1	0,005	0	0	0,022
30	5	0,0615	0,044	0,029	0,022
Декабрь 1970 г.					
4	20	0,187	0,139	0,082	0,033
8	23	0,197	0,149	0,094	0,034
14	26	0,138	0,118	0,079	0,038
21	28	0,308	0,223	0,135	0,035

Продолжение табл. 7

1	2	3	4	5	6
24	—	0,322	0,266	0,151	0,035
25	35	0,322	0,248	0,148	0,038
28	42	0,374	0,284	0,167	0,038
Январь 1971 г.					
4	50	0,440	0,330	0,195	0,046
7	58	0,488	0,358	0,209	0,048
11	64	0,468	0,360	0,220	0,061
15	64	0,350	0,350	0,198	0,062
19	69	0,444	0,366	0,213	0,067
20	69	0,445	0,368	0,229	0,066
21	70	0,448	0,372	0,235	0,066
22	70	0,390	0,372	0,236	0,061
25	70	0,272	0,231	0,191	0,062
28	70	0,116	0,145	0,150	0,060
Февраль 1971 г.					
1	70	0,076	0,110	0,128	0,048
4	70	0,056	0,095	0,121	0,042
8	71	0,076	0,010	0,116	0,041
11	72	0,174	0,160	0,147	0,054
15	80	0,390	0,300	0,216	0,070
19	83	0,536	0,400	0,254	0,076
22	90	0,596	0,449	0,270	0,076
25	94	0,620	0,488	0,277	0,080
Март 1971 г.					
1	97	0,380	0,479	0,264	0,076
3	99	0,608	0,485	0,260	0,075
4	100	0,624	0,501	0,266	0,076
5	101	0,582	0,496	0,273	0,078
9	106	0,650	0,500	0,291	0,084
15	110	0,660	0,494	0,295	0,082
18	113	0,685	0,580	0,295	0,087
22	116	0,600	0,484	0,279	0,090
23	117	0,533	0,480	0,272	0,091
24	118	0,440	0,408	0,238	0,089
25	119	0,390	0,400	0,233	0,080
29	120	0,374	0,386	0,229	0,070

1	2	3	4	5	6
Апрель 1971 г.					
1	120	0,322	0,312	0,157	0,080
8	120	0,089	0,118	0,041	0,080
19	120	0,010	0,069	0,020	0,062
21	120	0,010	0,064	0,005	0,069
22	120	0,010	0,044	0,005	0,067
23	120	0	0	0	0,066
27	120	0	0	0	0,060
Май 1971 г.					
4	120	0	0	0	0,011
12	120	0	0	0	0

лением продолжительной оттепели в период с 11 января по 8 февраля, которая резко отразилась на показаниях величины $\sigma_{уд}$. Вследствие теплового влияния оттепели глубина промерзания грунта в этот период не нарастала, а величины $\sigma_{уд}$ по фундаменту 1 понижались с 0,488 до 0,056 МПа. Такое понижение имело место и по остальным опытным фундаментам. Максимальные значения $\sigma_{уд}$ по фундаменту 1 — 0,685 МПа, по фундаменту 2 — 0,580 МПа, по фундаменту 3 — 0,295 МПа при глубине промерзания грунта на 113 см, а по штампу 4 — 0,091 МПа при глубине промерзания грунта на 117 см. С 18 марта по 23 апреля, когда отмечалось понижение сил морозного пучения, $\sigma_{уд}$ по всем фундаментам и штампу постепенно уменьшались до полного исчезновения.

На рис. 2,в показана прямая зависимость $\sigma_{уд}$ от глубины промерзания грунта на отрезке от 0 до 50 см. Затем на участке от 50 до 80 см эта зависимость нарушена вследствие задержки глубины промерзания в период оттепели, поэтому $\sigma_{уд}$ резко снизились по трем фундаментам (за исключением $\sigma_{уд}$ по штампу 4, вероятно, за счет доформации нижележащего талого грунта при уплотнении его под напряжением). Несмотря на резкое снижение $\sigma_{уд}$ в период оттепели, зависимость его значений от глубины промерзания грунта имеет место и в рассматриваемый сезон.

По табл. 8, где даны результаты наблюдений за 1971—1972 гг., обнаруживаются показания по всем фундаментам в пределах от 0,003 до 0,008 МПа при промерзании грунта только на 5 см. Далее при промерзании грунта ниже подошвы фундаментов на 25 см

значения $\sigma_{уд}$ по фундаменту 1 равны 0,204 МПа, по фундаменту 2 — 0,122 МПа, по фундаменту 3 — 0,068 МПа и по штампу 4 в трубе — 0,016 МПа.

Таблица 8. Удельные нормальные силы морозного пучения $\sigma_{уд}$, МПа, действующие на подошву фундаментов за 1971—1972 гг.

Дата наблюдений	Глубина промерзания, см	Для фундаментов с размерами, см			
		50×50	70×70	100×100	трубы $d = 76,4$
1	2	3	4	5	6
Ноябрь 1971 г.					
17	0	0	0	0	0
18	5	0,006	0,008	0,007	0,003
22	9	0,121	0,074	0,043	0,007
24	10	0,144	0,090	0,052	0,008
26	13	0,160	0,097	0,056	0,009
Декабрь 1971 г.					
6	18	0,180	0,105	0,061	0,010
8	20	0,194	0,113	0,064	0,011
13	25	0,204	0,122	0,068	0,016
15	26	0,244	0,167	0,091	0,050
20	33	0,256	0,202	0,121	0,073
22	35	0,296	0,240	0,137	0,084
24	41	0,320	0,260	0,144	0,084
27	45	0,414	0,318	0,176	0,095
29	47	0,400	0,320	0,185	0,092
Январь 1972 г.					
3	53	0,410	0,324	0,195	0,090
5	54	0,440	0,346	0,212	0,101
7	56	0,456	0,352	0,213	0,107
10	63	0,516	0,378	0,244	0,105
11	65	0,524	0,380	0,245	0,103
12	68	0,540	0,400	0,259	0,104
14	74	0,576	0,409	0,262	0,104
17	79	0,600	0,433	0,269	0,105
20	85	0,616	0,457	0,287	0,105
21	92	0,631	0,484	0,294	0,105
24	98	0,666	0,503	0,302	0,107

Продолжение табл. 8

1	2	3	4	5	6
26	102	0,688	0,517	0,304	0,106
31	113	0,712	0,531	0,306	0,108
Февраль 1972 г.					
3	117	0,688	0,521	0,309	—
7	123	0,666	0,512	0,309	0,110
9	126	0,630	0,485	0,318	0,110
11	128	0,600	0,421	0,309	0,112
14	130	0,600	0,402	0,308	0,116
18	132	0,564	0,388	0,290	0,104
21	133	0,580	0,386	0,296	0,106
23	134	0,600	0,408	0,308	0,112
25	135	0,596	0,404	0,310	0,119
28	137	0,556	0,390	0,295	0,111
Май 1972 г.					
2	140	0,568	0,402	0,302	0,116
6	142	0,550	0,394	0,292	0,108
9	142	0,540	0,394	0,291	0,101
14	142	0,572	0,400	0,304	0,114
16	142	0,560	0,400	0,302	0,116
20	142	0,476	0,382	0,300	0
29	144	0,350	0,279	0,265	0
Апрель 1972 г.					
14	144	0,129	0,129	0,071	0
21	143	0	0	0	0

Максимальные значения σ_{y1} отмечены по фундаментам 1 и 2 при промерзании грунта на 113 см, по фундаменту 3 при промерзании грунта на 126 см и по штампу 4 в трубе — при промерзании грунта на 135 см. Они достигаются не в одно время и при различной глубине промерзания грунта. По фундаментам 1—3 значения σ_{y1} до достижения их максимума находятся в зависимости от глубины промерзания грунта ниже подошвы фундаментов. Только по штампу в трубе эта зависимость имеет место при промерзании грунта до 35 см, а при промерзании от 35 до 135 см она почти не усматривается.

На рис. 2,г наглядно отражена зависимость величин σ_{y1} от глубины промерзания грунта ниже подошвы фундаментов и от

размеров площади их подошвы. Отсутствие зависимости значений σ_{ud} под штампом 4 в металлической трубе от глубины промерзания, очевидно, следует объяснить ограничением площади твердомерзлого грунта размерами площади подошвы штампа, так как эти площади на протяжении всей зимы одинаковые.

Величины σ_{ud} , действующие на подошву фундаментов за 1972—1973 гг., приведены в табл. 9. Зима в этот год была относительно теплой с наибольшим промерзанием грунта в начале февраля на 101 см. Максимальные значения удельных нормальных сил морозного пучения по фундаменту 1 равнялись 0,636 МПа, по фундаменту 2 — 0,372 МПа (при промерзании грунта на 78 см), по фундаменту 3 — 0,312 МПа (при промерзании грунта на 90 см), а по штампу 4 в трубе — 0,091 МПа (при промерзании грунта на 93 см).

Таблица 9. Удельные нормальные силы морозного пучения σ_{ud} , МПа, действующие на подошву фундаментов за 1972—1973 гг.

Дата наблюдений	Глубина промерзания, см	Для фундаментов с размерами, см			
		50×50	70×70	100×100	трубы $d = 76,4$
1	2	3	4	5	6
Ноябрь 1972 г.					
17	0	0	0	0	0
20	2	0,039	0,046	0,032	0,006
28	5	0,071	0,074	0,041	0,013
29	5	0,108	0,067	0,041	0,024
30	5	0,088	0,062	0,039	0,030
Декабрь 1972 г.					
25	8	0,160	0,116	0,088	0,041
26	9	0,160	0,120	0,091	0,044
28	11	0,233	0,162	0,115	0,049
29	12	0,254	0,178	0,122	0,051
Январь 1973 г.					
2	15	0,210	0,178	0,129	0,055
4	16	0,223	0,187	0,138	0,058
9	20	0,233	0,187	0,142	0,056
10	21	0,260	0,204	0,185	0,057
15	35	0,378	0,272	0,229	0,058
22	52	0,455	0,326	0,284	0,066
29	63	0,525	0,362	0,284	0,078

1	2	3	4	5	6
Февраль 1973 г.					
2	78	0,636	0,372	0,299	0,076
14	90	0,569 *	0,354	0,310	0,088
16	90	—	0,358	0,312	0,088
23	93	—	0,354	0,303	0,091
28	94	—	0,334	0,278	0,083
Март 1973 г.					
1	94	—	0,322	0,277	0,084
5	95	—	0,322	0,277	0,082
9	95	—	0,322	0,276	0,078
16	96	—	0,348	0,287	0,078
23	98	—	0,360	0,297	0,077
30	99	—	0,224	0,197	0,080
Апрель 1973 г.					
6	101	—	0,132	0,109	—
10	101	—	0,034	0,029	0,042
25	—	—	—	—	0

Зависимость возрастания значений $\sigma_{уд}$ от размера площади подошвы фундаментов и глубины промерзания грунта ниже подошвы фундаментов 1—3 показаны на рис. 2,д. Эти зависимости не наблюдаются при изменении значений $\sigma_{уд}$ под штампом 4 в металлической трубе, а также в период четырех зимних сезонов с 1968 по 1973 г., когда значения $\sigma_{уд}$ под штампом 4 в трубе колебались от 0,06 МПа при промерзании грунта на 120 см до 0,119 МПа при промерзании на 125 см.

Опыты по определению $\sigma_{уд}$ с фундаментами 1—3 были проведены через 3 года с трехкратной повторностью (три годичных цикла) по той же методике и на том же оборудовании с таким расчетом, чтобы установить влияние дальнейшего возможного возрастания плотности сложения грунта на показания нормальных сил морозного пучения. Данные по объемной массе скелета грунта свидетельствуют об уплотнении грунта до глубины 2 м нарушенного сложения толщиной слоя 6 м после отсыпки и искусственного уплотнения.

Опыты по определению нормальных сил морозного пучения грунта под штампом в металлической трубе больше не проводились, так как во время трехлетнего перерыва труба была исполь-

зована для проверки эффективности химической стабилизации грунта с обработкой его хлористым калием. Для введения соли хлористого калия грунт из трубы на всю глубину 160 см извлекался, тщательно перемешивался и снова укладывался в нее с послойным уплотнением.

В течение трех зим подряд стабилизированный грунт в металлической трубе деформаций морозного пучения не имел и даже не переходил в твердомерзлое состояние. Поскольку грунт не замерзал и отсутствовали деформации от морозного пучения, следовательно, не могут возникать и нормальные силы пучения:

Таким образом, сравнивая значения σ_{ud} под штампом 4 в металлической трубе и под штампами 1—3, можно сказать, что различие в показаниях нормальных сил морозного пучения объясняется тем, что фундаменты оказываются стоящими на плите из твердомерзлого грунта и площадь подошвы твердомерзлого грунта возрастает с нарастанием глубины промерзания, а в металлической трубе площадь твердомерзлого грунта и штампа равны между собой независимо от глубины промерзания.

Нормальные силы морозного пучения грунтов, действующие на подошву незаглубленных фундаментов 1—3 за зимний сезон 1977—1978 гг., приведены в табл. 10. Наибольшие значения

Таблица 10. Удельные нормальные силы морозного пучения σ_{ud} , МПа, действующие на подошву фундаментов за 1977—1978 гг.

Дата наблюдений	Глубина промерзания, см	Для фундаментов с размерами, см		
		50×50	70×70	100×100
1	2	3	4	5
Декабрь 1977 г.				
13	27	—	—	—
19	41	0,141	0,124	0,090
26	50	0,342	0,218	0,130
Январь 1978 г.				
4	60	0,304	0,258	0,163
6	60	0,248	0,238	0,151
9	66	0,346	0,263	0,173
11	67	0,363	0,273	0,177
13	69	0,396	0,286	0,186
16	71	0,400	0,286	0,180
18	73	0,456	0,297	0,195
23	81	0,523	0,309	0,208

Продолжение табл. 10

1	2	3	4	5
26	87	0,550	0,309	0,221
30	90	0,525	0,306	0,222
Февраль 1978 г.				
1	91	0,522	0,303	0,217
3	91	0,512	0,300	0,207
7	96	0,550	0,309	0,231
9	96	0,554	0,307	0,236
10	98	0,554	0,306	0,235
13	99	0,547	0,303	0,239
15	105	0,509	0,296	0,227
17	106	0,509	0,291	0,220
21	106	0,531	0,296	0,226
24	112	0,541	0,297	0,234
27	114	0,550	0,304	0,236
Март 1978 г.				
1	118	0,547	0,300	0,242
3	122	0,534	0,297	0,242
6	122	0,534	0,296	0,238
10	122	0,534	0,290	0,233
13	122	0,533	0,289	0,226
15	122	0,533	0,280	0,231
17	122	0,275	0,246	0,214
22	122	0,208	0,165	0,165
24	122	0,208	0,150	0,166
27	122	0,182	0,147	0,165
29	122	0,166	0,140	0,155
31	122	0,141	0,132	0,136
Апрель 1978 г.				
4	121	0,045	0,117	0,096
7	120	0,048	0,116	0,098
10	117	0,045	0,105	0,093
12	117	0,048	0,104	0,093
14	117	0,045	0,122	0,076
19	114	—	0,091	—
21	114	—	0,002	—

$\sigma_{уд}$ = 0,554 МПа под фундаментом 1 с меньшей площадью подошвы наблюдалась в первой декаде февраля при промерзании грунта ниже подошвы на 96 см. По фундаменту 2 значение $\sigma_{уд}$ = 0,309 МПа зафиксировано в последней декаде января при промерзании грунта под подошвой на 81 см, а под фундаментом 3 наибольшее значение $\sigma_{уд}$ = 0,242 МПа отмечено при промерзании грунта на 118 см.

Как видим, значения $\sigma_{уд}$ по трем фундаментам достигли максимума в разное время и при различной глубине промерзания грунта под подошвами фундаментов. На рис. 3 показана зависимость значений $\sigma_{уд}$ от размеров площади подошвы фундаментов, от глубины промерзания грунта ниже их подошвы и от скороти промерзания грунта.

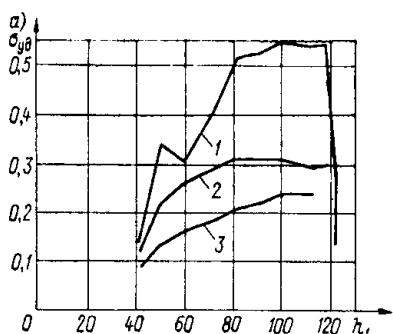
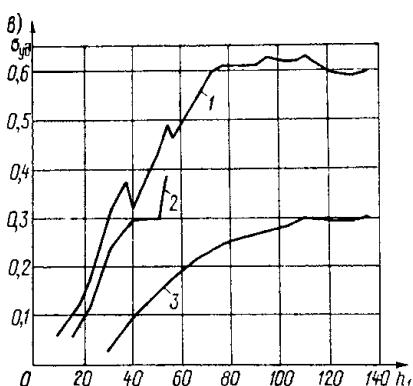
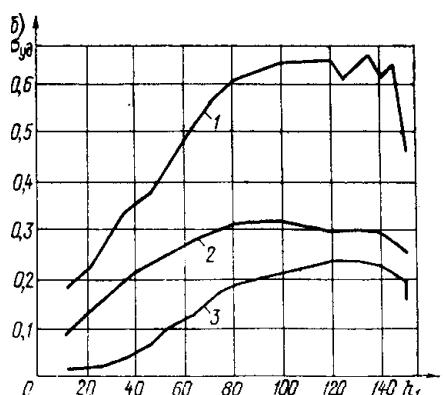


Рис. 3. Изменение удельных нормальных сил морозного пучения
а — от толщины твердомерзлого слоя грунта под подошвой фундамента (1977—1978 гг.); б — от размеров площади подошвы фундамента (1978—1979 гг.); в — от скорости промерзания грунта (1979—1980 гг.)



Удельные нормальные силы морозного пучения, действующие на подошву фундаментов 1—3 зимой 1978/79 г., приведены в табл. 11. Данная зима характеризуется как наиболее суровая с

глубиной промерзания грунта ниже подошвы фундаментов на 150 см. Максимальное значение $\sigma_{уд}$ = 0,660 МПа получено по фундаменту 1 при промерзании грунта на 134 см, по фундаменту 2 — при промерзании грунта на 98 см.

Таблица 11. Удельные нормальные силы морозного пучения $\sigma_{уд}$, МПа, действующие на подошву фундаментов за 1978—1979 гг.

Дата наблюдений	Глубина промерзания, см	Для фундаментов с размерами, см		
		50×50	70×70	100×100
1	2	3	4	5
Декабрь 1978 г.				
4	6	0,0002	—	—
8	12	0,186	0,083	0,020
11	22	0,224	0,142	0,020
13	35	0,339	—	0,030
15	39	0,369	0,212	0,030
18	46	0,374	0,216	0,07
20	52	0,422	0,247	0,10
22	63	0,509	0,276	0,13
25	72	0,573	0,312	0,17
27	77	0,605	0,312	0,19
29	80	0,605	0,312	0,19
Январь 1979 г.				
3	98	0,638	0,322	0,22
8	112	0,646	0,322	0,23
10	116	0,638	0,304	0,24
12	120	0,653	0,302	0,24
15	122	0,627	0,302	0,22
17	124	0,621	0,302	0,22
19	125	0,614	0,302	0,22
24	129	0,637	0,305	0,23
26	130	0,656	0,306	0,24
29	134	0,660	0,306	0,25
31	135	0,645	0,306	0,24
Февраль 1979 г.				
2	135	0,643	0,305	0,250
7	137	0,624	0,296	0,240

1	2	3	4	5
9	138	0,618	0,296	0,228
12	139	0,619	0,298	0,227
14	140	0,621	0,297	0,232
16	142	0,624	0,301	0,232
19	143	0,640	0,305	0,240
21	144	0,648	0,306	0,240
23	145	0,643	0,306	0,240
26	146	0,646	0,307	0,240
28	147	0,660	0,288	0,252

Март 1979 г.

2	148	0,653	0,288	0,252
7	150	0,596	0,269	0,242
12	150	0,470	0,260	0,235
14	150	0,470	0,260	0,234
16	150	0,470	0,260	0,223
19	150	0,469	0,260	0,213
21	150	0,469	0,260	0,208
23	150	0,468	—	0,215
26	150	0,467	—	0,219
28	150	0,467	—	0,202
30	150	0,467	—	0,165

На рис. 3,б также сохраняется зависимость значений $\sigma_{уд}$ от глубины промерзания и от размеров площади подошвы фундаментов.

Нормальные силы морозного пучения грунта, действующие на подошву фундаментов 1—3 зимой 1979/80 г., показаны в табл. 12 и на рис. 3,в. Максимальное значение $\sigma_{уд} = 0,630$ МПа по фундаменту 1 приходится на начало февраля при промерзании грунта под подошвой фундамента на 95 см, а по фундаменту 3 — на середину февраля при промерзании грунта на 110 см.

Нарастание значений $\sigma_{уд}$ по фундаменту в январе месяце про текало с большей скоростью, вследствие чего произошла деформация двутавровой упорной балки и пришлось прекратить дальнейшие наблюдения за показаниями нормальных сил морозного пучения по фундаменту 2.

На рис. 3,в отмечается большая скорость нарастания значений $\sigma_{уд}$ до 0,6 МПа при промерзании грунта на 73 см, а по фунда-

Таблица 12. Удельные нормальные силы морозного пучения σ_{ud} , Мпа, действующие на подошву фундаментов за 1979—1980 гг.

Дата наблюдений 1	Глубина про-мерзания, см 2	Для фундаментов с размерами, см		
		50×50 3	70×70 4	100×100 5
Декабрь 1979 г.				
3	18	0,120	0,061	0,01
7	9	0,060	0,061	—
10	22	0,170	0,112	0,025
14	30	0,310	0,235	0,025
17	37	0,370	0,296	0,073
21	37	0,240	0,296	0,075
24	40	0,320	0,296	0,090
29	50	0,430	0,301	0,140
Январь 1980 г.				
2	54	0,490	0,387	0,153
7	56	0,460	—	0,175
11	65	0,530	—	0,210
14	73	0,600	—	0,235 *
18	77	0,610	—	0,248
22	83	0,610	—	0,260
28	90	0,610	—	0,268
Февраль 1980 г.				
1	95	0,630	—	0,288
4	103	0,620	—	0,285
8	107	0,620	—	0,288
11	108	0,630	—	0,295
14	110	0,630	—	0,300
18	114	0,620	—	0,300
25	120	0,600	—	0,298
29	121	0,580	—	0,298
Март 1980 г.				
3	126	0,590	—	0,298
6	128	0,590	—	0,298
10	130	0,590	—	0,295

1	2	3	4	5
14	133	0,600	—	0,298
17	136	0,600	—	0,305
21	136	0,600	—	0,298
24	136	0,580	—	0,288

* Произошла деформация упорной металлической балки у фундамента 70×70 см. Наблюдения прекращены.

менту 2 при промерзании грунта на 54 см значение $\sigma_{уд}$ почти достигло 0,4 МПа.

В течение 7 лет упорная металлическая двутавровая балка не деформировалась даже при напряжениях 0,58 МПа, а при большей скорости возрастания нормальных сил произошел ее изгиб.

Проведенные в течение 8 лет экспериментальные исследования нормальных сил морозного пучения в природных условиях на территории Загорского стационара позволяют рекомендовать расчет для нормально-технических документов $\sigma_{уд}$ в зависимости от размеров площади подошвы фундаментов и глубины промерзания грунта ниже его подошвы.

8. Удельные нормальные силы морозного пучения грунтов в зависимости от глубины заложения подошвы опытных фундаментов

С целью изучения зависимости нормальных сил морозного пучения от глубины заложения подошвы фундамента в 1966 г. были установлены три железобетонных фундамента с размером подошвы 50×50 см на разных глубинах: на 10, 50 и 100 см ниже дневной поверхности. Боковые плоскости заглубленных фундаментов были изолированы от суглинистого грунта путем обертывания фундаментов с боков в два слоя толем с тем расчетом, чтобы избежать влияния касательных сил выпучивания на показания нормальных сил.

В табл. 13 показаны результаты наблюдений за величиной морозного пучения промерзающего грунта в первую зиму после оборудования опытной установки. Как видим, деформации приурочены к верхним слоям до глубины 1 м; при промерзании же грунта от 1 до 1,6 м величина морозного пучения не превысила 1 см. Слабое пучение последней трети промерзающего грунта, видимо, можно объяснить тем, что деформации морозного пучения погаша-

Г а б л и ц а 13. Пучение грунта и удельные нормальные силы морозного пучения, действующие на подошву фундаментов, установленных на разную глубину

Дата наблюдений	Глубина промерзания, см	Величина пучения грунта (мм) на глубине, см				$\sigma_{уд}$, МПа на глубине, см		
		0	10	50	100	$h=10$	$h=50$	$h=100$

Ноябрь-декабрь 1966 г.

