

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МНОГОЛОПАСТНЫХ ВИНТОВЫХ СВАЙ «ВАУ» В УСЛОВИЯХ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ ГРУНТОВ

Д.И. Цысь, И.В.Носков, А.П. Криворотов

В статье приведены методика и результаты испытаний винтовых свай «ВАУ» в условиях морозного пучения грунтов. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о перспективности применения свай «ВАУ» в пучинистых грунтах региона.

Ключевые слова: грунт, винтовая свая, морозное пучение, полевые испытания, лабораторные испытания.

ВВЕДЕНИЕ

Пучение грунтов — явление сложное и порой приводит к непредсказуемым последствиям в строительстве. Пренебрежение этим явлением приводит к тому, что здания (особенно легкие) поднимаются вместе с фундаментами при замерзании грунтов и опускаются во время их таяния. Неравномерность этих процессов часто приводит здание в аварийное состояние и даже вызывает полное его разрушение.

Из элементарной физики нам известно, что вода при замерзании значительно увеличивается в объеме, разрывая сосуды и трубопроводы. Это же явление происходит и с грунтом.

Присутствующая в грунте влага увеличивается в объеме, в результате чего происходит поднятие грунта. И чем больше влаги присутствует в грунте, тем сильнее он увеличивается в объеме при замерзании.

В пористых грунтах это явление менее заметно, так как при замерзании грунт расширяется в сторону пор, заполняя пустоты. И чем более пористый грунт, тем меньше вероятность его пучения.

Кроме того, промерзание грунта происходит постепенно и начинается этот процесс сверху, проникая все глубже и глубже.

Замерзший грунт начинает вытеснять присутствующую в нем влагу, которая через поры уходит в нижние слои грунта.

В пористых грунтах влага беспрепятственно проходит сквозь поры и пучение грунта не происходит. Глина же, как известно, плохо пропускает влагу, которая не уходит вниз, вызывая тем самым подъем замерзшего грунта.

Силы, действующие на фундамент при морозном пучении грунта, бывают значительными, и не считаются с этим явлением нельзя. Силы морозного пучения разделяют на два вида: *вертикальные и касательные* (ри-

сунк 1). При вертикальных силах грунт поднимает фундамент снизу, упираясь в его подошву или другие части.

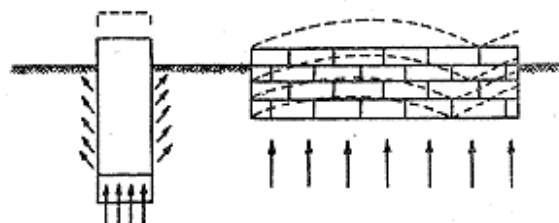


Рисунок 1 - Воздействие сил морозного пучения на фундаменты

В случае касательных сил грунт примерзает к боковым стенкам фундамента, поднимая их за счет сил бокового трения, образовавшихся при смерзании. Примерзнув к стенкам фундамента, вспучивающийся грунт тоже старается поднимать фундамент, расслаивая его на части. Нужно отметить, что эти силы бывают очень большими и достигают 5 — 7 т на квадратный метр боковой поверхности фундамента. Именно по причине морозного пучения грунта облегченный вариант фундаментов, распространенный во многих странах Запада, для наших условий не подходит. Особенно явление морозного пучения опасно, когда вспучивание грунта происходит неравномерно. За несколько зимних сезонов фундамент поднимается и опускается несколько раз, в результате чего он перекашивается, что в свою очередь сказывается на стенах и перекрытиях.

Перекосившиеся стены, деформированные перекрытия теряют свою прочность и здание становится аварийным. Особенно разрушительны силы морозного пучения для бутобетонных, монолитных ленточных фундаментов, где нет армирующего каркаса. Наиболее опасны эти явления, когда уровень