28	0	—	—	—	—	—	—	—
30	10	2,1	—	—	—	—	—	—
1	13	3,4	—	—	—	0,008	—	—
2	17	3,9	—	—	—	0,014	—	—
3	20	5,0	4,8	—	—	0,02	—	—
6	27	6,7	—	—	—	0,036	—	—
7	29	8,5	8,3	—	—	0,037	—	—
13	51	12,4	12,1	—	—	0,068	0,016	—
19	60	16,1	15,8	3,2	—	0,076	0,032	—
24	70	19,8	19,4	7,0	—	0,082	0,051	—

Январь—март 1967 г.

1	80	22,8	22,6	9,8	—	0,076	0,083	—
10	90	25,2	24,9	11,6	—	0,091	0,100	—
19	100	26,7	26,3	13,3	—	0,117	0,128	—
28	110	30,2	30,0	17,1	2,9	0,122	0,134	0,047
8	120	32,3	32,7	19,3	5,1	0,125	0,139	0,086
20	130	34,4	34,1	21,6	6,9	0,127	0,149	0,120
25	140	35,4	35,2	22,0	8,4	0,128	0,149	0,132
1	150	36,1	35,3	21,4	8,8	0,126	0,152	0,137
5	160	34,6	35,1	22,5	8,2	0,125	0,150	0,136

лись деформациями уплотнения нижележащих талых грунтов. По той же причине, очевидно, и удельные нормальные силы морозного пучения оказались вне зависимости от глубины заложения подошвы фундаментов. Из этих соображений наблюдения за нарастанием нормальных сил было решено продолжить на тех же опытных фундаментах зимой 1967/68 г.

На рис. 4,а показана зависимость значений $\sigma_{уд}$ от толщины мерзлого слоя грунта под подошвой фундамента 1 и отмечается закономерное возрастание $\sigma_{уд}$ до максимума (0,128 МПа) при промерзании грунта под подошвой до 130 см.

На рис. 4,б показано максимальное значение $\sigma_{уд} = 0,152$ МПа по фундаменту 2 при промерзании грунта ниже подошвы около 1 м. Этот максимум приурочен к меньшему слою мерзлого грунта по сравнению с толщиной слоя под фундаментом 1. Зависимость нарастания $\sigma_{уд}$ от толщины мерзлого слоя грунта под фундаментом 2 соблюдается так же, как и под фундаментом 1.

На рис. 4,в показана почти прямолинейная зависимость возрастаания $\sigma_{уд}$ от нарастания толщины слоя мерзлого грунта под фундаментом 3. Максимальное значение $\sigma_{уд} = 0,137$ МПа, получено при толщине мерзлого слоя грунта под подошвой фундамента 3 несколько меньше 50 см.

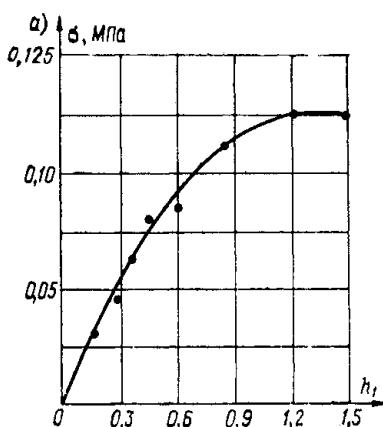
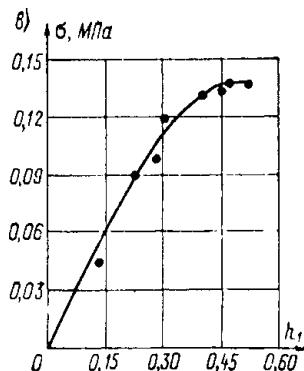
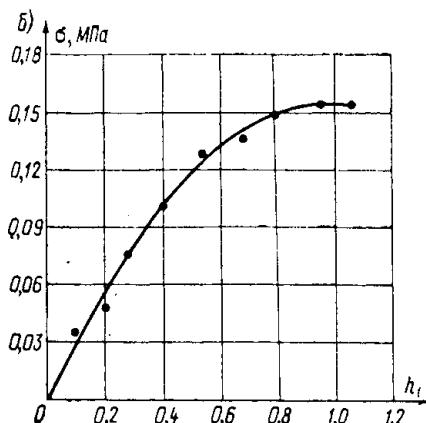


Рис. 4. Значения удельных нормальных сил морозного пучения грунта в зависимости от толщины твердомерзлого грунта ниже подошвы
а — заглубленной на 10 см; б — заглубленной на 50 см; в — заглубленной на 100 см



Как видим, по данным этих трех опытов глубина заложения подошвы фундаментов не оказывает влияния на величину $\sigma_{уд}$ и, следовательно, зависимость между значениями $\sigma_{уд}$ и глубиной заложения подошвы фундамента отсутствует. Однако максимальные значения $\sigma_{уд}$, хотя и получились близкие друг к другу, но при различной толщине мерзлого слоя грунта под фундаментом; при этом чем глубже заложен фундамент, тем меньше слой мерзлого грунта под его подошвой.

В табл. 14 приведены результаты повторных наблюдений за изменением нормальных сил морозного пучения грунта под подошвами фундаментов установленных на разных глубинах в

Таблица 14. Удельные нормальные силы морозного пучения $\sigma_{уд}$, МПа, действующие на подошву фундаментов, установленных на разную глубину

Дата наблюдений	Общая глубина промерзания, см	$\sigma_{уд}$ на глубинах, см		
		10	50	100
1	2	3	4	5
Декабрь 1967 г.				
1	16	—	—	—
3	21	0,049	—	—
6	27	0,056	—	—
8	28	0,059	—	—
11	31	0,098	—	—
12	32	0,11	—	—
13	32	0,113	—	—
14	35	0,140	—	—
15	39	0,158	—	—
18	43	0,185	—	—
20	46	0,195	—	—
21	48	0,206	—	—
22	51	0,244	—	—
25	58	0,274	0,018	—
26	60	0,265	0,027	—
27	66	0,290	0,034	—
29	69	0,276	0,045	—
Январь 1968 г.				
2	73	0,362	0,051	—
3	73	0,394	0,056	—
4	74	0,400	0,055	—

Продолжение табл. 14

1	2	3	4	5
5	75	0,394	0,076	—
8	76	0,424	0,084	—
10	78	0,436	0,107	—
11	80	0,452	0,114	—
12	82	0,468	0,120	—
15	88	0,484	0,108	—
17	93	0,496	0,118	—
18	94	0,400	0,132	—
19	96	0,400	0,146	—
22	101	0,449	0,155	—
23	103	0,464	0,157	0,008
24	105	0,468	0,154	0,020
25	109	0,464	0,160	0,036
26	110	0,480	0,162	0,038
29	116	0,488	0,178	0,039
30	118	0,464	0,182	0,045
31	119	0,452	0,196	0,046

Февраль 1968 г.

1	120	0,464	0,200	0,050
5	123	0,464	0,210	0,051
6	123	0,380	0,210	0,052
7	123	0,360	0,204	0,055
8	123	0,340	0,201	0,048
9	123	0,340	0,198	0,047
12	123	0,360	0,190	0,061
14	125	0,396	0,204	0,066
15	126	0,420	0,208	0,068
16	127	0,444	0,212	0,072
19	129	0,480	0,218	0,081
21	130	0,456	0,228	0,100
22	131	0,480	0,233	0,110
23	131	0,484	0,230	0,126
26	133	0,436	0,236	0,132
27	134	0,456	0,230	0,137
28	135	0,464	0,228	0,143
29	135	0,484	0,245	0,148

1	2	3	4	5
Март 1968 г.				
4	138	0,484	0,260	0,152
5	139	0,444	0,252	0,118
6	140	0,444	0,252	0,100
7	140	0,460	0,256	0,090
11	141	0,452	0,260	0,087
12	142	0,444	0,284	0,084
13	143	0,432	0,254	0,082
14	143	0,424	0,246	0,076
26	142	0,036	0,216	0,073

1966 г. Так, под фундаментом 1 с глубиной заложения 10 см максимальное значение $\sigma_{уд} = 0,496$ МПа получено при промерзании грунта под подошвой фундамента на 83 см; под фундаментом 2, заглубленным на 50 см, максимальная величина $\sigma_{уд} = 0,284$ МПа получена при толщине мерзлого слоя грунта ниже подошвы фундамента на 92 см; под фундаментом 3 с глубиной заложения на 100 см максимальное значение $\sigma_{уд} = 0,152$ МПа получено при глубине промерзания грунта под подошвой фундамента на 38 см.

При сравнении значений $\sigma_{уд}$ за 1966—1967 гг. и за 1967—1968 гг. видим, что за второй год наблюдений значение $\sigma_{уд}$ получилось выше в 4 раза по фундаменту 1 и в 2 раза — по фундаменту 2. Сравнивать полученные значения $\sigma_{уд}$ по табл. 12 с данными, приведенными в табл. 14, с целью установления зависимости нормальных сил пучения от глубины заложения подошвы фундамента затруднительно, так как кроме фактора глубины заложения фундамента при этом на величину $\sigma_{уд}$ действуют и другие факторы, такие, как глубина и скорость промерзания грунта, его физические характеристики и отрицательные температуры промерзающего грунта. Кроме того, повышенные значения $\sigma_{уд}$ по табл. 14 объясняются еще увеличением плотности сложения слоя сезонного промерзания во второй год испытаний.

9. Использование нормальных сил морозного пучения в практике проектирования

Под нормальными силами морозного пучения впредь будем подразумевать реактивные усилия под действием деформации грунтов при их промерзании под подошвой фундаментов, ориен-

тированных в основном направлении движения теплового потока, в данном случае снизу вверх.

Количественные значения нормальных сил морозного пучения грунтов обусловлены сопротивлением среды этим реактивным усилиям, и поэтому они не могут быть однозначными в зависимости от различных факторов при взаимодействии конструкции фундамента с грунтом в основании.

При проектировании оснований на пучинистых грунтах для расчета устойчивости фундаментов требуются значения удельных нормальных сил морозного пучения. Исходя из этого требования, за последнее время изыскатели пытаются экспериментально определять $\sigma_{уд}$ в полевых условиях на опытных фундаментах за одну полную зиму, что нельзя считать достаточным для обоснования нормативных величин, так как результаты разовых испытаний могут оказаться случайными.

Для обоснования рекомендуемых значений в качестве нормативных величин удельных нормальных сил морозного пучения необходимо достаточное количество экспериментальных данных нормальных сил морозного пучения грунтов природного сложения в зависимости от глубины промерзания грунта и размеров подошвы фундаментов в полевых условиях.

По СНиП II-15—74 за нормативную глубину сезонного промерзания грунтов принимается средняя из ежегодных максимальных глубин промерзания по данным наблюдений (за период не менее 10 лет) за фактическим промерзанием грунтов под оголенной от снега поверхностью горизонтальной площадки при уровне грунтовых вод, расположенным ниже глубины сезонного промерзания грунтов.

Исходя из этих требований, автором были проведены экспериментальные работы по определению максимальных значений удельных нормальных сил пучения на опытном полигоне Загорского стационара, которые выполнялись на протяжении 10 зимних сезонов.

Результаты максимальных значений $\sigma_{уд}$ в зависимости от глубины промерзания грунта и размеров площади подошвы фундаментов, расположенных на поверхности грунта (без заглубления), приведены в табл. 15, где отражена имеющаяся зависимость значений $\sigma_{уд}$ от размеров площади подошвы фундамента, т. е. с возрастанием площади подошвы фундамента величина $\sigma_{уд}$ за 8 лет испытаний уменьшается. Под штампом в металлической трубе величина $\sigma_{уд}$ на протяжении 5 лет находится в пределах 0,06—0,119 МПа в зависимости от глубины промерзания грунта ниже подошвы штампа.

Предложения об использовании вышеизложенных результатов экспериментальных исследований в практике проектирования оснований и фундаментов на пучинистых грунтах соответствуют требованиям СНиП II-15—74 по проверке устойчивости фундаментов на действие сил морозного пучения грунтов оснований и со-

Таблица 15. Экспериментальные данные максимальных значений удельных нормальных сил морозного пучения, МПа, в зависимости от размеров подошвы фундамента

Годы наблюдений	Для фундаментов с размерами подошвы, см							
	50×50		70×70		100×100		труба $d=76,4$	
	h_1^*	$\sigma_{уд}$	h_1	$\sigma_{уд}$	h_1	$\sigma_{уд}$	h_1	$\sigma_{уд}$
1968—1969	120	0,544	120	0,246	120	0,174	175	0,060
1969—1970	120	0,688	118	0,432	107	0,280	132	0,061
1970—1971	113	0,685	110	0,580	113	0,295	117	0,091
1971—1972	113	0,712	113	0,531	125	0,318	135	0,119
1972—1973	78	0,636	78	0,372	90	0,312	93	0,091
1977—1978	96	0,554	81	0,309	118	0,242	—	—
1978—1979	134	0,660	98	0,322	134	0,250	—	—
1979—1980	95	0,630	—	—	110	0,300	—	—
Средние значения	$\sigma_{уд}$	0,639	—	0,399	—	0,271	—	0,0844

* h_1 — глубина промерзания грунта под подошвой фундаментов (см), при которой отмечено максимальное значение удельных нормальных сил морозного пучения.

гласно этим требованиям в расчетных формулах сохраняются принятые обозначения и их размерности по прил. 6 СНиП II-15—74.

В тех случаях, когда неизбежно произойдет промерзание грунта ниже подошвы фундамента, в период строительства или эксплуатации следует производить проверку устойчивости фундаментов на совместное действие касательных и нормальных сил морозного пучения по формуле

$$n_1 N^n \geq n (\tau^n F + F_\phi h_1 \sigma^n) ,$$

для фундаментов без заглубления в грунт устойчивость следует проверять по формуле

$$n_1 N^n \geq n F_\phi h_1 \sigma^n ,$$

где N^n — нормативная нагрузка на основание в уровне подошвы фундамента, Н; n_1 , n — коэффициенты перегрузки, принимаемые соответственно равными 0,9 и 1,1; F — площадь боковой поверхности фундамента в пределах заглубленной части, см²; F_ϕ — площадь подошвы фундамента, см²; τ^n — нормативные удельные касательные силы морозного пучения, МПа; h_1 — глубина промерзания грунта, считая от подошвы фундамента, см; σ^n — нормативное нормальное давление морозного пучения, создаваемое 1 см промороженного слоя грунта, МПа.

Нормативные значения σ^h и τ^h принимаются по табл. 16 в зависимости от степени морозной пучинистости грунтов, устанавливаемой, согласно СНиП II-15—74, по физическим свойствам грунтов (табл. 17).

Таблица 16. Нормативные значения удельных нормальных сил морозного пучения σ^h и нормативные касательные силы τ^h

Степень морозной пучинистости грунта	σ^h при площади подошвы фундаментов с размерами, см				τ^h
	50×50	70×70	100×100	>100×100	
Сильнопучинистые	0,06	0,04	0,03	0,02	1,0
Среднепучинистые	0,05	0,03	0,02	0,01	0,8
Слабопучинистые	0,04	0,02	0,01	—	0,6

Примечание. Расчет устойчивости фундаментов на действие сил морозного пучения при практически непучинистых грунтах не производится и противопучинные мероприятия не применяются.

Крупнообломочные грунты с глинистым заполнителем, содержащие в своем составе более 30% по массе частиц размером менее 0,1 мм, при положении уровня грунтовых вод ниже расчетной глубины промерзания от 1 до 2 м относятся к среднепучинистым грунтам, а менее 1 м — к сильнопучинистым.

Величина z — разность между глубиной залегания уровня грунтовых вод и расчетной глубиной промерзания грунта, определяется по формуле $z = H_0 - H$, где H_0 — расстояние от планировочной отметки до уровня грунтовых вод; H — расчетная глубина промерзания, м (по СНиП II-15—74).

Консистенция глинистых грунтов I_1 должна приниматься по их природной влажности, соответствующей периоду начала промерзания. При наличии в слое промерзания глинистых грунтов различной консистенции степень морозной пучинистости этих грунтов в целом принимается по среднему взвешенному значению их консистенций.

Глава VI. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ НОРМАЛЬНЫХ СИЛ МОРОЗНОГО ВЫПУЧИВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ

Деформации и силы морозного пучения грунтов взаимосвязаны между собой и протекают за счет энергетических преобразований при льдообразовании на локально промерзающем участке.

Таблица 17. Степень морозной пучинистости грунтов

Степень морозной пучинистости	Пределы положения уровня грунтовых вод z , м, ниже расчетной глубины промерзания H у фундаментов из					Консистенция глинистого грунта I_L
	песка мелкого	песка пылеватого	супеси	суглинка	глины	
Сильнопучинистые	—	—	$z \leq 0,5$	$z < 1$	$z \leq 1,5$	$I_L > 0,5$
Среднепучинистые	—	$z \leq 0,5$	$0,5 < z \leq 1$	$1 < z \leq 1,5$	$1,5 < z \leq 2$	$0,25 < I_L \leq 0,5$
Слабопучинистые	$z > 0,5$	$0,5 < z \leq 1$	$1 < z \leq 1,5$	$1,5 < z \leq 2,5$	$2 < z \leq 3$	$0 < I_L \leq 0,25$
Практически непучинистые	$z > 0,5$	$z > 1$	$z > 1,5$	$z > 2,5$	$z > 3$	$I_L \leq 0$

стке грунта природного сложнеия. Величина деформации морозного пучения обусловлена увеличением объема воды при переходе ее в лед с перераспределением и подсосом влаги к кристаллам льда в процессе промерзания грунта, а величина силы морозного пучения зависит от сопротивления среды, в которой происходит льдообразование. Так, например, при замерзании солевого раствора лед образуется без включения молекул соли в кристаллическую решетку с дальнейшим повышением концентрации части еще не замерзшего раствора, поэтому в данном случае сила кристаллизации равна только сопротивлению молекул соли, которые отталкиваются растущим кристаллом льда. Точно так же отталкиваются и твердые частицы грунта от кристалла льда, и опять сила морозного пучения ограничена только величиной сопротивления твердых частич грунта.

Силами кристаллообразования льда широко пользовались в практике строительства при разработке кристаллических пород на каменоломнях: замораживали воду в пробуренных скважинах, при этом сила пучения ограничивалась сопротивлением среды при совершившейся деформации и работе увеличивающегося объема воды при ее замерзании в буровой скважине.

В природных условиях деформации и силы морозного пучения возникают и развиваются в локально ограниченном по толщине слое грунта, который в процессе промерзания постепенно переходит из пластичномерзлого в твердомерзлое состояние, т. е. в так называемой активной зоне морозного пучения. С нарастанием толщины твердомерзлого слоя активная зона морозного пучения перемещается вниз, захватывая нижележащий талый грунт. Иногда называют активную зону морозного пучения переходным слоем от талого грунта к слою твердомерзлого состояния.

Возникающие силовые напряжения в активной зоне морозного пучения грунта передаются на твердомерзлый слой грунта, находящийся сверху, и на талый грунт, лежащий ниже активной зоны. Эти напряжения М. И. Сумгиным рассматриваются как внутренние силы, которым оказывает реактивное сопротивление окружающая среда. Величина этих напряжений в переходном, т. е. в активно пучащемся слое, зависит от влияния различных факторов: массы вышележащего слоя грунта, плотности его сложения, трения и сцепления частиц грунта, природной влажности, скорости промерзания грунта и его температурного режима. Подмечено, что с увеличением толщины слоя твердомерзлого грунта сила морозного пучения возрастает, а величина деформации пучения снижается. С передвижением вниз переходной активной зоны морозного пучения вес вышележащего твердомерзлого слоя увеличивается и при этом возникает неравномерность пучения промерзающего слоя, вследствие чего создается неравномерность силовых напряжений в пучащемся слое грунта.

Поскольку наблюдается в природных условиях при промерзании поднятие дневной поверхности грунта, то, следовательно,

сила морозного пучения превышает массу вышележащего твердомерзлого грунта. Таким образом, в замерзающем переходном слое грунта ледяные образования растут и создают расклинивающее напряжение, которое передается на вышележащий твердомерзлый грунт, поднимая его вверх, и такие же напряжения воздействуют на нижележащий талый грунт в направлении сверху вниз. Величина сил морозного пучения опять определяется сопротивлением среды, т. е. весом твердомерзлого слоя грунта.

При рассмотрении динамики деформаций и напряжений морозного пучения возникает вопрос: происходят ли деформации морозного пучения в твердомерзлом слое грунта при дальнейшем его охлаждении за счет перехода части незамерзшей пленочной влаги в лед?

Твердомерзлым грунтом называется смерзшийся в монолит глинистый или песчаный грунт, который при разработке по прочности и физико-механическим свойствам приравнивается к скальным породам.

Сезоннопромерзающий грунт по физическому состоянию подразделяется на твердомерзлый и переходный от талого к твердомерзлому пластичномерзлый слой.

Граница между твердомерзлым и пластичномерзлым грунтом устанавливается экспериментально при помощи мерзлотомера Ратомского по ГОСТ 24847—81.

Физическое состояние вечномерзлых грунтов определяется по более или менее стабильным во времени значениям отрицательных температур, которые не являются стационарными в сезонномерзлом грунте, поэтому и не рекомендуется подразделять сезонномерзлые грунты по температурным величинам.

В глинистых грунтах твердомерзлого состояния крайне ограничена возможность передвижения пленочной незамерзшей влаги, находящейся под большим молекулярным притяжением к кристаллам льда. Кроме того, количественное значение части переходящей влаги в лед из незамерзающих пленок в твердомерзлом грунте весьма ограничено, притом переходу плеючной воды в лед оказывает большое сопротивление массив твердомерзлого грунта из-за отсутствия в нем свободных пор. Шту肯берг [104] рост кристаллов льда в твердомерзлом слое объяснял возникновением пор замерзания, что оказалось довольно спорным, так как опыты Н. И. Быкова не подтвердили образование пор замерзания в мерзлом грунте. Опыты автора также не подтвердили наличие деформаций твердомерзлого грунта и повышение его влажности при замерзании твердомерзлого грунта в соприкосновении с водой.

В том случае, когда в мерзлом грунте отсутствуют свободные поры, дальнейший рост ледяных кристаллов возможен только при условии нарушения сплошности сложения твердомерзлого грунта, но в опыте такого нарушения сплошности сложения не наблюдается. Для роста кристалла льда в твердомерзлом грунте потребуется подсос воды по незамершим тонким пленкам, но из области

физики известно, что эти пленки в мерзлом грунте находятся под большим давлением молекулярных сил сцепления, поэтому миграционное передвижение пленочной воды по тонким пленкам вряд ли возможно.

П. И. Андрианов [2] и другие исследователи физические свойства тонких пленок воды в грунтах приравнивают к физическим свойствам твердых тел, поэтому невероятен переход пленочной воды в лед, который бы вызвал деформации в твердомерзлом грунте. Другая причина в том, что объемные изменения небольшого количества переходящей пленочной воды в лед вряд ли превысят общие объемные изменения грунта, происходящие при понижении температуры твердомерзлого грунта.

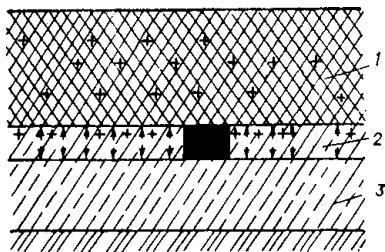
Таким образом, твердомерзлый грунт при дальнейшем его охлаждении не деформируется за счет перехода в лед мигрирующей воды или за счет перехода незначительного количества незамерзшей пленочной воды. Очевидно, этим и можно объяснить отсутствие морозного пучения твердомерзлого грунта при лабораторных опытах.

Находящийся под давлением до 0,3 МПа от веса фундаментов и надфундаментного строения твердомерзлый грунт практически не сжимается и в нем не возникает пластических деформаций. Следовательно, такой грунт с полным обоснованием можно рассматривать как твердое тело, практически не деформирующееся под давлением в пределах нормативных значений, принятых в практике фундаментостроения на твердомерзлых грунтах.

Так, например, при использовании вечномерзлых грунтов в качестве естественных оснований давление от фундамента не вызывает деформаций зданий от осадок вечномерзлого грунта, если расчетные давления на него не превосходят принятых значений нормативного давления на твердомерзлые грунты. На этом основании твердомерзлый грунт с полным правом можно рассматривать не деформирующемся от морозного пучения и работающим совместно с фундаментом при прочном смерзании с ним.

Вышеизложенные соображения дают основание принимать при расчетах на действие нормальных сил морозного пучения твердомерзлый грунт равнопрочным материалу бетонных фундаментов с маркой бетона до 100. Таким образом, уже промерзший и промерзающий слои грунта надлежит подразделять по их физическому состоянию, т. е. на нарастающий твердомерзлый слой и на переходный от талого к твердомерзлому. Расположение движущегося переходного слоя показано на рис. 5.

Наблюдениями в полевых условиях установлено, что скорость нарастания толщины слоя твердомерзлого грунта уменьшается с глубиной промерзания, при этом переходный слой смешается вниз, сопутствуя нарастанию твердомерзлой толщи. Сам же переходный пластичномерзлый слой грунта с продвижением сверху вниз по толщине не является постоянной величиной для одного и того же вида грунта, так как эта толщина находится в большой



Фиг. 5. Разрез промерзающего грунта
1 — твердомерзлый слой; 2 — переходный слой; 3 — талый грунт

зависимости от значений температурного градиента при отрицательных температурах грунта. Количественные значения температурного градиента, как правило, с глубиной уменьшаются, поэтому толщина переходного пластичномерзлого соля с глубиной промерзания грунта увеличивается, т. е. чем выше температурный градиент, тем меньше толщина переходного слоя и, наоборот, с уменьшением температурного градиента она увеличивается.

В зависимости от температуры наружного воздуха продвижение пластичномерзлого горизонта или динамической зоны фронта промерзания наблюдается с равномерным нарастанием толщины твердомерзлого слоя или скачкообразно. Во время оттепелей зона льдообразования застывает на какой-то период времени, затем от поступающего тепла из нижележащего талого массива грунта происходит оттаивание грунтового льда и пластичномерзлый переходный слой поднимается вверх. При этом деформации морозного пучения приостанавливаются и сила морозного пучения резко снижается. Для условий Московской области задержка хода промерзания с оттаиванием грунта повторяется от 2 до 5 раз за одну зиму.

С наступлением морозов после оттепели фронт промерзания снова понижается, при этом толщина пластичномерзлой зоны зависит от направления и скорости промерзания грунта. Меньшая толщина наблюдается при перемещении вверх, большая — при продвижении вниз. Перемещения слоя грунта как такового непосредственно не происходит, оно относится только к изменению физического состояния грунта при переходе из талого в твердомерзлое состояние, т. е. при продвижении фронта промерзания или нарастания толщи твердомерзлого грунта.

Кроме того, толщина переходной зоны, находящейся между талым массивом и твердомерзлым грунтом, зависит от дисперсности. Чем выше степень дисперсности грунта, тем больше толщина переходного слоя. Например, меньшая толщина свойственна мелкозернистым пескам и супесям, наибольшая — суглинкам и глинам.

С нарастанием толщины твердомерзлого грунта возрастает сопротивление среды деформации расширяющемуся слою грунта

при переходе его из талого в твердомерзлое состояние и при этом передается давление промерзающего грунта как на вышележащий твердомерзлый грунт, так и на нижележащий талый массив. Возникновение напряжений от морозного пучения грунта вниз на талый грунт в какой-то степени будет сопровождаться его деформацией от уплотнения подстилающего грунта. При затухании деформации от сжатия наступит временное равновесие сил между давлением от массы твердомерзлого грунта и реактивным отпором талого подстилающего.

В тот момент, когда сила морозного пучения превосходит давление вышележащего твердомерзлого грунта, а реактивный отпор талого нижележащего превосходит или равен силе морозного пучения, наблюдается поднятие вышележащего твердомерзлого грунта на величину деформации пучащегося переходного слоя в том случае, если не произойдет деформации от уплотнения подстилающего талого грунта. При наличии деформации уплотнения величина поднятия дневной поверхности будет меньше приращения пучащегося слоя грунта или же поднятие дневной поверхности совсем не произойдет.

Неоднородность плотности сложения в плане и профиле нижележащих талых грунтов и величин деформации их при уплотнении обуславливает неравномерность поднятия дневной поверхности грунта, т. е. получается внешний эффект морозного пучения, различный по площади.

Таким образом, при морозном пучении грунтов во всех случаях сумма деформации от уплотнения талых грунтов и величина поднятия дневной поверхности должны быть равны величине приращения толщины замерзающего переходного слоя грунта, т. е. для отдельно взятого пластичномерзлого грунта, переходящего в твердомерзлое состояние, значение приращения толщины пучащегося слоя — $\Delta h = S + \delta d$, а величина поднятия дневной поверхности грунта с учетом деформации нижележащего слоя от сжатия за счет объемного расширения пластичного мерзлого слоя грунта $S = \Delta h - \delta d$, где Δh — приращение толщины слоя пластичномерзлого грунта при переходе его в твердое состояние, см; S — величина поднятия дневной поверхности грунта, см; δ — относительное сжатие нижележащего талого грунта при нормальной силе морозного пучения 0,02 МПа; d — толщина слоя талого грунта, подстилающего замерзающий слой грунта и уплотняющегося под действием нормальных сил пучения, см. Попытки определять нормальные силы морозного пучения по сжимаемости нижележащего грунта, считая однородным весь массив грунта, как это делают некоторые исследователи, не увенчались успехом, так как грунт по составу и генезису однороден, а по плотности сложения толща промерзающего грунта различна.

В природных условиях трудно встретить промерзающую толщу однородной по плотности сложения грунта, так как почти все грунты с глубиной становятся более плотными и менее сжимае-

мыми. К тому же нет необходимости рассчитывать относительную нормальную силу морозного пучения на весь промерзающий слой, так как нормальная сила приурочена только к одному переходному слою, т. е. слою, где протекают фазовые изменения воды с возникновением сил морозного пучения.

Сжимаемость нижележащего грунта ограничена давлением от веса твердомерзлого грунта, поэтому при небольшой толще мерзлого грунта давление на талый грунт будет незначительным, а значение сжимаемости может оказаться близким нулю. Таким образом, расширение объема грунта в переходной зоне возможно только за счет поднятия вышележащего твердомерзлого грунта. При расчетах величины морозного вспучивания грунта надлежит учитывать возможную деформируемость нижележащей талой толщи.

При неравномерном по различным причинам промерзании грунта уплотняющее талый грунт напряжение максимальным окажется в тех точках, где наибольшая глубина промерзания. При наличии неравномерных уплотняющих давлений в талом грунте неизбежно возникает боковое давление, которому также должны сопутствовать боковые деформации талого грунта. Следовательно, на величину поднятия поверхности грунта (его пучения) оказываются влияние неравномерность его промерзания, уплотняющие вертикальное и горизонтальные давления и деформации от уплотнения и бокового расширения.

Из нижележащих талых грунтов к фронту промерзания поднимается в направлении движения теплового потока капиллярная и пленочная вода под давлением сил кристаллизации льда. В результате в талом грунте понижается влажность грунта на каком-то зональном участке и создаются условия для повышения уплотняемости грунта и снижения величины поднятия дневной поверхности и сил морозного пучения.

Возникающее напряжение от силы морозного пучения внутри грунта передается, в первую очередь, на содержащуюся в порах грунта воду, а затем через нее на скелетные частицы с уплотнением их и отжатием воды, которая, в свою очередь, частично или полностью переходит в лед в соприкосновении с ледяными кристаллами, цементирующими минеральные частицы и, как последствие этого процесса, в результате внутренних напряжений возникают деформации.

Наибольшее снижение деформаций и величин нормальных сил морозного пучения, вызываемых вследствие уплотняемости нижележащего массива талого грунта, неизбежно оказывается при промерзании грунта под нагруженным фундаментом вблизи его подошвы. Данные полевых наблюдений за процессом промерзания и пучения грунта свидетельствуют о том, что с возрастанием глубины промерзания грунта в определенных пределах нормальные силы морозного пучения возрастают, очевидно, вследствие повышения плотности сложения и уменьшения сжимаемости нижележащего грунта.

жащих грунтов. В природном сложении грунты ниже слоя сезонного промерзания уплотнены давлениями от нормальных сил морозного пучения за прошлые годы, и поэтому имеют весьма значительное сопротивление. Если же возможны деформации от уплотнения при действии нормальных сил морозного пучения на грунт, подстилающий сезоннопромерзающую толщу, то их значения ничтожны, и при определении величин нормальных сил морозного пучения для практических целей ими можно пренебречь. Кроме того, можно не принимать в расчет и боковое расширение нижележащего талого грунта.

Из вышеизложенного следует, что силы морозного пучения грунтов обусловлены деформациями при переходе талого грунта в твердомерзлое состояние и, следовательно, возникают и нарастают в ограниченном горизонте зоны промерзания. Таким образом, определение значений нормальных сил морозного пучения должно производиться применительно к этому активно пучашемуся слою, который можно моделировать в лабораторных условиях, когда отсутствует деформативность нижележащего талого грунта и нет бокового расширения в напряженном слое.

Если же образец грунта, вырезанный из активной зоны пучения на всю высоту, поместить в цилиндрическую обойму и подвергнуть замораживанию сверху вниз под давлением, то можно определить опытным путем величину нормальных сил морозного пучения грунта. При этом следует соблюдать направление теплопотока, скорость промерзания, увлажнение грунта и отрицательную температуру близкими к природным условиям, чтобы получить наиболее объективные данные. Аналогичные опыты возможно проводить и в полевых условиях на специально сконструированных опытных установках.

При промерзании грунта до уровня подошвы фундамента силы морозного пучения действуют на фундамент через смерзание грунта с боковыми его поверхностями и данную часть сил выпучивания принято называть касательными силами. Промерзание пучинистого грунта ниже подошвы фундамента вызывает действие сил морозного пучения грунтов, направленного снизу вверх по нормали непосредственно на подошву фундамента, эта сила называется нормальной силой морозного пучения. Таким образом, под нормальной силой морозного пучения условимся подразумевать общее усилие выпучивания, действующее на всю площадь подошвы фундамента промерзающего грунта ниже его подошвы.

Под относительными нормальными силами морозного пучения грунтов подразумеваются усилия от переходного пучашегося слоя на нижнюю плоскость твердомерзлого слоя грунта, действующие в процессе льдообразования в зоне фронта промерзания, т. е. частное от деления нормальных сил морозного пучения на площадь подошвы твердомерзлой толщи грунта.

Сила морозного пучения количественно определяется сопротивлением среды деформациям при льдообразовании, такова природа сил морозного пучения, и она только условно подразделяется применительно к фундаментам на касательные и нормальные. Интересен вопрос о взаимодействии этих двух сил. Действуют ли касательные силы морозного выпучивания, когда уже фундамент выпучивается нормальными силами? Ведь одновременно выпучивается фундамент с примерзшим к его плоскостям твердомерзлым грунтом, в котором деформации от льдообразования уже прекратились.

Можно допустить, что в начальный период действия нормальных сил касательные силы сразу не исключаются и в какой-то степени продолжают выпучивающее действие на фундамент, но как только нормальные силы будут поднимать (выпучивать) фундамент, касательные силы, вероятнее всего, должны снижаться до нуля, а в дальнейшем, когда фундамент продолжает значительно подниматься, они могут оказаться в какой-то степени противодействием нормальной силе, т. е. уже могут потребоваться усилия на преодоление веса твердомерзлого грунта, примерзшего к фундаменту, при его поднятии нормальными силами.

С полной уверенностью судить о взаимодействии между касательными и нормальными силами весьма затруднительно, так как их действие протекает неодновременно и взаимодействие зависит от значений деформации морозного выпучивания. Для достаточного выяснения взаимодействия этих сил необходимо проведение трудоемких специальных экспериментальных исследований в полевых условиях на опытных фундаментах.

Как происходит изменение соотношений касательных и нормальных сил морозного выпучивания фундаментов с нарастанием глубины промерзания грунтов под подошвой фундаментов, определить в настоящее время не возможно, так как пока нет достаточно убедительных данных об изменении касательных сил морозного выпучивания фундаментов в период возникновения и нарастания нормальных сил. Расчет можно производить пока простым суммированием касательных и нормальных сил, как это рекомендуется прил. 6 СНиП II-15—74.

Расширение промерзающего грунта ниже подошвы фундамента вследствие пучения создает давление как на фундамент, так и на подошву окружающего фундамент твердомерзлого грунта, сопротивление которого нормальным силам морозного пучения всегда меньше сопротивления мерзлого грунта, находящегося под фундаментом. Перешедший в твердомерзлое состояние грунт под фундаментом при дальнейшем промерзании неизбежно будет наращивать толщину слоя, и фундамент как бы погружается в грунт, поскольку фундамент и твердомерзлый грунт вместе можно рассматривать как монолит. Если по контуру фундамента срезать мерзлый грунт, то получится наращивание фундамента снизу

тврдомерзлым грунтом, и тогда уже будет другой и глубина заложения подошвы фундамента.

Промерзающий слой грунта испытывает различное сопротивление среды. Непосредственно давление среды обусловлено слоем мерзлого грунта и давлением от веса сооружения, передающимся на грунт через подошву фундамента, в то время как за пределами контура фундамента тврдомерзлый слой грунта испытывает давление от переходного пучащегося слоя не более массы вышележащего грунта и какой-то доли массы фундамента и сооружения, а также перераспределение давления от тврдомерзлого грунта. Вследствие неравенства сопротивления среды силам морозного пучения в природных условиях часто наблюдается вспучивание грунта за пределами фундамента при отсутствии вертикальных смещений последнего, т. е. визуально можно наблюдать изгиб поверхности грунта в небольшом удалении от стенки фундамента (бугор).

Зажатый фундамент тврдомерзлый грунт находится под значительно большим давлением, чем тврдомерзлый слой грунта за пределами фундамента, следовательно, и физическое состояние мерзлого грунта под большим давлением будет несколько отличным от того же слоя грунта, промерзающего под меньшим давлением. Так, в тврдомерзлом грунте под большим давлением содержится большое количество незамерзшей воды, меньше деформаций и льдонакопления по сравнению с тврдомерзлым грунтом за пределами фундамента. Кроме того, мерзлый грунт под фундаментом более пластичен, чем за пределами фундамента.

В целях упрощения расчетной схемы примем, что физические свойства тврдомерзлого грунта под подошвой фундамента и за его пределами одинаковые и грунт в том и другом случае несжимаем. Исходя из этого можно пренебречь сжимаемостью тврдомерзлого грунта в пределах упругих деформаций вследствие ее малой величины.

Зажатый фундаментом тврдомерзлый слой грунта имеет ограниченную толщину и неограниченную площадь, находится под давлением от фундамента и сооружения и работает как плита, способная деформироваться при сосредоточенной нагрузке на упругом основании. Разрушение модели такой плиты на упругом основании можно получить на опыте. Промерзший слой грунта под фундаментом можно (мысленно) обрезать по контуру фундамента, и тогда получится фундамент из двух частей — собственно фундамент и его продолжение из тврдомерзлого грунта. В том случае, когда тврдомерзлый грунт прочно смерзся с подошвой фундамента, фундамент можно поднять краном вместе с примерзшим к нему грунтом.

Сосредоточенная нагрузка на фундамент, стоящий на тврдомерзлой плите, может ее продавить. Следует извлечь продавленный под фундаментом мерзлый грунт и замерить площадь его подошвы. По данным автора, при быстром продавливании площадь по-

дошвы твердомерзлого грунта всегда была больше площади подошвы фундамента, поскольку плоскости разрушения мерзлого грунта имеют не вертикальное направление, а всегда наклонное. С возрастанием толщины продавливаемого твердомерзлого грунта в пределах до 50 см площадь подошвы возрастает.

В основу разработки схемы для расчета устойчивости фундаментов на действие нормальных сил морозного пучения грунтов были положены три следующих принципа:

1. Деформации морозного пучения в основном ограничиваются за счет льдонакопления в переходной зоне промерзания. Льдообразование в твердомерзлом грунте не вызывает деформации морозного пучения за счет миграционной влаги или перехода незамерзшей воды в лед.

2. Силы морозного пучения грунтов возникают и развиваются в процессе льдообразования только в динамической зоне фронта промерзания.

3. Нормальные силы морозного пучения грунта передаются на подошву фундамента через твердомерзлый грунт, площадь которого находится под напряжением динамической зоны фронта промерзания и возрастает с увеличением толщины твердомерзлого слоя грунта под подошвой фундамента, ограничиваясь линией изгиба или среза под углом 45°.

Отсутствие экспериментального доказательства передвижения пленочной незамерзшей влаги в твердомерзлом грунте можно принять за обоснование первого исходного принципа. Передвижение незамерзшей пленочной воды имеет место бесспорно в пластичномерзлом переходном слое от талого к твердомерзлому состоянию грунта, т. е. в динамической зоне фронта промерзания, передвигающегося сверху вниз с изменением физического состояния грунта и возникновением внутренних сил морозного пучения, обуславливающих динамику напряженного состояния, отражающую сопротивление окружающей среды.

Переход незамерзшей влаги, содержащейся в твердомерзлом грунте, в лед при понижении температуры бесспорен, так как при этом возрастает показатель льдистости, но из этого не следует, что увеличение льдистости в твердомерзлом грунте происходит за счет миграции влаги из нижележащих талых грунтов с возникновением дополнительной деформации твердомерзлого грунта.

Увеличение объема пленочной воды в твердомерзлом грунте, очевидно, компенсируется уменьшением его объема при понижении температуры за счет общей температурной усадки.

Исходный принцип второго пункта базируется на теоретических и экспериментальных предпосылках, которые свидетельствуют о возникновении, развитии и внешнем проявлении морозного пучения грунтов в процессе качественного изменения основных их физических свойств и количественного изменения содержащегося в грунте тепла, включая и скрытую теплоту, выделяющуюся при переходе воды в лед.

Границы между переходным слоем, нижним талым грунтом снизу и твердомерзлым грунтом сверху четко не выражены, поэтому их установление в природных условиях субъективно: один и тот же переходный слой может иметь различную толщину в зависимости от того, что принять за границу между талым и твердомерзлым грунтом. За нижнюю границу пластичномерзлого слоя грунта принимается наличие визуально видимых невооруженным глазом мелких кристаллов льда, за верхнюю — твердомерзлое состояние грунта, устанавливаемое прорезкой ножом в вертикальном направлении бороздки на стенке шурфа. По бороздке легко установить границу между твердомерзлым грунтом и пластичномерзлым слоем. Пластичномерзлый грунт ножом прорезается, а в твердомерзлом грунте бороздка не образуется.

Исходный принцип по третьему пункту для обоснования расчета устойчивости фундаментов на действие нормальных сил морозного выпучивания базируется на физико-механических свойствах твердомерзлого грунта, так как его прочность намного превышает величину относительных нормальных сил, которые находятся в пределах 0,1 МПа и направлены на его нижнюю плоскость. Зажатый фундаментом твердомерзлый слой грунта в пределах его подошвы не подвержен изгибающему моменту, а твердомерзлый грунт за пределами подошвы фундамента имеет возможность изгибаться под действием двух противоположно направленных сил, т. е. давления от фундамента сверху вниз и давления от пучящегося слоя грунта снизу вверх. Поскольку действие этих противоположных сил протекает медленно, получается изгиб слоя твердомерзлого грунта без нарушения его сплошности сложения.

В твердых телах напряженная зона при изгибе, т. е. зона предела разрушения, как правило, проходит не перпендикулярно, а всегда под углом наклона к горизонтальной плоскости. Так, например, у бетона зона разрушения проходит под углом 45°, а в твердомерзлом грунте угол наклона может быть больше или меньше 45° в зависимости от жесткости изгибающего материала.

Нормальная сила морозного выпучивания фундамента при промерзании грунта ниже его подошвы больше 10 см может быть определена по формуле $N_n = F_{gr}\sigma_{ot}$, где F_{gr} — площадь подошвы твердомерзлого слоя грунта в контуре, ограниченном призмой, с наклоном граней под углом 45°, м²; σ_{ot} — относительная нормальная сила при льдообразования и пучении пластичномерзлого слоя грунта (действующая на подошву твердомерзлого грунта), МПа.

Предположим, что скальвание и линия разрушения при изгибе зажатого фундаментом твердомерзлого слоя грунта произойдут под углом 45°, как это показано на рис. 14, а при сдвиге линия разрушения под углом 45° подтверждается экспериментально.

Согласно принятому предположению о нарастании под фундаментом толщи твердомерзлого грунта «подошва» будет возрастать

с нарастанием толщины твердомерзлого грунта в пределах между прямыми линиями, проходящими с наклоном под углом 45° .

На рис. 6 приведена принципиальная схема промерзания и пучения грунта. С левой стороны рисунка (А) показан изгиб твердомерзлого грунта, а с правой стороны (Б) — скальвание твердомерзлого грунта по линии под углом 45° при быстром промерзании.

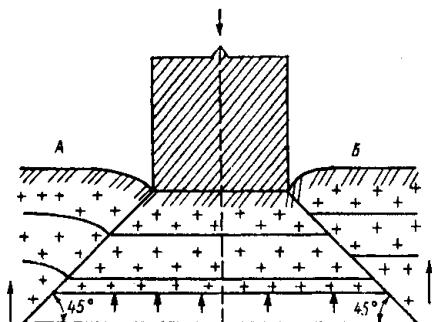


Рис. 6. Расчетная схема устойчивости фундамента на действие нормальных сил морозного выпучивания

При условии, когда нормальные силы морозного пучения меньше веса сооружения вместе с фундаментом и примерзшим к нему грунтом в виде призмы, выпучивания фундамента не произойдет.

Устойчивость фундаментов на действие нормальных сил морозного пучения грунтов при неизбежности их промерзания ниже подошвы фундамента рекомендуется проверять по формуле

$$N_u \leq P = p' + Q + 0,5 (F_\phi + F_{rp}) h_1 \gamma_0,$$

где P — суммарное давление против нормальных сил морозного пучения от веса сооружения, фундамента и призмы мерзлого грунта, МПа; p' — нагрузка на фундамент от веса сооружения, МПа; Q — масса фундамента, т; F_ϕ — площадь подошвы фундамента, м^2 ; F_{rp} — площадь подошвы твердомерзлого грунта, м^2 ; h_1 — глубина промерзания грунта ниже подошвы фундамента, м; γ_0 — объемная масса мерзлого грунта, $\text{т}/\text{м}^3$.

Площадь подошвы твердомерзлого грунта, воспринимающая напряжения от пучащегося пластичномерзлого грунта в зависимости от конфигурации подошвы фундамента (рис. 14), определяется по следующим формулам:

при фундаменте с круглой формой подошвы

$$F_{rp1} = \pi (r + h_1)^2; \quad (1)$$

при фундаменте с квадратной формой подошвы

$$F_{rp2} = (a + 2h_1)^2; \quad (2)$$

при фундаменте с прямоугольной формой подошвы

$$F_{rp3} = (a + 2h_1) (b + 2h_1), \quad (3)$$

где a — сторона квадратного фундамента и ширина прямоугольного фундамента, см; b — длина прямоугольного фундамента, см; r — радиус круглого фундамента, см; h_i — толщина твердомерзлого слоя грунта ниже подошвы фундамента, см.

Таким образом, зная или задаваясь величиной толщины твердомерзлого грунта ниже подошвы фундамента, по формулам (1) — (3) находим площадь подошвы твердомерзлого грунта на границе между пластичномерзлым грунтом.

Удельная нормальная сила морозного пучения грунта

$$\sigma_{y1} = F_{rp} \sigma_{ot} / F_\phi.$$

Для фундаментов с квадратной формой подошвы удельная нормальная сила

$$\sigma_{y1} = (a + 2h_i)^2 \sigma_{ot} / a^2. \quad (4)$$

Примем относительную нормальную силу $\sigma_{ot} = 0,1$ МПа и по формуле (4) определим значения удельных нормальных сил. Затем составим графики зависимости удельных нормальных сил морозного пучения от площади подошвы квадратного фундамента и толщины твердомерзлого слоя грунта под фундаментом (рис. 7).

Как видим из рис. 7, на значения удельных нормальных сил морозного пучения грунтов большое влияние оказывает площадь

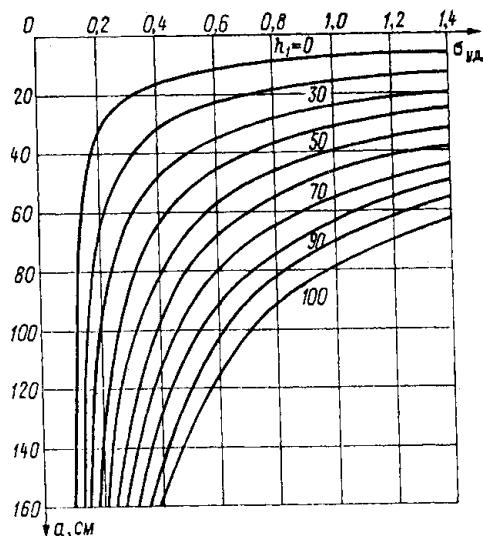


Рис. 7. Зависимости удельных нормальных сил морозного пучения от размеров площади квадратного фундамента и глубины промерзания грунта под подошвой

подошвы фундамента. Чем меньше площадь подошвы квадратного фундамента, тем выше значения удельных нормальных сил морозного пучения и, наоборот, эти значения редко снижаются с возрастанием толщины твердомерзлого слоя грунта под фундаментом.

Полученные зависимости успешно можно использовать при проектировании отдельностоящих фундаментов на пучинистых грунтах с использованием сезоннопромерзающего слоя грунта в качестве естественного основания.

Данные экспериментальных исследований автора по определению нормальных сил морозного пучения для трех фундаментов хорошо согласуются с приведенными зависимостями на рис. 7. Опытами установлено, что с увеличением толщины твердомерзлого слоя грунта под подошвой фундамента удельные нормальные силы морозного пучения возрастают, но не на всю глубину промерзания грунта. Наиболее интенсивное возрастание приходится до толщины твердомерзлого слоя около 50—60 см. Медленное возрастание наблюдается на глубинах 50—80 см, а с дальнейшим наращиванием толщины твердомерзлого слоя на глубинах выше 80 см удельные нормальные силы уже не повышаются.