грунтовых вод расположен выше точки промерзания грунта. Обилие влаги многократно увеличивает морозное пучение, разрушительная сила которого огромна. Конечно, для тяжелых кирпичных строений силы морозного пучения не так опасны, как для легких — деревянных или каркаснощитовых зданий. Когда сила тяжести строительных конструкций дома превышает силы, приложенные к фундаменту морозным пучением грунта, фундамент не поднимается. Опасность наступает тогда, когда вес строительных конструкций здания недостаточен, чтобы скомпенсировать силы, приложенные морозным пучением. Неравномерность вспучивания грунта может происходить не только из-за неравномерной его влажности. Дело в том, что под домом грунт практически не промерзает, а поэтому на внутренние фундаменты силы морозного пучения не действуют (при условии, что дом зимой прогревается). Наружные же фундаменты воспринимают силы морозного пучения, и, если они поднимаются, конструктивные элементы здания деформируются со всеми отсюда вытекающими последствиями. Но и наружные фундаменты принимают на себя неравномерные нагрузки. С южной стороны дома снег весной тает быстрее, насыщая грунт влагой. Грунт с южной стороны днем оттаивает, а ночью — промерзает. Фундаменты с этой стороны дома принимают на себя чередующиеся силы вспучивания, а с северной стороны, где днем оттаивание грунта происходит не так сильно, фундаменты находятся под действием более постоянных сил. Результатом этой неравномерности являются деформации, трещины и разрушения. Особенно такая неравномерность сказывается на столбчатых фундаментах, когда наружные фундаменты при вспучивании поднимаются на высоту до 10 см, а внутренние — остаются на месте.

В результате такого перекаса не только деформируется здание, но и появляется угроза пожара, так как печь (которая стоит на независимом фундаменте) остается на месте, а ограждающие конструкции дома сдвигаются со своего места. Нарушаются противопожарные разрывы между дымоходами и деревянными элементами крыши и перекрытия, появляются трещины в дымоходах, через которые искры могут попасть на сгораемые конструкции.

Когда сила тяжести строительных конструкций дома превышает силы, приложенные к фундаменту морозным пучением грунта, фундамент не поднимается. Опасность на-

ступает тогда, когда вес строительных конструкций здания недостаточен, чтобы скомпенсировать силы, приложенные морозным пучением (рисунок 2).

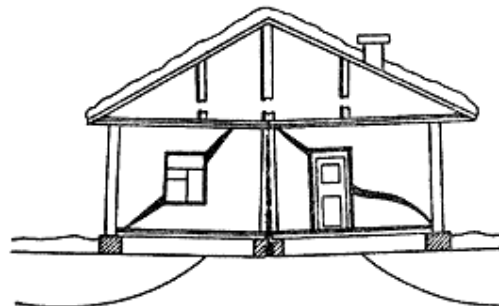


Рисунок 2 - Деформации здания в результате действия сил морозного пучения

Итак, влияние сил морозного пучения на долговечность, конструктивных элементов здания довольно большое и с ним приходится считаться.

Разделение грунтов на пучинистые и непучинистые является чисто условным. Обычно к пучинистым грунтам относят глины, песчаные пылеватые или крупномоноблочные, в которых глиняный наполнитель превышает 15 %. Но даже чистый песок, который считается непучинистым грунтом, при определенных условиях может вспучиваться под влиянием отрицательных температур. Это происходит тогда, когда песок заключен во влагонепроницаемую оболочку (например, глиняный замок). В этом случае верхние слои грунта, замерзая, не могут вытеснить воду в нижерасположенные горизонты, поэтому они вынуждены подниматься вверх. И наоборот, песчаная подушка под основанием, расположенная ниже расчетной глубины промерзания, впитывает в себя выдавленную с верхних горизонтов влагу, равномерно распределяя ее по всей площади. В этом случае грунт не вспучивается и фундамент не испытывает пучинистых давлений.

Расчет сил морозного пучения представляет собой сложную инженерную задачу.

К основным характеристикам пучения грунтов относят:

- деформация грунта h - абсолютная величина, представляющая собой высоту поднятия грунта в определенной точке;
- коэффициент пучения f , определяемый по формуле $F = h / d$, где d - мощность слоя промерзания грунта.

Пучинистые свойства крупнообломочных грунтов и песков, содержащих пылеватогли-

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МНОГОЛОПАСТНЫХ ВИНТОВЫХ СВАЙ «BAU» В УСЛОВИЯХ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ ГРУНТОВ

нистые фракции, определяют через показатель дисперсии D , который имеет значение

$$KD = K / (d_o^2 * e_o), \quad (1)$$

где K - коэффициент, равный $1,85 \times 10^4$ см²;
 e_o - коэффициент пористости талого грунта;
 d_o - средний диаметр частиц грунта.

В связи с пучинистостью грунтов возник вопрос о применении фундаментов хорошо сопротивляющихся этому явлению.

В нашей страны применительно к малоэтажному строительству в качестве таких фундаментов все чаще используют сваи «В.А.У.». Основной отличительной особенностью этих свай является применение лопастей малых диаметров с большим количеством витков.