На последней трети глубины промерзания обычно отсутствуют деформации морозного пучения вследствие того, что температура замерзания грунта здесь высокая ($-1,5 \div 0^{\circ}\text{C}$) и количество незамерзшей воды близко к 50 %. Эти физические особенности промерзающего грунта следует учитывать при проверке устойчивости фундаментов на действие нормальных сил морозного выпучивания, принимая при этом толщину твердомерзлого слоя под незаглубленным фундаментом не более 80 см, а для заглубляемых фундаментов на 0,5 м — не более 50 см.

В 1967 г. В. Б. Швецом была предложена расчетная схема для определения нормальных сил морозного пучения. Его схема находится в соответствии с физико-механическими процессами силовых воздействий в зоне фронта промерзания. В расчетной схеме Швеца так же, как и в схеме автора, за основу положена экспериментально установленная закономерность возрастания нормальных сил выпучивания с увеличением в определенных пределах толщины слоя твердомерзлого грунта ниже подошвы фундамента.

Расчет действия нормальных сил по схеме Швеца отличается от предложенного автором способа тем, что предельная величина внешнего давления на фундамент должна уравновесить нормальные силы, приходящиеся на подошву твердомерзлого слоя грунта, которые по существу не что иное, как относительные нормальные силы морозного пучения грунта.

Способ расчета нормальных сил морозного пучения В. Б. Швец ограничивает пределами применения только для глинистых грунтов полутвердой консистенции (при $I_L \leq 0,25$), относящихся к слабопучинистым и практически непучинистым.

По схеме В. Б. Швеца относительные нормальные силы морозного пучения грунта находятся в прямой зависимости от деформации уплотнения подстилающего талого грунта, а величина деформации обусловлена эпюрой распределения вертикальных напряжений в грунте от внешнего давления. Следовательно, от-

носительная сила морозного пучения, действующая на подошву твердомерзлого грунта, не может превышать величины давления в напряженной зоне. Превышение относительных нормальных сил по сравнению с давлением в напряженной зоне вызывает деформации уплотнения талого грунта, что приводит к снижению относительных нормальных сил морозного пучения.

В 1967 г. Ю. Г. Куликов и Н. А. Перетухин опубликовали способ определения нормальных сил морозного пучения грунта под неподвижным фундаментом по величине сжимаемости подстилающего нижележащего талого грунта, принимая величину морозного пучения равной величине осадки грунта. Определение относительных нормальных сил морозного пучения по показателям физических характеристик в принципе возможно. Указанные авторы считают, что при промерзании грунта под подошвой фундамента относительная нормальная сила морозного пучения грунта не зависит от толщины твердомерзлого грунта ниже подошвы фундамента и не изменяется в процессе промерзания грунта на глубину до 2 м. Если же относительные нормальные силы не зависят от толщины твердомерзлого слоя грунта под фундаментом, то удельные нормальные силы находятся в прямой зависимости от нее, и эту зависимость в своих расчетах они не учитывают. Кроме того, в расчетах нормальных сил морозного пучения эти авторы используют характеристики, которые практически трудно определяемые (коэффициент полной компрессии и величину деформации пучения грунта) изменчивы в процессе промерзания и уплотнения грунта.

Сочетание равенства величины морозного пучения грунта и осадки от уплотнения в природных условиях довольно редкий случай, но на приведенном примере Ю. Г. Куликов и Н. А. Перетухин логически доказали существование относительных сил морозного пучения в условиях сжимаемости подстилающего слоя грунта. Однако они не приводят конкретных рекомендаций об использовании получаемой ими величины нормальной силы морозного пучения в условиях сезонного промерзания грунта в расчетах по проверке устойчивости фундамента на воздействие нормальных сил морозного выпучивания.

Предложенная автором в 1961 г. расчетная схема на выпучивание фундаментов базируется на физических основах деформаций и напряжений, возникающих в процессе промерзания и пучения грунта. Кроме того, учтены экспериментально установленные в полевых условиях закономерности возрастания удельных сил морозного пучения с увеличением толщины твердомерзлого слоя грунта ниже подошвы фундамента и уменьшение этих сил с ростом площади подошвы фундаментов.

Результаты теоретических и многолетних экспериментальных исследований по определению нормальных сил морозного пучения грунтов в природных условиях послужили обоснованием при-

нятого в СНиП II-15—74 способа проверки устойчивости фундаментов на действие сил морозного пучения грунтов основания.

Задача дальнейших исследований заключается, во-первых, в дополнении и уточнении способа расчета устойчивости фундаментов и, во-вторых, в проведении полевых экспериментов по установлению зависимостей удельных нормальных сил морозного пучения грунтов от конфигурации и размеров подошвы фундаментов.

Галва VII. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ВЫПУЧИВАНИЯ НЕЗАГЛУБЛЕННЫХ И МЕЛКОЗАГЛУБЛЕННЫХ ФУНДАМЕНТОВ

Противопучинные мероприятия по их эффективности можно подразделить на следующие группы:

- 1) коренные, направленные на исключение возникновения деформаций и сил морозного пучения;
- 2) ограниченные, направленные на снижение деформаций и сил морозного пучения;
- 3) временно действующие, применяемые на период строительства и до ввода зданий в постоянную эксплуатацию.

По технологии устройства противопучинные мероприятия подразделяются на инженерно-мелиоративные, строительно-конструктивные и термохимические.

Количественные значения деформации и сил морозного выпучивания находятся в зависимости от многих факторов, которые проявляются в процессе промерзания грунта по отдельности и в сочетании друг с другом.

Часто встречающиеся повреждения фундаментов и надфундаментного строения зданий и сооружений от действия морозного пучения обусловлены следующими моментами: составом и физическими свойствами грунтов в зоне сезонного промерзания; состоянием природной влажности грунтов и условиями их увлажнения на период промерзания, а также глубиной и скоростью сезонного промерзания грунтов; конструктивными особенностями фундаментов и надфундаментного строения; степенью теплового влияния отапливаемых зданий на глубину сезонного промерзания; эффективностью мероприятий, применяемых против воздействия сил морозного выпучивания фундаментов; способами и условиями производства строительных работ по нулевому циклу и условиями эксплуатационного содержания зданий и сооружений.

10. Влияние некоторых факторов на процесс морозного пучения грунтов

Важную роль в процессе морозного пучения играет гранулометрический состав грунта. Всякий грунт при полном заполнении

всех пор способен всучиваться при замерзании, но степень деформации у разных грунтов будет неодинакова.

По данным наблюдений за морозным пучением глинистых грунтов в полевых и лабораторных условиях, усматривается наибольший эффект морозного пучения в грунтах, в составе которых преобладают пылеватые частицы диаметром от 0,05 до 0,005 мм. Наиболее пучинистые грунты содержат пылеватых частиц от 30 до 80% по массе.

Грунты с преобладанием пылеватых частиц в природных условиях характеризуются высоким капиллярным поднятием, быстрым поглощением воды и легкой ее отдачей и обычно очень слабой структурной связью.

Большое количество коллоидных частиц в мелкодисперсных глинистых грунтах затрудняет передвижение воды по капиллярам, что влияет на возможность накопления значительного количества льда за счет подсоса из нижележащих грунтов к фронту промерзания, так как эти грунты обладают большой удельной поверхностью частиц, которые за счет поверхностной энергии притягивают к себе воду и таким образом затрудняют передвижение ее по тонким капиллярам к слою промерзания.

Вследствие физического взаимодействия удельной поверхности мелкодисперсных глинистых грунтов с водой глины в природных условиях при промерзании всучиваются в 2—3 раза меньше, чем пылеватые супеси и суглинки. Кроме того, в глинистых грунтах количество незамерзшей воды находится в зависимости от степени их дисперсности и значений отрицательной температуры мерзлого грунта.

На внешний эффект морозного пучения грунтов, кроме гранулометрического состава, оказывают влияние также и свойства грунтов, как плотность природного сложения, их структурная связь, минералогический состав, химический состав поглощающего комплекса, степень засоления и др.

Среднее значение плотности сложения пылеватых глинистых грунтов — оптимальное условие для развития процесса морозного пучения. Обычно грунты довольно плотного сложения при промерзании всучиваются незначительно, несмотря на то, что все поры грунта полностью заполнены водой. С другой стороны, в очень рыхлых грунтах редко можно встретить, чтобы все поры и пустоты были полностью заполнены водой, поэтому в рыхлых, хотя и образуется лед, деформации пучения, так же как и при очень плотном сложении, наблюдаются небольшие.

Суглинки средней плотности сложения с плотным заполнением пор грунта водой при промерзании чрезмерного всучивания не только за счет содержащейся воды в порах, но и за счет подсоса воды по капиллярам к фронту промерзания из нижерасположенных водонасыщенных грунтов. Грунты очень плотного и рыхлого природного сложения оказывают большое влияние на капиллярный подсос влаги, этим и объясняется меньшая вели-

чина морозного пучения по сравнению с пучением грунтов средней плотности.

На величину морозного вспучивания оказывают влияние также структура грунта и прочность структурных элементов. В грунтах в зоне сезонного промерзания с ясно выраженной структурой отдельные элементы обладают плотным сложением и повышенным сцеплением, поэтому в таких структурных элементах образования льда при промерзании не наблюдается. Как правило, в грунтах с ярко выраженной прочной структурой при промерзании лед образуется в трещинах между структурными элементами и оказывает небольшое влияние на величину поднятия поверхности грунта от морозного пучения. Грунты же со слабо выраженной структурой и незначительной прочностью структурных элементов обладают слабым сцеплением между пылеватыми частицами. При промерзании таких грунтов ледяные кристаллы образуются внутри структурных элементов и вызывают значительные деформации морозного пучения.

Обычно пылеватые бесструктурные супеси и суглинки при увлажнении теряют сцепление между частицами и при промерзании в них образуется большое количество ледяных прослоек и линз. Часто такие грунты называют морозоопасными.

Результаты экспериментальных исследований показали зависимость льдонакопления в промерзающих глинистых грунтах от их минералогического и химического состава, а также от качества и количества поглощенных оснований и водорастворимых солей. Следовательно, при назначении мероприятий по уменьшению деформаций морозного пучения с обработкой грунтов химическими реагентами необходимо учитывать минералогический и химический состав грунтов в их природном сложении.

Все грунты природного сложения содержат воду в трех физических состояниях (пар, жидкость и твердое тело — лед). В зависимости от ее физического состояния и количества в грунте влажность грунтов подразделяется на несколько категорий.

Воздушно-сухой глинистый грунт содержит только одну гигроскопическую влажность. Такие грунты в природных условиях не смерзаются в монолитную массу, так как гигроскопическая влага не переходит в лед и не цементирует минеральные частицы грунта.

При поступлении парообразной влаги минеральные частицы покрываются сплошным слоем водяной пленки, и такую воду в грунте принято называть пленочной; она при замерзании цементирует минеральные частички в монолитное твердое состояние.

Экспериментальные исследования физических свойств пленочной воды проводили в 1936 г. А. Ф. Лебедев [45] и П. И. Андрианов [2]. Ими доказано, что пленочная вода удерживается на частичках грунта действием молекулярных сил притяжения, поэтому этот вид воды принято называть связанной водой. Опытами в лабораторных условиях установлено, что минеральные частички

грунта цементируются, но увеличения объема грунта с пленочной водой не происходит.

С повышением количества влаги в грунте пленка связанной воды на минеральных частичках становится толще, и по степени молекулярного притяжения этот слой подразделяется на два: прочно связанный слой и слой рыхло связанной воды, как это показано схематически Н. А. Цытовичем [95].

Наличие в глинистых грунтах рыхло связанной воды позволяет образоваться ледяным включениям с увеличением объема грунта при замерзании. Глинистый грунт, содержащий рыхло связанную воду, относится к пластичной консистенции и при замерзании вспучивается.

Грунты пластичной консистенции, в которых природная влажность превышает влажность на пределе пластичности и менее влажности на пределе текучести, согласно лабораторным опытам, при промерзании без нагрузки на образец значительно вспучиваются, но увеличение объема грунта при промерзании зависит от начальной природной влажности. Пределы начальной влажности грунта, при которой деформации морозного пучения незначительны и допустимы для фундаментов зданий, можно определить по данным лабораторных опытов. Вероятнее всего этот допустимый предел для каждого вида грунта будет разным в зависимости от гранулометрического и минералогического составов, физических свойств, высоты и скорости капиллярного поднятия и других характеристик.

В водонасыщенных глинистых грунтах при полном заполнении всех пор водой в грунте уже, кроме связанной, содержится вода, свободная от влияния молекулярных сил минеральных частиц. Первые очаги зарождения кристаллов льда при замерзании водонасыщенного глинистого грунта образуются в свободной воде. Когда она вся перейдет в лед, под действием сил кристаллизации льда к нему притягивается сначала рыхло связанная вода, а затем какая-то часть пленочной. При этом на покрытых тонким слоем пленочной воды минеральных частицах возникает поверхностная нереализованная энергия, благодаря которой вода подтягивается к тонкой прочно связанной пленке воды из нижерасположенного водонасыщенного грунта. Процесс передвижения пленочной и капиллярной воды к фронту промерзания принят называть по предложению М. И. Сумгина миграцией влаги в процессе сезонного промерзания грунта.

Источниками увлажнения грунтов в зоне сезонного промерзания в природных условиях служат атмосферные осадки, выпадающие в виде дождей, подземные воды, залегающие близко к дневной поверхности, и производственные воды (сброс воды при технологических процессах, утечки из водопроводных и канализационных сетей). На увлажнение грунтов в осенний период большое влияние оказывает распределение осадков в течение года.

Так, например, в северной части Нечерноземной зоны значительное количество атмосферных осадков выпадает в осенне время. Здесь глинистые грунты перед промерзанием бывают большей частью водонасыщенные и поэтому сильно всучиваются. В ряде районов СССР, например Казахстане и юге восточной части Западной Сибири, где осенью атмосферных осадков выпадает ничтожное количество и воздух с большим дефицитом влаги, грунты в зоне промерзания просушиваются и, как правило, перед промерзанием остаются сухими, не всучиваются.

Подземные воды по своему залеганию подразделяются на верховодку с невыдержаным уровнем воды и глубинные подземные воды с устойчивым, иногда колеблющимся уровнем стояния. Верховодка отличается от глубинных подземных вод непостоянством ее распространения по площади, различным уровнем появления в выработках и незначительным дебитом.

Подземные воды не всегда имеют стабильный уровень стояния. Так, например, в аллювиальных отложениях речных долин уровень стояния подземной воды зависит от колебания уреза воды в реке. Весенний подъем уреза воды в реке не составляет большой угрозы для фундаментов, так как уровень подземной воды понижается со спадом воды в реке. В Восточной Сибири в некоторых районах максимальный подъем воды в реках приходится на август-сентябрь, и там грунты перед промерзанием оказываются водонасыщенными, что может привести к значительному пучению. Находясь близко к слою промерзающего грунта, верховодка и подземная вода по капиллярам увлажняют промерзающий грунт, создавая при этом наиболее благоприятные условия для миграции влаги к фронту промерзания и образования в грунте избыточного накопления льда в виде прослоек и лиз.

За толщину слоя капиллярного поднятия воды принимается расстояние от уровня подземной воды до горизонта, где влажность глинистого грунта не превышает влажности на границе раскисления.

Толщину слоя капиллярного поднятия называют морозоопасной «каймой» над уровнем подземной воды. Эта кайма зависит от состава и сложения грунта в природных условиях, и толщина ее колеблется в пределах от 0,3 до 3,5 м в зависимости от степени дисперсности грунта.

Капиллярное поднятие воды в грунтах происходит под действием поверхностной энергии минеральных частиц грунта и, следовательно, зависит от их удельной поверхности. Например, в песках круглых и средней крупности удельная поверхность частиц сравнительно небольшая, поэтому в этих песках почти не наблюдается капиллярного поднятия воды и вследствие этого отсутствуют деформации морозного пучения (они относятся к непучинистым грунтам).

Пески мелкие и пылеватые имеют большую дисперсность по сравнению с песком крупным, и вследствие взаимодействия удель-

ной поверхности минеральных частиц с водой капиллярное поднятие в природных условиях наблюдается на высоту от 0,3 до 0,5 м. В супесях высота капиллярного поднятия достигает от 0,5 до 1, в суглинах — до 1,5 и глинах — до 3 м.

На основании визуальных наблюдений за высотой капиллярного поднятия над уровнем грунтовых вод по разрезам и по данным распределения природной влажности грунта в этой зоне установлены зависимости его высоты от физических характеристик пучинистых грунтов. При наличии этих характеристик можно рассчитать высоту капиллярного поднятия, которая и служит основным показателем в классификации степени пучинистости грунтов (табл. 17).

Изменение стояния уровня грунтовых вод рекомендуется прогнозировать с зависимости от гидрогеологических условий строительной площадки, особенностей возводимых зданий и сооружений, способов производства строительных работ по нулевому циклу и условий эксплуатации.

Положение зоны капиллярного поднятия воды в грунтах находится в зависимости от сезонных и многолетних колебаний стояния уровня грунтовых вод, поэтому возможность изменения природной влажности грунтов в слое сезонного промерзания следует определять по материалам гидрогеологических изысканий и прогнозов, выполняемых на основе специальных расчетов.

Локально водонасыщаемые промышленными водами грунты при промерзании неравномерно всучиваются, что вызывает серьезные повреждения зданий и сооружений. При проектировании фундаментов промышленных зданий и сооружений с мокрым технологическим процессом следует предусматривать мероприятия, исключающие или уменьшающие последствия водонасыщения грунтов.

Глубина и скорость промерзания грунтов являются важными факторами в процессе их морозного пучения, зависят от вида грунтов и их природной влажности, значений отрицательной температуры наружного воздуха и продолжительности холодного периода года.

Наблюдениями за глубиной промерзания грунтов установлено, что влажные глины и суглинки промерзают примерно на 20% меньше, чем супеси, пески мелкие и пылеватые, а пески крупные и крупнообломочные грунты промерзают еще больше, чем супеси и пылеватые пески.

Глубина промерзания грунтов в пределах территории нашей страны колеблется в широких пределах — от 0,5 до 6 м. Максимальные значения глубины промерзания грунтов наблюдаются в Забайкалье, ближе к границе Монголии, преимущественно на песчаных и крупнообломочных грунтах и большей частью на склонах северной экспозиции.

В табл. 18 приведены результаты наблюдений за глубиной промерзания грунта на естественной площадке со снежными отло-

Таблица 18. Данные наблюдений за промерзанием грунта

Период наблюдений	Глубина промерзания, см		Высота снежного покрова, см	Коэффициент теплоизолирующего влияния снега	Сумма среднемесячных отрицательных температур наружного воздуха за зиму, °C
	на очищенной от снега площадке	под сиежным покровом			
1954—1955	145	21	47	6,9	26
1955—1956	195	75	57	2,6	50,7
1956—1957	111	20	49	5,5	25
1957—1958	126	36	39	3,5	26,7
1958—1959	113	39	48	2,9	20,2
1959—1960	152	33	53	4,6	3,9
1960—1961	85	14	30	6	13,5
1961—1962	124	36	40	3,4	26,4
1962—1963	172	51	63	3,4	42,7
1963—1964	142	58	29	2,4	33,7
1964—1965	151	28	43	5,4	29,4
1965—1966	141	22	53	6,4	26,5
1966—1967	158	28	57	5,6	36,5
1967—1968	165	22	65	7,5	35,4
1968—1969	189	40	40	4,7	44,7
1969—1970	151	32	73	4,7	30,6
1970—1971	129	59	22	2,1	26,6
1971—1972	162	78	19	2,0	31,7
1972—1973	115	62	28	1,8	17,4
1973—1974	123	28	26	4,4	21,4
1974—1975	90	15	35	6,0	13,6
1975—1976	161	30	41	5,3	34,0
1976—1977	134	24	59	5,6	25,4
1977—1978	138	13	50	10,6	25,5
1978—1979	157	45	45	3,4	34,9
1979—1980	153	17	50	9,0	32,0
Среднее	141,6	35,6	44,7	4,8	29,6

жениями и на площадке, обнаженной от травяной растительности и сиежных отложений.

На одной и той же площадке в разные годы грунт промерзает на различную глубину, что установлено стационарными ежедневными наблюдениями метеорологической обсерватории МГУ на

бпытной площадке. Площадка, расположенная на Ленинских горах в Москве, сложена до глубины 3,2 м покровным суглинком, имеет форму квадрата 25×25 м с ровной поверхностью без затененных участков.

Как видно из данных таблицы, фактическая глубина промерзания (по мерзлотометру Ратомского) на очищаемой площадке от снега колеблется от 85 до 195 см при среднем значении за 26 лет 141,6 см, на естественной площадке под снежным покровом (за тот же период наблюдений) — от 13 до 75 см при среднем значении, равном 35,6 см. Высота отложений снежного покрова меняется от 19 до 73 см при среднем значении 44,7 см, коэффициент теплового влияния снежных отложений — от 1,8 до 10,6 при среднем значении 4,8.

Полученные значения коэффициента теплоизолирующего влияния не пропорциональны значениям высоты снежного покрова, так как на глубину сезонного промерзания грунта большое влияние оказывает время выпадения снежного покрова. Если же снег лежит на талую землю, то и при небольшой высоте снежных отложений коэффициент теплового изолирующего влияния оказывается весьма значительным, но, когда снег ложится во второй половине зимы на промерзлую землю, значения этого коэффициента от высоты снежных отложений в несколько раз меньше (см. табл. 18).

Сумма среднемесячных отрицательных температур наружного воздуха за отдельные зимы колеблется от 13,6 до 50,7 при среднем значении 29,6. Таким образом, тепловое влияние большого города на климат довольно значительно. По данным многолетних наблюдений метеорологической станции Тимирязевской сельскохозяйственной академии сумма среднемесячных отрицательных температур равнялась 36°С.

На рис. 8 показаны глубина промерзания грунта h на обнаженной (однорядная штриховка) и на заснеженной площадке (двухрядная штриховка) по средним значениям за 26 зимних сезонов. Характерно, что начало оттаивания грунта как сверху, так и снизу происходит в марте. Полное оттаивание грунта заканчивается в первой декаде мая.

Величина глубины промерзания грунтов оказывает большое влияние на вспучивание дневной поверхности грунта. Так, например, на опытной площадке в Забайкалье пучение свободной поверхности грунта достигло 39 см при глубине промерзания суглинистого грунта на 2,8 м, а сильнопучинистый суглинок в Московской области вспуился на 15 см при глубине промерзания на 1,5 м.

Значения морозного пучения грунтов зависят от скорости промерзания, а скорость, в свою очередь, зависит от значений отрицательной температуры наружного воздуха. Экспериментально установлено, что чем меньше скорость промерзания, тем большее величина пучения и, наоборот, при больших скоростях промерза-

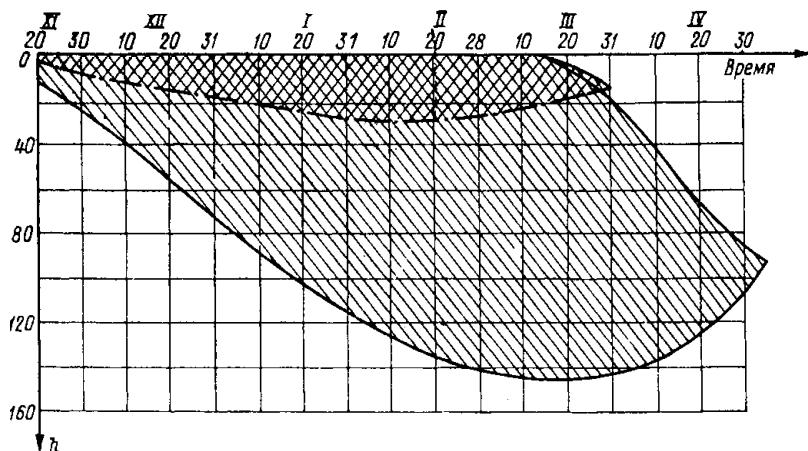


Рис. 8. Средние многолетние значения глубины промерзания грунта на обнаженной и естественной площадках за 1954—1980 гг.

ния величина вспучивания грунта меньше. На величину вспучивания оказывает влияние коэффициент фильтрации глинистого грунта, который обуславливает подток количества влаги к фронту промерзания. В образцах, замерзающих при большой скорости промерзания, визуально не наблюдается образования ледяных включений в виде прослоек и линз, следовательно, грунт незначительно ухудшает свои физические свойства при оттаивании.

При малой скорости промерзания грунта происходит формирование льдистой текстуры, сопровождающееся повышенным накоплением ледяных включений в нем за счет миграции воды из нижележащих слоев талого грунта. Такие грунты при оттаивании резко ухудшают свои физические свойства. Иногда грунты, имеющие твердую или пластичную консистенцию до промерзания, превращаются в текучее состояние после промерзания и оттаивания.

Наибольшее количество льда в грунтах природного сложения скапливается при промерзании грунта на глубину до 1—1,2 м, т. е. там, где больше сказывается колебание отрицательной температуры наружного воздуха, например, при смене холодной погоды на оттепели.

Вышерассмотренные факторы обуславливают проявление свойств пучинистых грунтов, выражющееся в увеличении объема при замерзании и уменьшении при оттаивании. Этот процесс причиняет серьезные повреждения фундаментам строящихся зданий и сооружений вообще и в особенности малонагруженным фундаментам в период эксплуатации. Следовательно, при проектировании фундаментов с применением различных противопучинных ме-

роприятий необходимо знать не только грунтовые условия данной площадки по инженерно-геологическим отчетам, но и основные свойства пучинистых грунтов вообще, а также факторы, обуславливающие силы и деформации морозного пучения.

Обычно в отчетах гидрогеологических изысканий отсутствует детальное описание строения грунтов, их состава и влажности, начиная от дневной поверхности до глубины промерзания, т. е. того слоя грунта, который ежегодно промерзает и оттаивает и в котором протекают физико-механические процессы морозного пучения.

Для установления степени пучинистости глинистых грунтов требуются следующие показатели промерзающего слоя: природная влажность, число пластичности, гранулометрический состав, появившийся и установившийся уровень подземных вод, залегающих до 6 м ниже дневной поверхности.

При проектировании зданий и сооружений на отдельных площадках со сложными грунтовыми условиями назначаются специальные исследования деформаций и сил морозного пучения в природных условиях по дополнительной программе инженерно-геологических изысканий.

11. Коренные мероприятия против действия сил морозного пучения грунтов

Величина деформации морозного пучения грунта и сила морозного выпучивания фундаментов в основном обусловлены следующими факторами: 1) составом грунта в зоне промерзания с пучинистыми свойствами; 2) состоянием природной влажности и условиями увлажнения грунтов; 3) значениями отрицательной температуры замерзающего грунта. Если же исключить влияние одного из упомянутых трех факторов, то не возникнет деформаций и сил морозного пучения.

Коренные противопучинные мероприятия направлены на исключение одного из трех основных факторов. К числу этих мероприятий относятся полная замена пучинистого грунта непучинистым или насыпным слоем из сухого грунта на толщину промерзающего слоя, осушение грунтов водоотводами и дренажными системами и обогрев грунтов возле фундаментов в зимнее время.

Полностью заменять пучинистый грунт непучинистым на всю толщину промерзания нет необходимости. Экспериментальной проверкой установлено, что при промерзании пучинистого грунта в последней трети глубины промерзания пучения не наблюдается, так как там — близкие к нулю отрицательные температуры и остается большое количество грунтовой влаги в незамерзшем состоянии, к тому же верхние две трети мерзлого грунта противодействуют появлению деформации морозного пучения. Практикуется производить замену пучинистого грунта непучинистым только при засыпке пазух для отапливаемых зданий с наружной

его стороны, для неотапливаемых зданий с обеих сторон фундамента.

Там, где по условиям планировки требуется подсыпка грунта, применяют подсыпку из непучинистых грунтов без замены пучинистых. Высота подсыпки достаточна на две трети от глубины промерзания грунта.

Наиболее эффективным мероприятием против морозного пучения является осушение грунтов в зоне промерзания и недопущение их водонасыщения как в период строительства, так и во время эксплуатации. На коренные мероприятия по осушению грунтов составляются специальные проекты с учетом условий водонасыщения грунтов. В качестве коренного мероприятия в зимний период применяют обогрев грунта возле фундаментов под специальное оборудование в неотапливаемых промышленных зданиях.

Коренные мероприятия не нашли широкого применения в практике фундаментостроения на пучинистых грунтах, так как для полного исключения действия сил морозного пучения требуются большие затраты средств и рабочей силы.

13. Ограниченные мероприятия, направленные на снижение деформаций и сил морозного пучения грунтов

Морозное пучение грунтов довольно часто деформирует и даже разрушает не только фундаменты, но и отдельные конструктивные элементы зданий и сооружений, наносит повреждения зданиям и сооружениям на автомобильных и железных дорогах, аэродромах, гидroteхническим сооружениям и подземным инженерным коммуникациям. Основная причина деформаций зданий и сооружений от морозного пучения — наличие воды в промерзающих грунтах, поэтому работы, направленные на осушение грунтов, считаются первостепенными.

Инженерно-мелиоративные мероприятия сводятся к осушению грунтов и недопущению их водонасыщения в зоне сезонного промерзания и ниже ее на 2—3 м. Важно, чтобы грунты перед промерзанием были максимально обезвожены, что не всегда возможно, так как не все грунты способны быстро отдавать содержащуюся в них воду.

Коренные мероприятия по техническим и экономическим соображениям не везде и не всегда можно применить. Кроме того, они не всегда нужны для отдельных категорий зданий, чтобы полностью исключить деформации от морозного пучения. При небольших перемещениях фундаментов в пределах допустимых деформаций силы морозного пучения резко снижаются и обычно повреждений в зданиях не наблюдается. Поэтому рекомендуется применять противопучинные мероприятия в целях снижения деформаций морозного выпучивания, ограничивая величины перемещения фундаментов значениями предельных деформаций,

т. е. назначать эти мероприятия с учетом допустимых предельных деформаций.

Инженерно-мелиоративные мероприятия должны назначаться в зависимости от условий источника увлажнения: атмосферных осадков, верховодки или подземных вод. Необходимо при этом учитывать время выпадения атмосферных осадков, их интенсивность и общее среднегодовое количество с распределением по месяцам. Поверхностные воды, осадки, выпадающие в виде дождей, и стоки промышленных вод можно отвести в водостоки или ливневую канализацию путем планировки площадки с отводом.

При составлении проектов вертикальной планировки на участках с пучинистыми грунтами нужно по возможности избегать изменения направления естественных водотоков. При необходимости изменений направления естественного водотока следует предусмотреть мероприятия, исключающие вредные явления, такие как обводнение грунтов засыпки старого русла водотока или размыв площадки во время паводков или весеннего половодья. Нередки случаи, когда грунты засыпки в пазухах уложены без уплотнения, а около отмосток и на отмостках наблюдаются провальные понижения, через которые вода из водосточных труб поступает прямо в грунт засыпки пазух, что способствует избыточному и в то же время неравномерному увлажнению грунтов под фундаментом и возле его стенок.

При промерзании грунтов возле фундаментов с неравномерным их водонасыщением часто появляются сквозные трещины над проемами и под проемами в стенах кирпичной кладки даже при хорошем качестве строительных работ. Следовательно, необходимо помнить о возможных случаях подхода воды в грунты засыпки пазух возле фундаментов и появлении деформаций конструктивных элементов зданий. Также следует учитывать возможность повышенной фильтрационной способности глинистых грунтов нарушенного сложения, например, в пазухах у фундаментов, в траншеях для прокладки различных инженерных коммуникаций, насыпных грунтах на пониженных участках, где происходит водопоглощение атмосферных осадков вследствие недостаточного уплотнения насыпных грунтов. Водосточные лотки и стоки вод надлежит располагать там, где вблизи фундаментов зданий нет насыпных грунтов.

Наличие верховодки в грунтах приносит немало неприятностей строителям. Эта вода заполняет открытые котлованы для установки фундаментов, постоянно или периодически затапливает подвалы, смотровые колодцы подземных инженерных коммуникаций и, самое главное, подается по капиллярам к динамической зоне фронта промерзания. При составлении проекта мелиоративных мероприятий по осушению грунтов с наличием верховодки следует установить ее вид: с постоянным или меняющимся уровнем воды, стоящая на впадинообразной кровле водоупорных глини-

стых грунтов или это верховодка, как бы подвешенная в грунтах с периодическим появлением и исчезновением.

О gleение глинистого грунта служит признаком периодического стояния воды. Этот признак легко обнаружить по пестрой окраске грунта со светло-серыми и ржаво-окристальными пятнами на разрезе. О продолжительности стояния подвешенной верховодки в грунте можно судить по окраске глинистого грунта с признаками оgleения, где уровень грунтовой воды держится продолжительный период. Например, в болотах окраска грунтов серая с редкими мелкими пятнами желтого цвета; при незначительном периоде стояния верховодки в грунте преобладает желтый цвет с редкими и мелкими серыми пятнами. Таким образом, о периодическом появлении верховодки в грунте можно узнать по генетическим признакам, даже если во время изысканий она не была обнаружена.

Мероприятия по осушению грунтов от верховодки следует проектировать по материалам гидрогеологических исследований об условиях залегания и распространения грунтовых и подземных вод. При отсутствии материалов специальных гидрогеологических исследований проекты по осушению грунтов от верховодки, составленные по имеющимся данным инженерно-геологических изысканий, не всегда достигают желаемого эффекта.

На местности с уклоном перехвата стекающих со склона поверхностных вод надлежит устраивать нагорные канавы, глубокие осушительные канавы, лотки или даже дренажные устройства для отвода воды из грунтов.

По своему назначению мелиоративные мероприятия подразделяются на временные или постоянно действующие. К временным относится водопонижение иглофильтровыми установками, водопонижающими колодцами с откачкой воды насосами, временными дренажами, осушительными водоотводными канавами и лотками, к постоянным — закрытые дренажи с укладкой гончарных или асбестоцементных труб разного диаметра, капитальные водосборные галереи, колодцы с устройством водоотлива и др.

В дальнейшем будем называть верховодку грунтовой водой, а под подземными водами подразумевать содержащиеся в грунтах воды с постоянно стоящим или колеблющимся уровнем, сравнительно большим дебитом и незначительными колебаниями температуры. На одном грунтовом разрезе в природных условиях встречаются грунтовая и подземная воды, временами они сливаются и тогда возникают затруднения в установлении происхождения этой воды в грунте.

Для снижения деформации грунта от морозного пучения при промерзании мелиоративные мероприятия должны быть направлены на осушение слоя сезонного промерзания и слоя ниже зоны промерзания на 2—3 м. Разнообразие геологических и гидрогеологических условий затрудняет разработку единых универсальных

рекомендаций по обезвоживанию грунтов, пригодных для любых гидрогеологических условий на весь период строительства и эксплуатации зданий и сооружений.

Не следует забывать о дополнительном локальном увлажнении грунтов от прудов, выгребных ям, водоразборных колонок, мест для мойки автомашин и др., которые нельзя располагать вблизи малонагруженных фундаментов зданий и сооружений, а также с нагорной стороны на площадках, имеющих уклон в направлении к зданиям.

Из опыта строительства и эксплуатации зданий известно, что на застраиваемых территориях происходит поднятие или появление уровня грунтовых вод в процессе эксплуатации зданий, что наблюдается даже в засушливых районах на лёсовых грунтах.

На период изысканий грунты, отнесенные по гидрогеологическим условиям к практически непучинистым, могут оказаться при изменении уровня грунтовых вод сильно пучинистыми.

Прогнозировать поднятие уровня подземных вод и степень обводнения грунтов, близко лежащих к слою сезонного промерзания, довольно затруднительно. Несмотря на то, что в СНиП II-15—74 имеется указание о том, что при проектировании фундаментов следует учитывать возможные изменения гидрогеологических условий площадки, но, к сожалению, данный вопрос довольно сложный, и решать его приходится для каждой площадки отдельно.

Инженерно-мелиоративные мероприятия должны проектироваться на базе детальных и весьма достоверных данных о наличии подземных вод, их дебите, направлении и скорости движения потоков в грунте и рельфе кровли водоупорного слоя грунта. Следует также придавать большое значение изучению природной влажности глинистых грунтов в зоне сезонного промерзания.

В тех случаях, когда нерезультативно осушение грунтов с использованием мелиоративных мероприятий, нужно применять строительно-конструктивные или термохимические мероприятия.

Конструктивные мероприятия против повреждения зданий и сооружений деформациями и силами морозного выпучивания направлены на приспособление конструктивных элементов к условиям морозного пучения как самих фундаментов, так и надфундаментного строения с целью снижения и преодоления сил морозного пучения.

Так, например, на сильно пучинистых грунтах с близко расположенным уровнем стояния подземных вод многоэтажные здания обычно проектируют на свайных фундаментах с глубиной забивки свай по расчету на действие касательных сил морозного пучения, что исключает возможность деформации зданий силами морозного выпучивания при полной нагрузке на свайный фундамент. Но свайные фундаменты довольно часто выпучиваются в период строительства, когда забитые сваи перезимовывают ненагруженными или при неполной нагрузке. Эти деформации выпу-

чивания возникают особенно тогда, когда подстеновой ростверк или подстеновые балки заложены в слое сезонного промерзания и стены возведены только на 1—2 этажа. Во избежание появления деформаций в период строительства СНиП II-15—74 рекомендует предохранять грунты от увлажнения и промерзания, но обычно не всегда можно предусмотреть заранее мероприятия по защите грунтов в основании от промерзания.

Фундаменты зданий и сооружений, возводимых на пучинистых грунтах, в принципе можно запроектировать любой конструкции и из любых строительных материалов, которые обеспечивают их эксплуатационную пригодность и удовлетворяют требованиям прочности и долголетней сохранности.

Наиболее важным конструктивным мероприятием против действия нормальных сил морозного пучения является глубина заложения фундаментов, которая для каменных гражданских и промышленных зданий нормируется по табл. 15 СНиП II-15—74.

Назначение глубины заложения фундаментов на пучинистых грунтах — важный и сложный процесс фундаментостроения, при решении которого надлежит исходить из всестороннего анализа комплексного влияния различных факторов на конструкции фундаментов и грунты в основании.

По СНиП II-15—74 глубина заложения фундаментов на пучинистых грунтах принимается не менее нормативной глубины промерзания грунтов во избежание возможности возникновения деформации выпучивания под действием нормальных сил морозного пучения.

При назначении глубины заложения фундаментов следует учитывать:

1) геологические и гидрогеологические условия строительной площадки, т. е. виды грунтов, их физическое состояние, гранулометрический состав, наличие подземных вод и колебание их уровня стояния, влажностный режим грунтов в зоне сезонного промерзания и возможность возникновения морозного пучения грунтов;

2) назначения зданий и сооружений, наличие подвалов, подземных коммуникаций, фундаментов под спецоборудование, величину и характер нагрузок, действующих на основание, наличие фундаментов примыкающих зданий, условия эксплуатационного режима и климатические особенности данного района.

В практике проектирования фундаментов за исходную глубину промерзания грунтов принимается не фактическая за данный год, а нормативная и расчетная глубины. За нормативную глубину промерзания принимается среднее значение из ежегодных максимальных глубин сезонного промерзания грунтов по данным наблюдений за период не менее 10 лет за фактическим промерзанием грунтов под открытой, оголенной от снега поверхностью горизонтально расположенной площадки при уровне стояния подземных вод ниже глубины промерзания грунтов.

При определении расчетной глубины промерзания грунтов учитываются такие факторы, как тепловое влияние отапливаемых зданий, тепловая инсоляция на поверхности грунта, интенсивность солнечной радиации и экспозиция склона.

Устойчивость фундаментов на действие сил морозного выпучивания рекомендуется проверять по прил. 6 СНиП II-15—74, но при строительстве малоэтажных зданий, осуществляемых с конструкциями, малочувствительными к неравномерным перемещениям, например, с деревянными рублеными или брускатыми стенами, а также сельскохозяйственных сооружений типа овощесилосохранилищ и т. п., выполняемых из древесных материалов, производить расчеты на действие сил морозного пучения грунта не требуется. Для упомянутых зданий и сооружений нет надобности принимать глубину заложения фундаментов в зависимости от глубины промерзания грунтов, используя при этом сезоннопромерзающий слой грунта в качестве естественного основания под незаглубленные и мелкозаглубленные фундаменты, которые нашли широкое применение в практике строительства открытых распределительных устройств электроподстанций и временных зданий и сооружений строительных баз теплоэлектростанций независимо от степени пучинистости грунтов.

На основании данных изысканий о физическом состоянии грунтов можно рекомендовать конструкции незаглубленных и мелкозаглубленных фундаментов в виде сборных отдельностоящих блоков, монолитные и сборные ленточные фундаменты без заглубления в грунт с учетом конструктивных особенностей и целевого назначения зданий и сооружений. Применение мелкозаглубленных фундаментов под одноэтажные каменные здания позволяет сократить время строительства и его стоимость.

Противопучинные мероприятия при помощи усиления конструкций зданий и фундаментов применяются при проектировании объектов с ленточными фундаментами на сильнопучинистых грунтах. Так, например, на уровне верха фундаментов для одно-двухэтажных каменных зданий по периметру наружных и внутренних стен надлежит предусматривать конструктивные железобетонные пояски шириной не менее 0,8 толщины стены и высотой 0,15 м, а над проемами последнего этажа — армокаменные пояса.

Железобетонные пояса должны иметь марку бетона не менее 150, арматуру с минимальным сечением 3—10 мм, соединение стержней по длине на сварке или, в крайнем случае, нормативный перепуск согласно техническим условиям. Для придания жесткости конструкций зданий плиты междуэтажных перекрытий необходимо связать между собой по средней продольной стене здания и замоноличить в кладке наружных стен.

Конструкции фундаментов на пучинистых грунтах предпочтительнее применять такие, которые позволяют механизировать процесс производства фундаментных работ и сократить объемы земляных работ по рывью и засыпке котлованов, а также по

транспортировке и уплотнению грунта. При наличии сильнопучинистых грунтов этому условию удовлетворяют конструкции свайных и анкерных фундаментов, затем отдельно стоящие столбчатые; при устройстве которых не требуется выполнять больших объемов земляных работ.

Для легких малоэтажных зданий целесообразнее применять незаглубленные и мелкозаглубленные фундаменты в виде монолитных рам или плит на подготовленном основании.

При проектировании зданий и сооружений на столбчатых и свайных фундаментах с заглубленными подстеновыми рандбалками следует предусматривать устройства водоотвода из зазоров или песчаных подушек под рандбалками, в противном случае часто наблюдаются разрушения сплошности стен в зданиях под воздействием на рандбалку нормальных сил морозного пучения грунтов [62].

Под стены малоэтажных каменных зданий на сильнопучинистых грунтах целесообразнее применять монолитные фундаменты с анкерами по расчету на действие сил морозного пучения грунтов. Сборные блоки и фундаментные башмаки требуется замоноличивать с таким расчетом, чтобы фундамент в процессе пучения не был разделен касательными силами морозного пучения.

Для оград, теплиц и других легких сооружений применяют фундаменты из сборных железобетонных стоек с башмаками без монолитного соединения. На сильнопучинистых грунтах применение таких фундаментов не обеспечивает устойчивости малонагруженной стойки, поскольку башмак не работает в качестве анкера. Следовательно, на сильнопучинистых грунтах надлежит применять фундаменты с монолитным соединением стойки с башмаком.

В практике строительства малонагруженных фундаментов на пучинистых грунтах фундаментную стойку устанавливают не в башмак заводского изготовления, а в бетонный раствор, заливаемый в котлован взамен башмака, и тогда при монолитном соединении стойка и бетон работают как анкерный фундамент. Аналогичные фундаменты применяют в виде буронабивных свай с усиленной пятой, которые с арматурой работают так же, как анкер.

В северных районах часто возводят малоэтажные здания на столбчатых фундаментах с устройством декоративных цокольных обшивок с засыпкой пространства между фундаментами и заборными стенками обшивки малотеплопроводными и невлагоемкими материалами, такими, как котельный шлак, гравий, сухой песок и различные промышленные отходы. Цокольные обшивки применяют главным образом для утепления помещения, но в то же время они служат теплоизолятором, влияющим на уменьшение или полное исключение глубины промерзания грунтов под фундаментами.

Конструктивные мероприятия дают возможность снизить появление деформаций от морозного пучения и гарантировать устойчивость зданий и сооружений на весь срок эксплуатации. Наи-

большая эффективность от применения конструктивных мероприятий достигается уменьшением сечения столбчатого фундамента в зоне сезонного промерзания, а следовательно, снижением касательных сил морозного пучения, надежной анкеровкой фундаментов по расчету на действие сил морозного пучения, повышением жесткости конструкций надфундаментного строения, расположением зданий и специальных сооружений на подсыпках из непучинистых грунтов, а также на железобетонных плитах, лежнях и балках, укладываемых без заглубления их в грунт.

При проектировании фундаментов на подсыпках необходимо использовать местные непучинистые грунты. Целесообразно проектировать сплошные подсыпки под всем зданием толщиной на 2/3 от расчетной глубины промерзания, когда имеются местные дешевые непучинистые грунты в виде песков крупных и средней крупности, гравия, галечника, балласта, горного щебня и др.

Подсыпки из непучинистых грунтов под всем зданием следует применять при строительстве зданий и сооружений, когда полы укладываются по грунту и на плитах фундаментов без заглубления монтируются различные установки и техническое оборудование в нерегулярно отапливаемых или неотапливаемых помещениях.

Засыпка пазух непучинистым грунтом служит эффективным мероприятием против деформации здания от морозного пучения грунтов, но только при том условии, когда в засыпку не попадает вода или же скапливающаяся вода из нее отводится. Если отвода дождевых или производственных вод нет, наблюдаются значительные повреждения конструктивных элементов здания под действием деформаций и сил морозного пучения грунтов.

Требуемый объем непучинистого грунта для засыпки траншеи возле фундамента обусловлен шириной пазухи между стенкой фундамента и вертикальной (или с откосом) стенкой грунта. Ширина пазухи зависит от вида грунта и его сложения, способа производства земляных работ и глубины заложения подошвы фундамента.

Для обеспечения отвода воды из пазух с засыпками непучинистого грунта и при глубине промерзания грунта до 1 м ширина пазухи достаточна 0,2 м. С увеличением глубины промерзания и глубины заложения фундамента от 1 до 2 м минимально допустимая ширина пазухи должна быть не менее 0,3 м, при глубине промерзания от 1,5 до 2,5 м желательно засыпать пазухи на ширину не менее 0,5 м. Ширина пазухи, как правило, возрастает с увеличением глубины промерзания грунта.

Дать вполне обоснованные рекомендации ширины пазухи для засыпки непучинистым грунтом без отвода воды из засыпки пока затруднительно. Для этого надлежит выполнить в экспериментальные исследования в полевых условиях на моделях фундаментов в натуральную величину.

В целях снижения глубины промерзания грунтов и деформаций от морозного пучения применяют теплоизоляционные покрытия в виде подушек из шлака, керамзита и других материалов. Ширина и толщина теплоизоляционной подушки должны определяться по теплотехническим расчетам в зависимости от расчетной глубины промерзания грунтов. При экспериментальной проверке теплоизоляционного эффекта керамзитовых подушек установлено, что он достигается при условии укладки керамзита с поверхности грунта без заглубления в грунт. Керамзит в увлажненном и водонасыщенном состоянии имеет теплофизические характеристики, близкие к характеристикам промерзающих грунтов, поэтому эффект не достигается.

Термохимические мероприятия иногда в сочетании с другими мероприятиями направлены на снижение сил морозного выпучивания фундаментов; к ним относятся обогрев грунтов возле фундаментов под оборудование в неотапливаемых промышленных зданиях, засоление грунта засыпки пазух и др. В целях снижения сил смерзания грунта со стенками фундамента применяется обмазка боковых поверхностей фундаментов непрочно смерзающимися материалами: битумной мастикой, эпоксидными смолами и другими нефтяными мастиками.

13. Временно действующие мероприятия, применяемые на период строительства

Временно действующие мероприятия требуется применять по СНиП II-15—74 в тех случаях, когда на сильнопучинистых грунтах установлены фундаменты, зимующие без нагрузок, недостроены здания или полностью закончено строительство здания, но оно перезимовывает без отопления.

Назначение временных мероприятий заключается в предохранении грунтов в основании фундаментов от промерзания и морозного пучения. Если же фундаменты возведены и стойка на зимний сезон законсервирована, то для снижения глубины промерзания грунтов практикуют применение временных теплоизоляционных покрытий из опилок, снега, шлака, шлаковаты и других подручных материалов, а иногда их просто засыпают грунтом. Засоление грунта засыпки пазух хлористым натрием резко снижает деформации морозного пучения, этот эффект целесообразно использовать в борьбе с силами морозного выпучивания фундаментов в период строительства.

Для снижения сил смерзания грунта со стенками фундамента рекомендуется применять послойное (через 10 см) засоление грунта засыпки пазух вокруг фундаментов. Для этого используется техническая поваренная соль из расчета 25 кг на 1 м³ суглинистого грунта. Метод засоления грунта засыпки пазух довольно прост: соль рассыпается на дно котлована на слой грунта в 10 см; 2,5—3 кг соли — на 1 м² на ширину пазухи 40—50 см от стенки

фундамента, грунт перемешивается с солью и затем тщательно утрамбовывается. Так же укладывается следующий слой грунта, по нему рассыпается соль, перемешивается и снова утрамбовывается. По высоте грунт засыпки пазухи засоляется от подошвы фундамента не доходя 0,5 м до планировочной отметки.

Способ снижения сил смерзания грунта с фундаментом с применением засоления имеет существенные отрицательные стороны: соль разрушающе влияет на некоторые строительные материалы, усиливает коррозию металла подземных коммуникаций, в процессе испарения влаги соль поднимается и засоляет почву так сильно, что на ней не могут произрастать насаждения. С течением времени соль из грунта частично вымывается и вступает в реакцию с составом грунта, в результате чего эффект снижения сил смерзания грунта теряется. Поэтому данное мероприятие рекомендуется как временное на период строительства и в первые годы эксплуатации.

Для снижения касательных сил морозного пучения при смерзании грунтов с фундаментами применяют обмазку их стенок грунтом, обработанным нефтепродуктами. Нефтяные растворы имеют углеводную основу, состоящую из продуктов переработки нефти или тяжелых и смолистых сортов нефти. Рецептов приготовления нефтяных растворов много. Наиболее распространенный состав нефтерастворов основывается на дизельном топливе в смеси с окисленным битумом. Такая битумная мастика приготавливается из битума марки III (3 части), солярового масла (1 часть) и золы-уноса ТЭЦ (4 части по объему). Приготовленная по такому рецепту мастика наносится на очищенную поверхность фундамента от подошвы до планировочной отметки в два слоя: первый тонкий слой наносится разогретой мастью с тщательной притиркой, второй слой толщиной около 1 см — по первому слою.

Данное противопучинное мероприятие выполняется аналогично нанесению гидроизоляционных покрытий на фундаменты и отличается лишь составом.

Под действием физико-механических и химических процессов в слое сезонного промерзания битумная мастика подвергается выветриванию и не удовлетворяет условию долговечности, поэтому ее с полным основанием можно применять для снижения сил морозного выпучивания фундаментов в период строительства и для временных зданий и сооружений строительных баз теплоэлектростанций.

При строительстве легких вспомогательных зданий с мелко-заглубленными столчатыми фундаментами на сильнопучинистых грунтах рекомендуется обертывание фундаментов брезолем, толем или целлофаном в два слоя. Кроме того, обертывание фундаментов можно применять и при строительстве капитальных зданий с фундаментами при расчете на действие касательных сил выпучивания в период строительства, когда фундаменты перезимовывают с неполной проектной нагрузкой. В тех случаях, когда

здание перезимовывает не полностью построенное или строительство дома завершено, но перезимовывает без отопления, организуют временное отопление подвала, технического подполья или первого этажа.

Для нагрева воздуха в помещении применяют топку временных печей, изготовленных из металлических бочек, а также калориферные установки. При отапливании следует наблюдать за температурой воздуха в помещении, она не должна быть ниже 0°C в самые холодные месяцы.

В практике строительства в целях теплоизоляции иногда прибегают к применению соломенных матов, керамзита, шлаковаты и других материалов. Часто в техническом подполье или в первом этаже складируют деревянную торцевую шашку для полов в цехах, керамзит и другие материалы, нужные для данного строительства, и они служат теплоизоляцией.

По СНиП II-15—74 для предотвращения в процессе строительства в зимний период морозного пучения грунтов под подошвой фундаментов следует защищать основание от увлажнения поверхностными водами, своевременно производить засыпку грунтом пазух котлованов, утеплять, если необходимо, фундаменты теплоизоляционными материалами или грунтом, а также вводить в грунт специальные доставки, понижающие температуру замерзания грунта.

Способ защиты грунта оснований от промерзания и морозного пучения принимается в зависимости от вида грунта, его консистенции, степени морозной пучинистости, конструктивных особенностей подземной части здания и местных условий строительства. При несоблюдении данного требования часто появляются деформации в стенах здания, иногда разрушаются отдельные конструктивные элементы, а в ряде случаев это приводит в аварийное состояние все здание. На ликвидацию повреждений в зданиях, водопроводной сети, канализации и других подземных коммуникаций от действия сил морозного пучения грунтов затрачиваются большие средства, которые зачастую ежегодно повторяются. По этим причинам не следует пренебрегать противопучинными мероприятиями.

14. Мероприятия по снижению выпучивания незаглубленных и мелкозаглубленных фундаментов

Глубина заложения фундаментов в северных районах РСФСР при глубоком сезонном промерзании грунтов по СНиП II-15—74 для одноэтажных зданий может оказаться равной или больше высоты стен зданий, что значительно повышает стоимость их строительства, так как в районах с глубоким промерзанием грунтов стоимость фундаментов для одноэтажных зданий составляет от 30 до 50 % от общей стоимости всего строительства. Однако заложение фундаментов на расчетную глубину промерзания грунтов

не гарантирует лёгкие здания от деформаций под действием касательных сил морозного выпучивания фундаментов, поскольку касательные силы морозного пучения в несколько раз превышают величину нагрузки на фундамент.

При заложении малонагруженных фундаментов даже не менее нормативной глубины промерзания грунтов неизбежно возникают большие неравномерные деформации от морозного выпучивания за счет накапливания остаточных деформаций, так как ежегодно при оттаивании грунта фундамент не дает осадку, равную величине выпучивания при промерзании.

Оказывается, заложение малонагруженных фундаментов ниже глубины сезонного промерзания грунтов недостаточно эффективно, поэтому приходится искать другие мероприятия, которые могли бы значительно уменьшить величину неравномерных деформаций, передаваемых фундаментом надфундаментному строению.

В целях снижения стоимости работ по нулевому циклу в малоэтажных зданиях обеспечения их сохранности и многолетней эксплуатационной пригодности рекомендуются ленточные монолитные или сборные железобетонные фундаменты, укладываемые на подготовленное основание без заглубления в грунт, или же отдельно стоящие сборные бетонные и железобетонные фундаменты мелкого заглубления на локально уплотненном основании.

Полученные НИИ оснований многолетние данные экспериментальных исследований на строительных объектах с незаглубленными и мелкозаглубленными фундаментами на пучинистых грунтах позволяют рекомендовать такие фундаменты под малоэтажные сельскохозяйственные здания и сооружения. Они уже широко применяются при строительстве открытых распределительных устройств электроподстанций, временных зданий и сооружений строительных баз тепловых электростанций и малоэтажных зданий различного сельскохозяйственного назначения.

Проблема строительства малоэтажных зданий и сооружений на пучинистых грунтах в Нечерноземной зоне приобретает особую актуальность, поскольку в сельскохозяйственном жилищном строительстве своеобразно сочетается дачный дом с крестьянским двором, стоящим преимущественно на оподзоленных почвах, характерной особенностью которых является генетическое сложение отдельных почвенных горизонтов, резко отличающихся по своим физическим и прочностным свойствам. Так, непосредственно под дерновым покровом залегает оподзоленный мелкопылеватый слой толщиной от 5 до 20 см слабой плитчатой структуры, водонасыщаемый и при промерзании вспучивающийся вследствие образования ледяных прослоек и линз. С целью упрочнения этого слоя и снижения степени его морозного пучения следует предусматривать мелиоративные мероприятия или же заменять его непучинистым грунтом. Ниже подзолистого слоя залегает грунт плотного природного сложения, комковатой и столбчатой структуры, который рекомендуется использовать в качестве естествен-

ного основания без нарушения природного сложения для кладки на него незаглубленных и мелкозаглубленных фундаментов.

Незаглубленный монолитный ленточный фундамент представляет собой армированный железобетонный ленточный фундамент шириной 50 и толщиной 25 см под все наружные стены, устраиваемый без заглубления. Он применяется под сборные щитовые или рубленные из бруса и бревен жилые дома на сильнопучинистых грунтах.

Конструкция сборного железобетонного ленточного фундамента отличается от монолитного только тем, что на подготовленное основание укладываются железобетонные блоки сечением 25×40 см и длиной от 2 до 3 м под здания заводского изготовления на средне- и slabopuchinistых грунтах.

Рекомендуемый столбчатый мелкозаглубленный фундамент состоит из железобетонной подушки или башмака с размером подошвы 40×40 или 60×60 см и бетонного малоармированного столбчатого фундамента или колонны (под каркасные здания), устанавливаемых на локально уплотненное основание (в выштампованные инвентарным уплотнителем гнездо). Столбчатые фундаменты рекомендуется применять под одно-двухэтажные каменные здания на средне- и slabopuchinistых грунтах с нагрузкой на подошве подушки или башмака не менее 0,4 МПа.

Под фундаментами локально уплотненное основание приобретает улучшенные физико-механические свойства и большую несущую способность, что позволяет принимать повышенные напряжения на грунт. Применение мелкозаглубленных фундаментов ограничивается глинистыми грунтами с консистенцией $I_L \leq 0,5$ при уровне стояния грунтовых вод ниже нормативной глубины промерзания грунта на 1 м.

Рекомендуемые конструкции мелкозаглубленных фундаментов экспериментально проверялись в природных условиях при различном давлении на грунт в течение трех зимних сезонов с целью определения зависимости деформации выпучивания от давления на локально уплотненный грунт. Так, при промерзании локально уплотненного грунта ниже подошвы фундамента на 60—70 см величина морозного выпучивания фундамента составляла: при давлении на грунт 0,1 МПа — 5÷6 мм, при 0,2 МПа — 4 мм, при 0,3 МПа — 3 мм, при 0,4 МПа — 2 мм. При давлении 0,65 МПа вертикальных перемещений фундаментов при промерзании грунта не наблюдалось.

Глава VIII. СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ СИЛ И ДЕФОРМАЦИЙ ВЫПУЧИВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ПОСРЕДСТВОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ГРУНТОВ

В строительной практике нередко применяются различные способы уменьшения сил и деформаций морозного выпучивания

фундаментов, действующие на температурный режим грунтов оснований. Целевое назначение этих мероприятий ограничивается лишь действием теплоизоляционных материалов (прослоек и покрытий). При этом не анализируется сущность теплообмена с точки зрения направления движения теплового потока, его скорости и количества подаваемого тепла, в то время как от физической сущности теплообмена и его условий протекания в грунте зависит работа морозного выпучивания фундаментов зданий и сооружений.

Впервые теплоизоляционные покрытия применялись при строительстве зданий на вечномерзлых грунтах по принципу сохранения грунтов в основании фундаментов в мерзлом состоянии. Затем их стали применять при строительстве на пучинистых грунтах для борьбы с морозным выпучиванием фундаментов.

Пределы применимости теплоизоляционных мероприятий с учетом использования теплофизических свойств грунтов и природных факторов, влияющих на процесс морозного пучения грунтов и выпучивание фундаментов, значительно шире.

В конечном итоге внешней силой морозного пучения грунтов является тепло, получаемое грунтом (если не считать внутреннего тепла земли) от солнечной энергии. За летний период тепло в грунте накапливается, в зимние месяцы грунт его теряет и от скорости потока тепла или его потери зависит внешний эффект тепловых изменений. Если скальный грунт, например, быстро нагреть или нагретый до высоких температур быстро охладить, то камень разрушится. Следовательно, за счет изменения количества тепловой энергии произведена работа. Чем постепеннее охлаждение грунта, тем меньше будут силы выпучивания и меньше деформируются фундаменты.

С изменением количества тепла, содержащегося в грунте, меняются и количественные показатели, вернее меняется качество грунта. Процесс морозного пучения грунтов, есть не что иное как отображение качественных изменений в свойствах грунтов, происходящих в результате движения тепла с изменением его количества.

Поскольку изменение качественной стороны грунтов в процессе морозного пучения находится в зависимости с количественными изменениями, поскольку и внешний эффект морозного пучения находится в неизбежной связи с зависимостью от внешней силы пучения грунтов, т. е. от теплоэнергии. Следовательно, от степени количественного изменения теплоты грунта зависит и степень морозного пучения грунтов. От быстрой потери тепла грунтом возникают скачкообразное нарастание толщины слоя твердомерзлого грунта и усиленное развитие сил выпучивания фундаментов и, наоборот, от постепенного охлаждения грунта скачкообразность уменьшается в нарастании толщины слоя твердомерзлого грунта, резко снижается величина сил морозного выпучивания и этим самым сокращаются размеры выпучивания фундаментов и разру-

шений конструктивных элементов надфундаментного строения зданий.

В большинстве случаев деформации фундаментов, особенно в северных районах на пучинистых грунтах, обусловлены силами морозного пучения, а сам процесс морозного пучения есть результат количественных тепловых колебаний в грунтах при различной интенсивности теплового потока. Следовательно, путем регулирования скорости тепловых потоков в грунтах можно оказывать эффективное влияние на процесс морозного пучения и на величину сил морозного выпучивания фундаментов.

Влияние тепловых количественных изменений грунта в природных условиях отражается на качественной характеристике замерзающих грунтов. Так, например, если зима с сильными морозами, то грунт промерзает на большую глубину и при этом наблюдается наибольшее количество зданий, деформируемых силами морозного пучения. Но если же зима с умеренными морозами, то глубина промерзания грунта будет значительно меньше по сравнению с глубиной промерзания зимой с сильными морозами, также меньше наблюдаются и деформации зданий от морозного выпучивания фундаментов. Рассмотрим грунт, покрытый с поверхности хотя бы небольшой толщины торфяно-перегнойным слоем. Этот слой, выполняя роль регулятора теплового потока, снижает толщину слоя сезонного промерзания грунта, уменьшает интенсивность процесса морозного пучения и, наоборот, грунт без торфяно-перегнойного слоя сравнительно увеличивает скорость тепловых потоков, промерзает на большую глубину и дает наибольший внешний эффект морозного пучения.

Согласно данным наблюдений, грунт с дерновым покровом промерзает на меньшую глубину, чем грунт без дернового покрова. Кроме того, при раннем выпадении снежного покрова промерзание грунта наблюдается намного меньше по сравнению с глубиной промерзания грунта с очищаемой от снега поверхностью.

Все эти различия в глубине промерзания грунтов, степени их морозной пучинистости и других внешних признаков есть не что иное, как качественное отображение количественных изменений теплоты грунта как внешней силы.

В качестве примера о влиянии скорости потери тепла грунтом на интенсивность пучения (внешний эффект) приведем опыты М. И. Сумгина о пучении кембрийской глины, замораживаемой в одном случае со всех сторон образца, а в другом — только сверху, при теплоизоляции снизу и с боков.

Одновременно заготовлялись два образца однородного грунта, укладываемые с одинаковой плотностью в металлические стаканы укладки. Затем один образец со дна цилиндра и с боков тщательно теплоизолировался, на поверхность образца укладывалась металлическая пластинка, с установленной на нее мессурой для замера высоты выпучивания грунта. Второй образец приготовлялся аналогично первому, но без теплоизоляции с днища и с боков

образца. Подготовленные образцы одновременно устанавливались в холодильную камеру с температурой — 8°C. Таким образом одновременно замораживались два образца при одинаковых условиях, но один отдавал тепло со всех сторон, а другой — только с верхней плоскости.

Замерзание образца со всех сторон протекало быстрее и характеризовалось бурным скачкообразным вспучиванием. Этот образец через 2 ч промерз, и пучение прекратилось, а образец с потерей тепла только с одной верхней плоскости промерз через 12 ч и пучение глины при замерзании только сверху шло плавно в течение всего времени. Величина поднятия поверхности грунта при замерзании только сверху была в 3,5 раза меньше, чем величина поднятия поверхности образца при быстром промерзании со всех сторон.

В приведенном примере довольно характерно показано влияние скорости потери грунтом тепла на пучение глины при ее замерзании. Количество содержащего тепла в обоих образцах при замораживании только сверху и со всех сторон было отдано примерно одинаковое. Из данных этих опытов следует, что оба образца при потере одинакового количества тепла, но при различной скорости отдачи тепла имеют качественно отличный мерзлый грунт, т. е. по плотности сложения они будут иметь различные показатели.

Следовательно, имеется возможность регулировать скорость теплопотерь грунтом в природных условиях в осенне-зимний период путем применения различных покрытий дневной поверхности грунта, чтобы затруднить или облегчить процессы его промерзания и пучения. Например, замощенная и очищенная от снега поверхность грунта быстрее отдает тепло, и как следствие этого глубина промерзания и эффект пучения будут наибольшими, нежели промерзание грунта с естественным дерновым покровом.

15. Дерновый покров как способ снижения сил и деформаций морозного выпучивания фундаментов

По условиям строительства и эксплуатации жилых, общественных и частично промышленных зданий возможно применение дернового покрова вокруг фундаментов зданий как регулятора тепловых потоков и для декоративного оформления заселяемой территории. Рассмотрим предлагаемый автором способ уменьшения возможных деформаций фундаментов при помощи задернения дневной поверхности грунтов.

Дерновый покров как живой и дешевый вид покрытия площадей используется там, где отсутствует интенсивное движение людей и транспорта — на аэродромах, газонах садов и парков в населенных пунктах, подсобных территориях складов, промышленных предприятий и культурных учреждений.

Широкое применение в практике строительства и эксплуатации дернового покрова объясняется его способностью предохранять грунт от размыва, ветровой эрозии, оползания на откосах выемок и насыпей. Дерновый покров способствует формированию более прочных структурных элементов почвы, что резко отражается на ее физических и водных свойствах. Кроме того, он широко используется для укрепления дневной поверхности грунтов от воздействий климатических факторов. Травяная дернообразующая растительность не требует больших затрат средств и труда на создание и дальнейшее ее поддержание.

Применение дернового покрова в качестве терморегулятора с целью снижения деформаций фундаментов от морозного выпучивания должно быть предусмотрено официальными нормативно-техническими документами, чтобы этот способ получил широкое применение в практике строительства и эксплуатации зданий и сооружений, возводимых на пучинистых грунтах.

При земляных работах по планировке территории почвенный слой на участках со срезкой или подсыпкой снимается, складируется и используется для укладки на спланированных территориях с целью озеленения площадок. Таким образом следует сохранять почвенный слой и на участках с пучинистыми грунтами, чтобы использовать его в качестве дернообразователя вблизи фундаментов малоэтажных зданий как противопучинное мероприятие.

Конфигурация задерненной дневной поверхности в плане может приниматься разнообразной в зависимости от замысла архитектурного оформления территории, количества подъездов у здания и подсобных площадок, назначения здания или сооружения и расположения их в плане, от ситуации площадки вокруг здания и ряда других факторов. Таким образом, нет каких-то общих стандартных схем задержания всей территории строительной площадки, но возле фундаментов необходимо ширину задержанной полосы вдоль стены здания иметь от 2 до 3 м в зависимости от нормативной глубины промерзания грунта, учитывая тепловое взаимодействие между фундаментом и грунтом.

При задержании большой площадки можно допустить ширину задерненной полосы до 15 м. Нельзя принимать ее ширину менее нормативной глубины промерзания по следующим соображениям: при ширине задерненной полосы меньше нормативной глубины промерзания грунта будет ослабляться теплоизоляционный эффект дернового слоя в силу незначительной его ширины по отношению к общему массиву грунта. При узкой полосе дернового покрова теплота из массива грунта с задерненной поверхностью будет теряться не только через дневную поверхность, но и через горизонтальные потоки тепла к более охлажденным смежным участкам.

Замощение площадок и дорожек к подъездам с жестким покрытием и с оголенной поверхностью в зимний период будет соз-

давать наиболее благоприятные условия для потери тепла грунтом, большей глубины промерзания и морозного пучения. Такие замощенные дорожки и площадки находятся в соприкосновении с фундаментами и среди грунтов с задерненной поверхностью, что отрицательно скажется на способе термического воздействия по снижению эффективности морозного пучения.

В целях уменьшения неравномерного промерзания и пучения грунтов вокруг здания, создающихся от неоднородного покрытия дневной поверхности (дерн и мощение), следует рекомендовать на участках, которые примыкают к фундаментам, на протяжении 5—6 м от них устройство дорожек с теплоизоляционным основанием из шлака или керамзита. Теплоизоляционное основание ни в коем случае нельзя укладывать в корыто ниже поверхности грунта. Наиболее эффективная конструкция отмостки в смысле теплоизоляционного эффекта может быть принята по следующей схеме: непосредственно на выровненную поверхность грунта насыпается песчаный слой толщиной 15—20 см, затем на песке укладывается котельный шлак или керамзит слоем 20 см и покрывается для связки бетоном слоем 5 см, по бетонной стяжке покрывается асфальтом, который предназначается для предохранения теплоизоляционной подушки от загрязнения и водонасыщения атмосферными осадками.

При таком теплоизоляционном послойном основании замощенных дорожек, расположенных вблизи фундаментов, при условии нахождения этого основания в сухом состоянии теплоизоляционный эффект усиливается и глубина промерзания, так же как интенсивность морозного пучения грунтов возле фундаментов, будет намного меньше. Следовательно, теплоизоляционные подушки в сухом состоянии в основании жестких покрытий вблизи фундаментов играют положительную роль для уменьшения деформаций и сил выпучивания фундаментов при помощи термического воздействия.

Опыт экспериментальной проверки на строительных объектах теплоизоляционного эффекта отмосток на керамзитовых основаниях показал, что при укладке керамзитовой подушки с заглублением в грунт (в корыто) керамзитовая подушка водонасыщается и теплоизоляционного эффекта не получается, а при укладке керамзита на поверхность грунта без заглубления — хороший результат. Для условий Московской области при отмостке на керамзитовой подушке толщиной 20 см промерзание грунта снижается в 2 раза. Поэтому следует помнить о предохранении керамзитового или шлакового основания от водонасыщения атмосферными осадками.

Дерновый покров вокруг зданий в одинаковой степени применим как для умеренной климатической зоны, так и для северных районов с глубоким промерзанием грунтов и заболоченными почвами с целью использования внутреннего тепла грунта для уменьшения деформаций зданий.

Имеется незначительное отличие в устройстве задернения поверхности грунта вокруг фундаментов, возводимых на заболоченных почвах. Оно заключается в том, что требуется подготовка почвы под посев дернообразующих трав, отличная от подготовки почвы на незаболоченных участках.

После завершения строительных работ по возведению здания, не ожидая окончания внутриотделочных работ, нужно подготовить почву для посева дернообразующих трав. Как известно, в большинстве случаев заболоченные почвогрунты в той или иной степени находятся в оглеенном состоянии, поэтому в подготовке почвы важным этапом будет почвенная аэрация.

В природных условиях в заболоченных почвах протекают физико-химические процессы без достаточного доступа атмосферного воздуха, следовательно, бактериальные процессы идут за счет восстановления окисного железа и других солей, которые находятся в заболоченных почвогрунтах восстановленными до закисной формы. Закись железа представляет собой легкорастворимую соль, дающую при доступе воздуха гидроокись железа. Соединения гидроокисей находятся в почвогрунте в виде коллоидных растворов, препятствующих передвижению воды при фильтрации. Кроме того, заболоченные грунты в большинстве случаев содержат большое количество пылеватых (от 0,05 до 0,005 мм) фракций, и при наличии в содержании грунта закисных форм железа эти грунты обладают очень плохой фильтрацией. Как известно, оглеенные грунты способны при увлажнении сильно набухать, удерживать большое количество воды и при переувлажнении переходить в текущее состояние.

Наличие закисных соединений придает почвогрунтам специфическую сизовато-серую окраску, пластичность (для супесчаных грунтов), твердость в сухом состоянии. Способы дренирования оглеенных грунтов малоэффективны, так как грунты удерживают в себе воду и препятствуют ее фильтрации.

Применяемое мероприятие по улучшению строительных свойств оглеенных почвогрунтов даст положительный результат только тогда, когда будет обеспечена возможность протекания в почвогрунте окислительных процессов и устойчивое равновесие продуктов окисления. Закисные соединения в грунтах легко переходят в окисные путем аэрации оглеенного поверхностного слоя почвы, что достигается снятием дерново-растительного слоя; затем грунт следует вспахать на глубину 15—20 см. Летом в сухое время полезно проводить периодическое рыхление грунта перепахиванием или боронованием для проникновения в грунт воздуха с целью скорейшего окисления закисных соединений полуторных окислов.

При первой вспашке оглеенные грунты обычно очень влажные, липкие и пластичные, сизовато-серого цвета с охристыми пятнами, почти бесструктурные. После второго перепахивания

грунт становится сухим, приобретает желто-серую окраску и комковатую структуру.

В течение даже одного лета посредством рыхления или нескольких перепахиваний можно улучшить физические свойства почвы через окисление закисных соединений. По мере улучшения физических свойств почвогрунтов с помощью аэрации оглеенного горизонта следует приступить к окончательной планировке площадки и посеву дернообразующих трав.

Прежде чем одерновывать дневную поверхность заболоченной почвы, необходимо произвести работы по подготовке и улучшению свойств почвогрунтов. В практике строительства приходится встречаться со случаями, когда без предварительной подготовки территории сразу же отрывают котлованы под фундаменты, а затем оставшийся грунт, вынутый из котлованов, после засыпки пазух фундаментов разравнивают по естественному растительному слою, и, конечно, на такой почве желаемого дернового покрова придется ожидать несколько лет.

Уже в процессе проведения строительных работ с соблюдением осушительных мероприятий, предусмотренных проектом, природные условия для почвогрунтов изменяются, меняется и их внешний облик. Но изменение почвенно-грунтовых условий должно проходить планомерно.

На спланированных строительных площадках после постройки зданий, особенно вблизи фундаментов, там, где почва может оказаться срезанной, погребенной, поверх ее может быть насыпан строительный мусор, песок и грунт из котлованов, дернообразующие травы не будут нормально развиваться. В таких случаях для создания благоприятных почвенных условий можно сделать подсыпку почвы толщиной 10—15 см, взятой со стороны, где не требуется задернение.

В умеренной климатической зоне устройство задернения дневной поверхности почвы вокруг жилых и общественных зданий гораздо проще, так как там почвы с хорошо развитой структурой, более плодородные и не требуются особых мероприятий по подготовке почвы для посева дернообразующих трав.

По данным наблюдений за температурой почвы на территории Тимирязевской сельскохозяйственной академии расчетным путем установлено, что промерзание оголенной почвы достигает 150 см, но при наличии дернового покрова промерзание почвы в тех же условиях на 52 см меньше, чем на оголенной. Следовательно, способ задернения почвы вокруг зданий в умеренной климатической зоне можно рекомендовать для снижения глубины заложения фундаментов и уменьшения деформации морозного выпучивания.

В целях обеспечения ускоренного задернения почвы вокруг зданий и дальнейшего развития дернового покрова следует применять оправдавший себя в практике аэродромостроения способ сбора поверхностного слоя почвы в валы или кучи. Перед началом земляных работ по открытию котлованов под фундаменты, ког-

да пазухи у фундаментов будут засыпаны, следует поверхность около фундаментов спланировать и покрыть собранной почвой только после окончательной планировки. Толщина слоя почвы должна приближаться к толщине пахотного слоя в пределах 15—20 см.

На строительной площадке культура грунта имеет существенное значение при выполнении работ по заложению фундаментов всех видов зданий и сооружений, поэтому с почвой и грунтом следует обращаться так же, как и с другими строительными материалами.

При соблюдении элементарных требований по культуре грунта в период строительства при сохранении почвенного слоя возможность задернения площадки вокруг зданий будет в како-то степени обеспечена. Чтобы не допустить стихийного зарастания почвы сорняками, следует спланированный почвенный слой пробороновать и посеять семена дернообразующих трав.

Рецептура травосмесей для разных почвенных видов различна. При отсутствии готовых специально приготовленных семян травосмесей можно применять любые семена многолетних злаковых дернообразователей, например, пырея, лисохвоста, овсяницы, мятылика и др. После посева семян трав в почву необходимо их забороновать во избежание сдувания ветром, а поверхность укатать обычным способом.

Задерненные участки вокруг здания желательно огораживать деревянными или металлическими решетками, вдоль которых целесообразно рассаживать кустарники (акацию, жасмин и другие растения, способные одновременно служить ограждением задернованных участков от вытаптывания и потравы и в то же время быть декоративным украшением, придавая зданиям живописный вид. Кустарниковые насаждения, кроме того, служат защитой дернового покрова от засыхания в засушливые периоды лета, а зимой — средством снегозадержания.

Как известно, дерновый покров с травостоем, как и вообще растительность, выполняет функции регулирования водного режима почвогрунтов. При избыточном увлажнении почвогрунтов растительность испаряет избыток почвенной влаги в больших количествах и, наоборот, при дефиците влаги она предохраняет (удерживает) влажность почвогрунта от излишних потерь. Следовательно, грунты с наличием дернового покрова на поверхности почвы при всех равных условиях по сравнению с грунтами с оголенной поверхностью будут меньше времени находиться в состоянии избыточного увлажнения и меньше иссушаться в жаркое время года. Через регулирование водного режима почвогрунтов травяной растительный покров также до некоторой степени существенно оказывает влияние на устойчивость фундаментов зданий.

Дерновый покров в период эксплуатации зданий нуждается в простом и довольно дешевом содержании. В засушливые месяцы

его нужно несколько раз полить водой и произвести скашивание травостоя в первой половине лета. Во второй половине лета скашивать травостой не следует, так как чем больше и гуще травостой остается на осень, тем меньше будет излишних потерь тепла из грунта.

На задерненных участках нельзя складировать материалы и строймусор, даже временно. Снеговой покров на задерненной площадке счищать не следует.

При наличии дернового покрова нельзя применять обработку грунтов засыпки пазух маслами, растворенным битумом, нефтью и другими смазывающими материалами с целью уменьшения касательных сил пучения.

В строительной практике иногда применяют различные смазочные материалы, но, как правило, только на период строительства и в первые годы эксплуатации зданий, так как эти мероприятия по обработке материалов засыпки пазух возле фундаментов маслами, дегтями и нефтяными отходами не являются долговечными и, кроме того, различные нефтепродукты, всплывая на дневную поверхность почвы и расплываясь по ней, создают неблагоприятные условия для произрастания дернообразующей растительности.

В сельскохозяйственном строительстве Нечерноземной зоны в качестве постоянно действующего теплорегулирующего способа следует шире применять наиболее долговечный и дешевый по устройству и поддержанию дерновый покров, который по существу может быть отнесен к конструктивному элементу здания.

Искусственно создаваемый и поддерживаемый в период эксплуатации дерновый покров вокруг зданий способствует стабильности грунтов оснований, снижает глубину промерзания грунтов и силы морозного выпучивания.

Дерновый покров как вечно живой вид теплоизолятора может применяться во всех климатических условиях в качестве регулятора скорости тепловых потоков и содержания природной влажности в почвогрунтах. При поддержании дернового покрова в период эксплуатации здания имеется возможность уменьшать или увеличивать тепловой баланс почвогрунтов.

Кроме существенного влияния на устойчивость грунтов оснований, снижения деформации фундаментов и уменьшения стоимости фундаментов, дерновый покров и кустарниковые насаждения превращают каждый дом, каждую улицу в декоративно оформленный уютный уголок, в результате чего города и поселки будут живописными и благоустроеными.

16. Физико-химические способы борьбы против сил и деформаций морозного выпучивания фундаментов

В работе [82] рекомендуется применение химических реагентов для превращения пучинистых грунтов с непучинистые — так

называемая противопучинная стабилизация глинистых грунтов, которые после химической обработки при промерзании не всучиваются. Данный способ основан на изменении состава поглощающего комплекса почвогрунтов путем введения в него одновалентных катионов. Если пучинистый грунт тщательно обработать в лабораторных условиях раствором хлористого калия и подвергнуть замораживанию, то увеличения объема образца в процессе промораживания не наблюдается и, следовательно, грунт стабилизировался. Но при практическом внедрении данного способа по стабилизации грунтов в природных условиях возникли большие трудности по инъектированию раствора хлористого калия в глинистые грунты плотного сложения. Поэтому способ химической стабилизации пучинистых грунтов в практике строительства широкого применения не нашел.

Более успешно применяются способы борьбы с силами и деформациями морозного выпучивания фундаментов посредством применения физико-химической обработки поверхности фундаментов различными реагентами и материалами. Как наиболее стойкие из покрытий поверхности фундаментов рекомендуется применять кремнийорганические эмали, предназначаемые для декоративной отделки изделий из бетона, цемента, стекла, дерева, асбосифера и некоторых видов пластмасс.

Сухая поверхность фундаментов, закладываемых в слое сезонного промерзания грунта, с помощью малярной кисти или валика покрывается в два слоя эмалью, которая имеет прочное сцепление с фундаментом и сохраняется длительное время на его поверхности, устойчива при резких температурных перепадах и воздействии атмосферных факторов.

Кремнийорганические эмали являются токсичными и опасными материалами, поэтому при нанесении эмали на поверхность фундаментов необходимо строго соблюдать требования пожарной безопасности и промышленной санитарии; работающие с эмалями должны иметь индивидуальные средства защиты.

Кроме эмалей, рекомендуется применять пластические смазки, состоящие из жидкого масла, твердого загустителя, присадок и добавок. Такая смазка наносится на поверхность фундамента с целью снижения промерзания грунта к фундаменту и снижения силы трения мерзлого грунта по поверхности фундамента. Пластические смазки не должны затвердевать при отрицательных температурах до -50°C , вымываться и разрушаться под действием зоды, подвергаться разрушению под действием микроорганизмов, впитываться в грунт и испаряться. Они должны сохраняться на поверхности фундамента весь период эксплуатации здания.

Предлагаемые консистентные смазки (БАМ-3 и БАМ-4) не могут полностью удовлетворить предъявляемым к ним требованиям. Чтобы смазка находилась на поверхности фундамента, не впитывалась в грунт и не удалялась грунтом при обратной засыпке пазух, рекомендуют смазанную поверхность фундамента покрывать

полиэтиленовой пленкой или поливинилхлоридным пластиком. Смазки на очищенную и огрунтованную поверхность фундамента наносятся лопаточкой, кистью, тампоном, краскопультом и другими способами. Состав консистентных смазок горюч, но не взрывоопасен.

Экспериментальная проверка по испытаниям смазанных БАМ-4 стальных труб в течение двух зим на морозное выпучивание в полевых условиях показала снижение касательных сил морозного выпучивания в 20—30 раз по сравнению с контрольной трубой, установленной без смазки. Консистентные смазки БАМ-3 и БАМ-4 не токсичны. Смазку БАМ-3 рекомендуется использовать для обмазки фундаментов со сроком службы до 15 лет, а смазку БАМ-4 — для обмазки фундаментов со сроком службы более 50 лет.

Подробное описание технологии физико-химической обработки фундаментов эмалями и консистентными смазками изложено в «Рекомендациях по снижению касательных сил морозного выпучивания фундаментов с применением пластических смазок и кремнийорганических эмалей», 1980, НИИОСП.

17. Требования к производству строительных работ по нулевому циклу на пучинистых грунтах

Культура грунта при производстве земляных работ нулевого цикла должна соблюдаться, а на пучинистых грунтах, в особенности, так как от этого зависит обеспечение устойчивости и эксплуатационной пригодности малоэтажных зданий.

При производстве работ нулевого цикла на пучинистых грунтах необходимо: избегать избыточного обводнения пучинистых грунтов в основании фундаментов после открытия котлованов, обязательно предохранять грунты основания от промерзания до укладки фундаментов в период строительства; после укладки фундаментов незамедлительно окончить земляные работы по засыпке грунтом пазух котлованов и по планировке площадки вокруг строящегося здания. Несоблюдение этих требований влечет за собой ухудшение грунтов в основании фундаментов, что повышает их степень морозной пучинистости.

В первую очередь при освоении строительной площадки следует осушить грунты от поверхностных вод, особенно на пониженных участках, когда применяется подсыпка грунта при помощи рефулирования со дна водоемов мелководного или пылеватого песка. Выливаемый гидромониторами песок вместе с водой из труб разливается по площадке (с которой вода скатывается, а грунт оседает в водонасыщенном состоянии). Намытый слой песка необходимо дренировать, чтобы он мог снизить содержание влаги и самоуплотниться. Как правило, намытые мелкие и пылеватые пески длительное время находятся в водонасыщенном состоянии

и при замерзании в первую же зиму могут оказаться сильнопучинистыми и в то же время слабоуплотненными. Следовательно, при использовании рефуцированных мелкопылеватых песков в качестве естественного основания под фундаменты зданий нельзя допускать промерзания грунтов ниже подошвы фундаментов и использовать промороженный рефуцированный песок для укладки на него фундаментов.

Возле существующих или находящихся в стадии строительства малоэтажных зданий не следует допускать намыва пучинистых грунтов ближе 3 м от фундаментов под наружные стены. На площадках, сложенных пучинистыми грунтами, разработку грунтов по способу гидромеханизации производить не следует, так как при этом грунты избыточно водонасыщаются, что не допускается по СНиП II-15—74. Гидромеханизацию можно применять в южных районах страны, где нормативная глубина промерзания грунта не превышает 1 м и на всей территории страны, где грунты не являются пучинистыми. При способе разработки грунта с применением гидромеханизации нельзя забывать о гидромелиоративных мероприятиях по осушению грунтов в основании фундаментов.

При разработке грунтов по открытию котлованов на пучинистых грунтах землеройными механизмами следует стремиться к соблюдению требований нормативно-технических документов на производство и приемку земляных работ.

Траншеи для укладки ленточных сборных или монолитных фундаментов должны отрываться по возможности узкими с таким расчетом, чтобы пазуху с наружной стороны можно было перекрыть отмосткой и гидроизоляционным экраном.

По окончании работ по монтажу сборных фундаментов или укладке бетона в монолитный фундамент надлежит сразу же произвести на пучинистых грунтах обратную засыпку пазух с тщательным уплотнением грунта и обеспечением стока поверхностных вод вокруг здания, не дожидаясь окончательной планировки и благоустройства всей застраиваемой территории с прокладкой дорог и отмосток у зданий согласно проекту.

Не следует оставлять открытые котлованы и траншеи на долгое время до укладки в них фундаментов, поскольку длительный период времени между открытием котлованов и укладкой фундаментов в большинстве случаев приводит к резкому ухудшению глинистых грунтов в основании фундаментов вследствие периодического или постоянного затопления дна котлована водой.

Как правило, на пучинистых грунтах следует приступать к вскрытию котлованов только тогда, когда на эту стройплощадку будут завезены фундаментные блоки и все необходимые материалы и оборудование.

Работы по укладке фундаментов, засыпке пазух, прокладке подземных коммуникаций, общей планировке и благоустройству застраиваемой территории нужно выполнять до начала промерз-

зания грунтов, когда эти работы можно сделать сравнительно быстро и качественно. Следовало бы ввести правило о соблюдении сезонности производства работ нулевого цикла повсеместно, а не только на пучинистых грунтах.

При выполнении земляных работ нулевого цикла в зимнее время, когда грунт до 1 м и более находится в твердомерзлом состоянии, приходится прибегать к механическому дроблению мерзлого грунта или искусственному его оттаиванию различными способами, с тем чтобы ускорить выполнение земляных работ без ухудшения физических свойств грунтов в основании фундаментов. Применения водяного пара путем пуска его в пробуренные скважины на пучинистых грунтах допускать не следует, так как при этом резко повышается влажность грунта за счет скопления конденсата.

После окончания бетонирования монолитных фундаментов и укладки цокольного перекрытия при сборно-блочных фундаментах надлежит сразу же произвести обратную засыпку пазух котлованов с максимально возможным уплотнением. По имеющемуся опыту выполнения работ по засыпке пазух бульдозером можно с уверенностью утверждать, что она не обеспечивает максимального и равномерного уплотнения грунта засыпки. При этом грунты засыпки поглощают большое количество поверхностных вод, которые неравномерно водонасыщают их, а при замерзании образуются неравномерные деформации, вызывающие неравномерное выпучивание фундаментов и серьезные повреждения конструктивных элементов надфундаментного строения под действием касательных сил морозного выпучивания.

Засыпка пазух в зимнее время мерзлым грунтом или смесью талого грунта с глыбами мерзлого, как правило, не должна производиться, и тем более нельзя применять зимой укладку отмостки вокруг здания. При оттаивании грунтов засыпки происходит неравномерная просадка и приходится производить работы по ремонту просевшей местами отмостки возле фундаментов. Иногда по нескольку раз требуется исправлять просевшие отмостки, так как самоуплотнение оттавающего грунта в засыпке происходит длительное время. Целесообразне обратную засыпку пазух котлованов выполнять только талыми грунтами с послойным и тщательным уплотнением ручными трамбовками, так как применение механизмов для уплотнения грунта в пазухах весьма затруднительно из-за наличия цокольных стенок, создающих стесненные условия для работы механизмов.

При перезимовывании уложенных фундаментов и плит, ненагруженными или при нагрузке меньше проектной следует позаботиться о предохранении пучинистых грунтов от промерзания, что предусмотрено требованиями главы СНиП II-15-74 о применении мероприятий по предотвращению промерзания пучинистого грунта ниже подошвы фундамента в период строительства. Для предохранения грунтов от промерзания в основании фунда-

ментов применяют различные способы покрытия грунта и ненагруженного фундамента. Часто прибегают к засыпке фундаментов грунтом или различными теплоизоляционными материалами. Можно использовать в качестве теплоизолятора отложение снега, если это не помешает производству работ по укладке или монтажу стен здания. Уложенные железобетонные плиты толщиной более 0,3 м на сильноупучинистых грунтах необходимо укрыть при нормативной глубине промерзания грунта более 1,5 м минеральными плитами в один слой, шлаковатными матами или керамзитом плотностью 500 кг/м³ и коэффициентом теплопроводности не более 0,2 слоем 20–25 см.

В тех случаях, когда здание полностью закончено строительством, а грунты в основании фундаментов проморожены, необходимо принять меры по обеспечению равномерного оттаивания грунта под фундаментами независимо от степени пучинистости грунтов. Весной, как правило, в первую очередь оттаивает грунт под фундаментами у наружных стен, а внутри здания под фундаментами поперечных стен он оттаивает недели на две позднее. Таким образом, при неодновременном оттаивании грунтов под фундаментами создаются условия для деформаций стен зданий, проявляющихся в виде сквозных трещин под и над проемами внутренних стен или трещин на стыке между продольной и поперечной стеной. При обнаружении трещин не следует спешить их расшивать до полного оттаивания грунта под фундаментами внутренних стен и полного затухания осадки фундаментов. Часто эти сквозные трещины сами закрываются, если они не были заделаны цементным раствором.

В крупнопанельных жилых зданиях имели место разрушения опорных стоек по средней продольной оси внутри здания из-за неравномерного оттаивания грунтов под фундаментами. По этажам над перемычками панелей с дверными проемами раздавливаются вертикальные стойки с отрывом их от плиты.

Под действием нормальных и касательных сил морозного пучения и неодновременном оттаивании грунта под фундаментами иногда здания приходят в крайне аварийное состояние, требующее прекращения всех отделочных работ и усиления несущих элементов.

В целях создания равномерного оттаивания грунтов под фундаментами возведенного здания рекомендуется укладывать возле них теплоизоляционные материалы (особенно это важно делать с южной стороны). Кроме того, следует применять обогрев грунта внутри здания, для чего можно использовать электроэнергию или нагретый в подполье калориферами и временными отопительными печами воздух. Стены зимней кладки для равномерного их оттаивания с южной стороны и для предохранения от обрушения при быстром и неравномерном оттаивании рекомендуется завешивать рогожами, щитами, толем, фанерой или соломенными матами. С этой целью снаружи здания возле фундаментов с южной

его стороны, можно складировать временно бетонные блоки, кирпич, щебень, песок, керамзит и другие материалы.

При промерзании и морозном пучении грунтов под фундаментами внутренних стен или опорных стоек образуется крен продольных наружных стен вследствие различной глубины заложения. Обычно глубина заложения фундаментов под наружные стены принимается для пучинистых грунтов не менее расчетной глубины промерзания, а под фундаментами внутренних стен она в 3 раза меньше, чем под наружными.

Под действием нормальных сил морозного пучения на по-дошву фундаментов внутренних несущих стен в них также появляются расширяющиеся сверху сквозные трещины, при этом верх наружных стен заметно отклоняется от вертикали. Величина этого отклонения зависит от высоты поднятия внутренней каменной стены и ширины раскрытия одной или двух трещин сверху внутренних стен. При обнаружении в стенах трещин необходимо поставить маяки для наблюдения за раскрытием или закрытием трещин, срочно установить причину появления трещин и только тогда принимать меры по прекращению дальнейшего расширения трещин и их ликвидации. Если же окажется, что грунт в основании фундаментов промерз на значительную глубину, следует воздержаться от возведения стен или монтажа сборных домов до полного оттаивания грунтов в основании фундаментов.

За вертикальными перемещениями фундаментов при оттаивании грунтов и осадкой фундаментов следует установить инструментальные наблюдения.

При небрежном производстве строительных работ нулевого цикла и несоблюдении требований СНиП II-15—74 о предохранении грунтов от избыточного увлажнения непучинистые и слабопучинистые грунты превращаются в сильноупучинистые. На таких площадках открытые котлованы не ограждены от стока воды атмосферных осадков, временные сети водоснабжения неисправны и во многих местах вода течет круглосуточно в стыках труб водопроводной сети, насыщая грунты в основании фундаментов. По этой причине часто приходится в период строительства отказаться от использования грунтов в качестве естественных оснований и переходить на свайные фундаменты. Кроме того, иногда фундаменты, установленные на водонасыщенные грунты в основании, приходится разбирать, устраивать искусственное основание и вновь производить работы по нулевому циклу. Такие примеры можно наблюдать даже на крупных стройках, особенно в северных районах.

Отрицательно сказывается на грунты в основании фундаментов и небрежное отношение к производству земляных работ, когда оставляют подводку подземных коммуникаций на конец строительства. Благоустроенную и спланированную территорию через некоторое время изроют траншеями, которые подводят дождевые воды к фундаментам и локально увлажняют грунты основа-

ний. Если открытые траншеи длительное время не засыпаются, это также нарушает планировку площадки и отвод поверхностной воды.

18. Противопучинные мероприятия в период эксплуатации зданий и сооружений

В целях обеспечения устойчивости и эксплуатационной пригодности зданий и сооружений, возведенных на пучинистых грунтах, в период эксплуатации нельзя допускать изменения проектных условий по основаниям и фундаментам. Кроме того, необходимо выполнять предусмотренные проектом мероприятия, которые направлены против повышения степени пучинистости грунтов и появления деформаций конструктивных элементов здания от морозного выпучивания фундаментов. Обычно все мероприятия, предусмотренные на период эксплуатации, сводятся к выполнению следующих требований:

исключать возможные условия для водонасыщения грунтов в основании фундаментов и в слое сезонного промерзания грунта ближе 5 м в сторону от фундаментов;

не изменять проектного положения по глубине промерзания грунтов возле фундаментов при изменении планировки площадки;

не допускать срезки грунта вблизи фундаментов;

не изменять конструкцию надфундаментного строения с понижением проектной нагрузки на фундаменты.

Особо опасным фактором, действующим на фундаменты, является непредвиденное водонасыщение грунтов возле них. Чтобы не допустить локального водонасыщения грунтов у фундаментов в период эксплуатации рекомендуется все ливневые, бытовые и производственные воды отводить в пониженные места в сторону от фундаментов или в приемники ливневой канализации и содержать все водоотводные сооружения в исправном состоянии.

Все работы по очистке поверхностных водостоков, т. е. нагорных канав, кюветов, лотков, водоприемников, отверстий искусственных сооружений, а также ливневой канализации, должны ежегодно выполняться обязательно до начала осенней дождливой погоды. Следует периодически проводить наблюдения за состоянием водоотводных сооружений. Имеющиеся повреждения откосов, нарушения планировки и отмосток надлежит немедленно устранить, не затягивая эти работы до начала промерзания грунтов. В случае, если эти повреждения создали условия для скопления воды на поверхности грунта вблизи фундаментов, необходимо в срочном порядке обеспечить отвод воды.

Не следует допускать размыва грунтов ливневыми водами, при первом же обнаружении на местности признаков ливневой эрозии необходимо ежочно ликвидировать размыи грунтов и укрепить участки с большим перепадом ливневых вод.

Имеющиеся вокруг зданий теплоизоляционные покрытия у фундаментов в виде отмосток на керамзитовых или шлаковых подушках, задернения поверхности грунта или других, предусмотренные проектом и осуществленные строительством, должны поддерживаться в состоянии, регламентированном инструкцией по эксплуатации зданий.

На случай проведения капитальных ремонтов не следует допускать перезимовку отапливаемых зданий без отопления, а также не допускать понижения планировочных отметок при срезке грунта у выстроенных и эксплуатируемых зданий на сильнопучинистых грунтах и замены отмосток вокруг зданий с теплоизоляционными покрытиями на отмостки без теплоизоляционных подушек.

Для того чтобы глубина промерзания грунта не оказалась больше расчетной, нужно срезку грунта производить, отступив от фундамента на расстояние не менее нормативной глубины промерзания грунта. Если позволяют условия, рекомендуется оставить возле фундаментов на ширину 3 м полосу нетронутого грунта (т. е. без срезки).

При перепланировке застроенной территории необходимо строго следить за сохранением поверхностного водоотвода атмосферных вод и не нарушать при этом имеющихся гидромелиоративных устройств, чтобы не допустить избыточного и неравномерного водонасыщения грунтов возле фундаментов зданий и сооружений.

В случае необходимости изменить нагрузку на фундаменты при рекомендации промышленных зданий (при замене оборудования или изменении технологического процесса производства) следует не нарушать соотношение между силами морозного выпучивания и давлением на фундамент от веса надфундаментного строения. С повышением нагрузок на фундаменты иногда приходится применять усиление фундаментов с проверкой их устойчивости на действие касательных сил морозного выпучивания. При снижении нагрузки на фундамент, например при замене тяжелого оборудования в неотапливаемых цехах или на открытой площадке более легким, необходимо проверить расчетом устойчивость фундаментов на действие касательных сил морозного выпучивания. Когда касательные силы будут превышать вес сооружения, надлежит предусмотреть конструктивные или другие мероприятия по снижению касательных сил морозного выпучивания.

Особо следует помнить о поддержании принятых по проекту участков с травяным покровом, который нуждается в ежегодном уходе, включающем своевременную подготовку почвенного слоя, подсев семян дернообразующих трав и подсадку кустарниковых насаждений. Работы по уходу и поддержанию дернового покрова и кустарниковых насаждений надлежит выполнять в раннее весеннее время без нарушения принятой проектом планировки территории застройки.

На участках, где окажутся поврежденными дерновый покров и планировка поверхности грунта вследствие проведения земляных работ по ликвидации аварий подземных коммуникаций или передвижения автомашин весной или осенью, когда почва водонасыщена, следует незамедлительно восстановить планировку, взрыхлить почву и вновь посеять семена дернообразующих трав.

Следует помнить о том, что дерновый покров почти наполовину снижает глубину промерзания грунтов, а при наличии декоративных кустарников насаждений и отложений снега промерзание грунта не превышает одной трети от промерзания грунта на открытой площадке.

Рассмотренные способы, направленные против деформации зданий и сооружений под действием сил морозного выпучивания фундаментов, оказывают эффективное влияние на устойчивость и эксплуатационную пригодность малоэтажных зданий посредством регулирования скорости движения теплового потока и состояния природной влажности грунта при его промерзании. Эти способы, как показал опыт их применения, полностью оправдывают свое назначение, когда они с надлежащим обоснованием запроектированы, согласно проекту выполнены при строительстве и сохраняются в период промышленной эксплуатации зданий и сооружений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенный обзор литературы по вопросу определения нормальных сил морозного пучения грунтов показал, что имеющиеся результаты экспериментальных исследований не могут служить убедительным обоснованием расчетных схем для практики строительства, так как проводившиеся научно-исследовательские работы по определению нормальных сил морозного пучения относятся, главным образом, к методическому поиску и не было предложено конкретных рекомендаций о том, как практически пользоваться опытными данными при расчете фундаментов на действие нормальных сил морозного выпучивания, при промерзании грунта ниже их подошвы.

Имеющиеся в литературе формулировки по определению морозного пучения грунтов отображают внешние признаки, проявляющиеся в процессе пучения а не саму физическую сущность явления. Автором предложена формулировка в следующей редакции: под морозным пучением грунтов подразумевается их свойство при определенном сочетании гидротермических условий в пределах сезонного промерзания увеличиваться в объеме под действием сил кристаллизации льда при фазовых превращениях содержащейся в грунте дополнительной воды к кристаллам льда. Внешнее проявление этого свойства грунтов заключается в неравномерном поднятии дневной поверхности за счет образования ледяных включений.

Физическая сущность природы сил морозного пучения грунтов ни теоретически, ни экспериментально еще не раскрыта. О величине нормальных сил морозного пучения грунтов судят только по величине сопротивления среды при работе сил морозного пучения грунтов за счет видоизменений содержащейся в грунте тепловой энергии.

На основе анализа имеющихся экспериментальных данных установлено, что результаты нормальных сил морозного пучения, получаемые на моделях в лабораторных условиях, нет оснований переносить на грунты в их природном сложении. Опытные данные, получаемые на строительных площадках на установленных фундаментах без возможности вертикального смещения подошвы фундамента в соответствующих природно-климатических условиях, будут наиболее близкими к достоверным значениям.

Методика экспериментальных исследований нормальных сил морозного пучения, выполняемых НИИ оснований и подземных сооружений им. Н. М. Герсеванова, базируется на современных теоретических представлениях о физико-механических процессах при замерзании и пучении грунта. Данная методика дала возможность получить зависимости удельных нормальных сил морозного пучения от глубины промерзания и площади подошвы фундамента.

Применяемая методика предусматривает проведение наблюдений за величиной нормальных сил морозного пучения при условно несмещаемой подошве фундамента по показаниям динамометров, за глубиной промерзания грунта ниже подошвы фундамента по мерзлотометру Ратомского, за деформацией морозного пучения грунта на свободной поверхности и за изменением природной влажности грунта в процессе его промерзания и оттаивания, а также камеральную обработку с обобщением и анализом данных наблюдений.

Приведенные экспериментальные данные удельных нормальных сил морозного пучения имеют, кроме научного интереса, большую практическую значимость при строительстве малоэтажных зданий и сооружений, возводимых на пучинистых грунтах или незаглубленных и мелкозаглубленных фундаментах.

По данным многолетних экспериментальных исследований установлены зависимости удельных нормальных сил морозного пучения от толщины твердомерзлого слоя грунта ниже подошвы фундамента и размеров его площади подошвы. Полученные результаты нормальных сил морозного пучения послужили убедительным обоснованием схемы расчета устойчивости фундаментов на действие сил морозного выпучивания.

Возникновение и развитие деформаций и сил морозного пучения грунтов приурочено к локально ограниченному по толщине пластичномерзлому слою грунта, находящемуся между твердомерзлым и талым грунтом, в так называемой активной зоне мо-

розного пучения грунта, которая перемещается вниз по мере нарастания твердомерзлого слоя.

Реактивные усилия промерзающего грунта передаются на подошву фундамента через твердомерзлый слой, площадь подошвы которого намного превышает площадь подошвы фундамента. Возрастание удельных нормальных сил морозного пучения происходит за счет увеличения площади подошвы твердомерзлого грунта, но это возрастание не прямо пропорционально увеличению толщины твердомерзлого грунта ниже подошвы фундамента.

При ограниченной площади подошвы твердомерзлого грунта (опыты определения нормальных сил морозного пучения в металлической трубе) при промерзании грунта ниже подошвы штампа удельные нормальные силы пучения количественно невелики. Они почти не возрастают с нарастанием толщины твердомерзлого слоя грунта под штампом.

Предложенная автором в 1961 г. расчетная схема по определению нормальных сил морозного выпучивания фундаментов базируется на физических основах деформаций и напряжений, возникающих в процессе промерзания грунта. Эта схема подтверждается полученными закономерностями возрастания удельных нормальных сил морозного пучения и уменьшения их с увеличением площади подошвы фундаментов и может быть рекомендована для нормативно-технических документов как способ проверки устойчивости фундаментов на действие сил морозного выпучивания.

Дальнейшие исследования нормальных сил морозного пучения должны быть направлены, во-первых, на дополнение и уточнение способа расчета устойчивости фундаментов, и, во-вторых, на проведение экспериментальных исследований в полевых условиях по установлению зависимостей удельных нормальных сил пучения от конфигурации и размеров площади подошвы фундаментов.

При назначении противопучинных мероприятий против действия сил и деформаций морозного пучения грунтов на устойчивость и эксплуатационную пригодность зданий и сооружений следует исходить только из конкретных инженерно-геологических и гидрогеологических условий строительной площадки, вида и назначения проектируемых зданий и сооружений, способов производства строительных работ, условий эксплуатационного режима зданий и сооружений и наличия химических реагентов и материалов, потребных для применения их против сил и деформации морозного пучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Л. Г., Кочерова Н. Д. Исследование процессов пучения грунтов. — Вестник ВНИИ железнодорожного транспорта, 1962, № 6.
2. Андрианов П. И. Температуры замерзания грунтов. М.: Изд-во АН СССР, 1936.
3. Беляев К. И. Предотвращение пучинистых деформаций грунтов. — Строительная промышленность, 1953, № 4.
4. Бесков Г. Пучины и их образование. — Морозообразование и морозоподнятие, 1936, № 4.
5. Богданов Н. С. Вечная мерзлота и сооружения на ней. СПб: Изд-во «Общества пользы», 1912.
6. Боженова А. П. Некоторое развитие опытов Тэбера по пучению грунтов с вертикальной слоистостью. — Труды Геологического института АН СССР, вып. 22. М., 1940.
7. Бредюк Г. П. Результаты исследований процесса пучения связных грунтов при промерзании. — В кн.: Материалы по физике и механике мерзлых грунтов. М.: Изд-во АН СССР, 1959.
8. Быков Н. И., Каптерев П. Н. Вечная мерзлота и строительство на ней. М.: Трансжелдориздат, 1940.
9. Бялыницкий В. А., Залетнов Ю. Е., Лоренцова Л. И. Причины деформаций некоторых зданий в районе Читы. — Транспортное строительство, 1967, № 4.
10. Войслав С. Г. Краткое описание исследований причины пучения полотна Николаевской железной дороги. — Труды бюро исследований почвы. СПб, 1888—1896.
11. Вялов С. С., Егоров Н. И. Экспериментальное определение сил пучения грунтов. — Труды Института мерзлотоведения. М.: Из-во АН СССР, 1958.
12. Гапеев С. И. Обсыпки для предохранения фундаментов от выпучивания и разрушения морозобойными трещинами. — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1967, № 6.
13. Гогентоглер Ч. А. Строительные свойства грунтов. Пер. с нем. Изд-во Главного управл. стр-вом шоссейных дорог, 1940.
14. Гольдштейн М. Н. Деформации земляного полотна и оснований сооружений при промерзании и оттаивании. М.: Трансжелдориздат, 1948.
15. Горяинов Г. Ф. О статье «О глубине заложения фундаментов в пучинистых грунтах». — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1960, № 3.
16. Далматов Б. И., Морарескул Н. Н. Исследование нормальных сил ленточной глины при замерзании. — Труды ЛИСИ, вып. 11. Л., 1951.
17. Далматов Б. И. Воздействие морозного пучения грунтов на фундаменты сооружений. М.—Л.: Госстройиздат, 1957.

18. Далматов Б. И. Величина касательных сил морозного пучения грунтов. — В кн.: Основы геокриологии (мерзлотоведения), ч. 2. М.: Изд-во АН СССР, 1959.
19. Далматов Б. И., Ласточкин В. С. Устройство газопроводов в пучинистых грунтах. Л.: Недра, 1978.
20. Датский Н. Г. Пучины на железных дорогах в условиях вечной мерзлоты. Труды Комиссии по изучению вечной мерзлоты, т. IV, М., 1935.
21. Дементьев А. И. О весе здания и силах пучения. — В кн.: Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера, вып. 1. Красноярск, 1961.
22. Дорман Я. А. Вспучивание грунтов при искусственном замораживании. — Метрострой, 1969, № 3.
23. Дружинин М. К., Горелик А. М. О глубине заложения фундаментов в пучинистых грунтах. — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1959, № 4.
24. Евдокимов-Рокотовский М. И. Постройка и эксплуатация инженерных сооружений на вечной мерзлоте. Томск, Изд-во Сибирского строительного института, 1931.
25. Егерев К. Е. Электротензометрия в исследованиях взаимодействия фундаментов с мерзлыми грунтами. М.: Изд-во АН СССР, 1960.
26. Егоров В. М., Соколова В. М. Новое в исследовании сил морозного выпучивания фундаментов. — Труды совещания по рациональным способам фундаментостроения на вечномерзлых грунтах. М.—Л.: Госстройиздат, 1959.
27. Жаброва Р. В. К вопросу определения нормативной глубины промерзания грунтов по результатам наблюдений. — Труды НИИ оснований, вып. № 52, М.—Л.: Госстройиздат, 1963.
28. Жуков В. Ф. Земляные работы при строительстве фундаментов и оснований в области вечной мерзлоты. М.: Изд-во АН СССР, 1946.
29. Жуков В. Ф. Сила выпучивания фундамента. Материалы к основам учения о мерзлых зонах земной коры, вып. IV — М.: Изд-во АН СССР, 1958.
30. Зарецкий Ю. К. Приближенный метод расчета сил морозного пучения. Материалы VIII Всесоюзного межведомственного совещания по геокриологии (мерзлотоведению), вып. 8. Якутск, 1966.
31. Зарубин Н. Е. О мероприятиях против выпучивания фундаментов. — Транспортное строительство, 1959, № 3.
32. Золоторь И. А. Расчет промерзания и величины пучения грунта с учетом миграции влаги. — В кн.: Процессы тепла и массообмена в мерзлых горных породах. М.: Наука, 1965.
33. Иванов Н. Н. О причинах появления пучин. — В кн.: Пучины на автомобильных дорогах и борьба с ними. М., 1936. (Дорнии).
34. Карпов В. М. О причинах деформаций фундаментов и стен зданий в условиях Иркутской области. Технико-экономический бюллетень, № 5, Иркутск, 1961.
35. Киселев М. Ф. Зависимость морозного пучения от глубины залегания промерзающего слоя грунта. — Труды НИИ оснований и фундаментов, вып. № 19. М.: Госстройиздат, 1952.
36. Киселев М. Ф. О пучинистости грунтов при промерзании. — Труды НИИ оснований и фундаментов, вып. 26. М.: Госстройиздат, 1955.

37. Киселев М. Ф. Влияние морозного пучения грунтов на устойчивость зданий и сооружений. — Труды НИИ оснований и фундаментов, вып. 38. М.: Госстройиздат, 1959.
38. Киселев М. Ф. Расчет нормальных сил морозного выпучивания фундаментов. — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1961, № 5.
39. Киселев М. Ф. Морозное пучение и мероприятия по уменьшению деформаций фундаментов на пучинистых грунтах. — Труды НИИ оснований и фундаментов, вып. 52. М.: Госстройиздат, 1963.
40. Киселев М. Ф. Предложения по уточнению глубины заложения фундаментов в условиях пучения грунтов при промерзании. — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1963, № 2.
41. Киселев М. Ф. Мероприятия против деформации зданий и сооружений от действия сил морозного выпучивания фундаментов. М.: Стройиздат, 1971.
42. Киселев М. Ф., Сафонов В. С., Субарова Н. П. Строительство сельскохозяйственных сооружений (теплиц) на пучинистых грунтах. — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1975, № 3.
43. Костиненко Г. И. Мероприятия против морозного выпучивания фундаментов. М.: Госстройиздат, 1962.
44. Куликов Ю. Г., Перетрухин Н. А. Определение величины нормальных сил пучения. Труды ВНИИ транспортного строительства, вып. 62. М.: Трансиздат, 1967.
45. Лебедев А. Ф. Почвенные и грунтовые воды. М.: Изд-во АН СССР, 1936.
46. Лыков А. В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. М.: Гостехиздат, 1954.
47. Любимов П. Н. Пучины на железных дорогах и меры к их устранению. М., 1925.
48. Мазуров Г. П. Физико-механические свойства мерзлых грунтов. Л.: Стройиздат, 1975.
49. Маров Э. А. Определение нормальных и касательных сил морозного пучения в полевых условиях. — Материалы по проектированию сложных фундаментов и оснований, вып. 14. М., 1974 (Фундаментпроект).
50. Мельников П. И., Мейстер Л. А. Определение сил смерзания грунта с деревом и бетоном и сопротивление сдвигу мерзлых грунтов в полевых условиях. — Труды комитета по изучению вечной мерзлоты, т. 10. М.: Изд-во АН СССР, 1940.
51. Мельников Б. Н., Швец В. Б. О морозном пучении глинистых грунтов при различном напряженном состоянии. — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1971, № 5.
52. Мельников Б. Н. Зависимость морозного пучения элювиальных глинистых грунтов Урала от влажности, гранулометрического и минералогического состава. — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1966, № 1.
53. Мельников Б. Н. Экспериментальные исследования устойчивости мелкозаглубленных фундаментов в промерзающих глинистых грунтах. — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1967, № 2.
54. Меренков Н. Д. Учет сил морозного пучения при расчете закрепления опор контактной сети. — Транспортное строительство, 1966, № 6.
55. Мораескул Н. Н. Исследование нормальных сил пучения грунтов. Автореф. дис. на соиск. ученой степени канд. техн. наук. Л., 1950 (ЛИСИ).

56. Орлов В. О. Криогенное пучение тонкодисперсных грунтов. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
57. Орлов В. О. К расчету пучинистости грунтов оснований при проектировании мероприятий против выпучивания фундаментов. — В кн.: Современные вопросы региональной и инженерной геокриологии. М.: Наука, 1964.
58. Орлов В. О., Дубнов Ю. Д., Меренков Н. Д. Пучение промерзающих грунтов и его влияние на фундаменты сооружений. Л.: Стройиздат, 1977.
59. Орнатский Н. В. Проектирование противопучинных мероприятий. — В кн.: Регулирование водного режима дорожных оснований. М.: Дориздат, 1948.
60. Паталеев А. В., Алаев А. С. О величине выпучивания фундаментов в Хабаровске. — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1965, № 6.
61. Паталеев А. В. Деформации зданий и сооружений в природных условиях Дальнего Востока. — В кн.: Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера, вып. 3. Красноярск, 1962.
62. Перетрухин Н. А. Сила морозного выпучивания фундаментов. — Труды ЦНИИС, вып. 62. М.: Трансиздат, 1967.
63. Перетрухин Н. А. Морозное пучение грунтов и способы защиты сооружений от его воздействия. — Труды ВНИИТС. М.: Транспорт, 1967.
64. Полтев М. П. О предупреждении деформаций сооружений с ранд-балками. — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1969, № 3.
65. Пономарев В. П. Пучины на железных дорогах и методы борьбы с ними. — Труды ВНИИ железнодорожного транспорта, вып. 50. М.: Трансжелдориздат, 1962.
66. Пузаков Н. А. Теоретические основы расчета влагонакопления при промерзании грунта. М.: Транспорт, 1965.
67. Пусков В. И. Расчет нормальных сил морозного пучения грунтов на подошве жесткой полосы с ограниченной податливостью. — Труды НИИЖТ, вып. 13. Новосибирск, 1967.
68. Пчелинцев А. М. Строение и физико-механические свойства мерзлых грунтов. М.: Наука, 1964.
69. Руководство по проектированию оснований зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1978.
70. Руководство по проектированию оснований и фундаментов на пучинистых грунтах. М.: Стройиздат, 1979.
71. Рябов К. Ф. О нормах проектирования зданий и сооружений на пучинистых грунтах. — Строительная промышленность, 1957, № 9.
72. Салтыков Н. И. О расчетной величине сил пучения, действующих на фундаменты сооружений. М.: Изд-во АН СССР, 1944.
73. Саркисян Р. М. Сила, выпучивающая сваю, заделанную в мерзлый грунт при промерзании сезонно-протаивающего слоя. — Материалы к основам учения о мерзлых зонах земной коры, вып. 6. М.: Изд-во АН СССР, 1960.
74. Соколова В. М. Зависимость пучения грунтов от их природной влажности. — Труды НИИ оснований и фундаментов, вып. 56. М.: Стройиздат, 1966.

75. Соколов Д. А. Изучение морозного пучения глинистых грунтов в Латвийской ССР. — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1982, № 2.
76. Снежко О. В. Деформации водопропускных труб и их причины на Западном участке Амурской железной дороги. — Труды Хабаровского института инженеров железнодорожного транспорта, вып. 11. Хабаровск, 1957.
77. СНиП II-51—74. Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования. М.: Стройиздат, 1975.
78. Сумгин М. И. Физико-механические процессы во влажных и мерзлых грунтах. М.: Транспечать, 1929.
79. Тимошенко В. А. О конструкции фундаментов малоэтажных зданий на пучинистых грунтах. — Основания, фундаменты и механика грунтов 1965, № 2.
80. Толкачев Н. А. Экспериментальные исследования нормальных сил морозного пучения грунтов. — Труды НИИ оснований и фундаментов, вып. 52. М.: Стройиздат, 1963.
81. Толкачев Н. А. Определение относительных нормальных сил морозного пучения грунтов. — Труды НИИ оснований и фундаментов, вып. 54. М.: Стройиздат, 1964.
82. Тулаев Н. Я. Круглогодичный цикл пучинообразования. — Труды Дорнии. М.: Дориздат, 1941.
83. Тютюнов М. А., Нерсесова З. А. Природа миграции воды в грунтах при промерзании и основы физико-химических приемов борьбы с пучением. М.: Изд-во АН СССР, 1963.
84. Тэбер О. С. Промерзание и оттаивание грунтов как фактор разрушения дорожных одежд. — Труды Дорнии. М.: Дориздат, 1936.
85. Ушkalов В. П. Силы и деформации морозного выпучивания фундаментов и меры их уменьшения. — Труды НИИ оснований и фундаментов, вып. 52. М.: Стройиздат, 1963.
86. Федороов В. И. О существовании единого критерия для определения температуры начала замерзания глинистых грунтов. — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1968, № 1.
87. Федорова Н. Я. О фундаментах мелкого заложения в пучинистых грунтах. — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1960, № 2.
88. Федорова Н. Я. Основные принципы проектирования оснований и фундаментов малоэтажных зданий и сооружений в районах с глубоким сезонным промерзанием и распространением вечномерзлых грунтов. — Труды Дальневосточного НИИ по строительству, вып. 3. Владивосток, 1962.
89. Федосов А. Е. Физико-механические процессы в грунтах при их замерзании и оттаивании. М.: Трансжелдориздат, 1935.
90. Финк О. И. Устойчивость сооружений в условиях глубокого промерзания почвы. — В кн.: Вечная мерзлота и железнодорожное строительство. М.: Гострансиздат, 1931.
91. Хархута Н. Ч., Васильев Ю. М. Обеспечение устойчивости земляного полотна при морозных воздействиях. — Информационно-технический листок, № 23. Л., 1958. (Союздорнии).
92. Цытович Н. А., Сумгин М. И. Основы механики мерзлых грунтов. М.: Изд-во АН СССР, 1937.
93. Цытович Н. А. Принципы механики мерзлых грунтов. М.: Изд-во АН СССР, 1952.

94. Цытович Н. А. Пучение рыхлых горных пород при промерзании. — Материалы по лабораторным исследованиям мерзлых грунтов, М.: Изд-во АН СССР, 1957.
95. Цытович Н. А. Основания и фундаменты на мерзлых грунтах. М.: Изд-во АН СССР, 1958.
96. Черкашин В. А. Опыт борьбы с выпучиванием малонагруженных фундаментов с районе распросгранения вечномерзлых грунтов. — Основания фундаменты и механика грунтов, 1961, № 2.
97. Чернышев М. Я. Деформация каменных зданий от пучения мерзлого грунта. — Строительная промышленность, 1927, № 12.
98. Чубарова Н. П. Определение высоты морозоопасной зоны над уровнем грунтовых вод. — В кн.: Основания и подземные сооружения. М.: Стройиздат, 1987.
99. Швец В. Б. Фундаменты мелкого заложения. Свердловск: Средне-Уральское книжное изд-во, 1965.
100. Швец В. Б., Коченгин Б. И. Об устойчивости фундаментов в условиях пучения грунтов при промерзании. — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1966, № 3.
101. Швец В. Б. Элювиальные грунты Урала как основания фундаментов зданий и сооружений. Автореф. на соиск. учен. степени д-ра техн. наук. М., 1967.
102. Швец В. Б., Тарасов Б. Л., Швец Н. С. Надежность оснований и фундаментов. М.: Стройиздат, 1980.
103. Штукенберг В. О. Заметки о пучинах на железных дорогах и меры для уничтожения их. — Инженер, 1885, кн. 10.
104. Штукенберг В. О. О борьбе с пучинами на железной дороге. — Инженер, 1894, кн. 2.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Стр.

Введение	3
Г л а в а I. Исследование процессов морозного пучения грунтов и его влияния на основания и фундаменты	4
1. Понятие морозного пучения грунтов	4
2. Классификация грунтов по степени морозной пучинистости	7
3. Результаты теоретических исследований	9
4. Мероприятия против деформаций сил морозного пучения	13
Г л а в а II. Анализ экспериментальных данных по определению нормальных сил морозного пучения грунтов в природных условиях	14
Г л а в а III. Методика экспериментальных работ по определению нормальных сил морозного пучения грунтов в полевых условиях	21
Г л а в а IV. Исследование гидрогеологических и грунтовых условий на экспериментальном полигоне	27
5. Климатическая и гидрогеологическая характеристика района Загорского стационара	27
6. Деформации морозного пучения грунтов свободной поверхности в зависимости от глубины промерзания	33
Г л а в а V. Результаты экспериментальных исследований сил морозного пучения грунтов на опытном полигоне	35
7. Удельные нормальные силы морозного пучения в зависимости от глубины промерзания грунта ниже подошвы опытного фундамента-штампа	36
8. Удельные нормальные силы морозного пучения грунтов в зависимости от глубины заложения опытных фундаментов	55
9. Использование нормальных сил морозного пучения в практике проектирования	60
Г л а в а VI. Физические основы расчетной схемы по определению нормальных сил морозного выпучивания фундаментов	63
Г л а в а VII. Мероприятия по предотвращению выпучивания незаглубленных и мелкозаглубленных фундаментов	80
10. Влияние некоторых факторов на процесс морозного пучения грунтов	80

Цена 1 р. 20 к.

11. Коренные мероприятия против действия сил морозного пучения грунтов	89
12. Ограничные мероприятия, направленные на снижение деформаций и сил морозного пучения грунтов	90
13. Временно действующие мероприятия, применяемые на период строительства	98
14. Мероприятия по снижению выпучивания незаглубленных и мелкозаглубленных фундаментов	100
Глава VIII. Способы снижения сил и деформаций выпучивания фундаментов посредством воздействия на термический режим грунтов	102
15. Дериный покров как способ снижения сил и деформаций морозного выпучивания фундаментов	105
16. Физико-химические способы борьбы против сил и деформаций морозного выпучивания фундаментов	111
17. Требования к производству строительных работ по излевому циклу на пучинистых грунтах	113
18. Противопучинные мероприятия в период эксплуатации зданий и сооружений	118
Заключение	120
Список литературы	123

Монсей Федосьевич Киселев

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТОВ ОТ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ

Зав. редакцией Н. Н. Днепрова

Редактор Г. Г. Яцевич

Художественный редактор О. В. Сперанская

Внешнее оформление художника Н. И. Абрамова

Технический редактор Г. С. Томилина

Корректор В. И. Галузова

ИБ № 3098

Подписано в печать 2.09.85. М-45491. Формат 60x90 1/16 д.л.
Гарнитура литературная. Бумага офсетная № 2. Печать офсетная. Печ. л. 8.
Усл.-кр.-отт. 8,21. Уч.-издл. 8,38. Тираж 2047 экз. Изд. № 2217Л. Цена 1 р. 20 к.

Стройиздат. Ленинградское отделение 191011, Ленинград, пл. Островского, 6

Тульская типография Союзполиграфпрома Тула, пр. Ленина, 109