Сегодня основным сдерживающим фактором распространения винтовых свай «BAU» остается недостаточная изученность их работы. На российском рынке фундаментостроения винтовые сваи «BAU» представлены компанией ООО «BAU групп». Винтовые сваи «В.А.У.» (рисунок 3) представляет собой кованый конусный корпус из трубной заготовки с приваренной спиралью.



Рисунок 3 - Разновидности свай «BAU»

Основной отличительной особенностью свай «В.А.У.», является применение лопастей малых диаметров с большим количеством витков. Как следствие погружение таких свай можно производить малыми крутящими моментами. Защита от коррозии свай обеспечивается методом горячего цинкования.

Подобная конструкция свай «В.А.У.» не позволяет использовать существующую в российских нормативных документах, в частности СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты», методику расчетов, которая в первую

очередь предназначена для «классических» одновитковых винтовых свай.

Широкое внедрение свай «В.А.У.» в практику строительства возможно при проведении экспериментальных и расчетно-теоретических исследований с учетом особенностей грунтов регионов. На территории города Барнаула такие исследования проводятся в настоящее время кафедрой «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова в сотрудничестве с ООО «BAU групп».

В соответствии с программой работ по определению влияния сил морозного пучения на работу винтовых свай «BAU» в зимних условиях проведено испытания 16 свай на экспериментальной площадке с грунтовым основанием, сложенным супесями, лессовидными, пластичными, сильнопучинистыми (рисунок 4). Характеристики грунтов экспериментальной площадки приведены в таблице 1.



Рисунок 4 – Винтовые сваи «BAU» на экспериментальной площадке

Таблица 1 – Характеристики грунтов экспериментальной площадки

Номер площадки	Номенклатурный вид грунта	Удельный вес грунта, кН/м ³	Угол внутреннего трения, град.	Удельное сцепление грунта, кПа	Модуль деформации грунта, МПа
		γ_n	φ_n	c_n	E
1	Супесь лессовидная пластичная, сильнопучинистая	18,6	18	9	5,5

Винтовые сваи были погружены в пучинистые грунты в зону их промерзания (длина свай – 2,0 м, нормативная глубина промерзания супесей на экспериментальной площадке -2,3 м.) до наступления отрицательных температур.

Сваи были оставлены в грунте без нагрузки и в течении зимнего периода снимались показания деформаций свай от воздействия сил морозного пучения (рисунок 5).

Результаты испытаний винтовых свай «BAU» на экспериментальной площадке приведены в таблице 2.



Рисунок 5 – Снятие вертикальных перемещений винтовых свай «BAU» от воздействий сил морозного пучения

Таблица 2 – Результаты испытаний свай от воздействия сил морозного пучения

№ свай	Превышения, мм		
	I этап (ноябрь-декабрь) 2010г	II-этап (январь 2011г)	III-этап (февраль-март 2011г.)
I	-1028	- 1022	- 1024
II	- 1028	- 1028	- 1024
III	- 1020	- 1019	- 1011
1	- 942	- 0941	- 0934
2	- 1042	- 1042	-1038
3	- 1022	- 1021	- 1018
4	- 1022	- 1023	- 1020
5	- 1022	- 1021	- 1019
6	- 1038	- 1039	- 1035
7	- 1021	- 1020	- 1017
8	- 0982	- 0981	- 0976
9	- 1039	- 1041	- 1035
10	- 0950	- 0948	- 0943
11	- 1061	-1060	- 1053
12	- 1450	- 1048	- 1043
13	- 1070	- 1069	- 1066

Для определения и подтверждения пучинистых свойств грунтов экспериментальной площадки была использована разработанная на кафедре «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» лабораторная установка ОСПГ-1 (определение степени пучинистости грунтов) для проведения испытаний по ГОСТ 28622-90 «Метод лабораторного определения степени пучинистости», моделирующая условия промерзания грунта в естественных условиях.

В конструкцию лабораторной установки ОСПГ-1 (определение степени пучинистости грунтов) входит (рисунок 6):

1. Приборы пучения (2 шт.);
2. Морозильная ларь;
3. Электроизмерительная аппаратура (термодат, термосопротивления, индикаторы, преобразователь интерфейса и т.п.);
4. Защитный шкаф для размещения аппаратуры ;
5. Персональный компьютер.

Изготовленный прибор пучения предназначен для определения пучинистых характеристик грунтов.



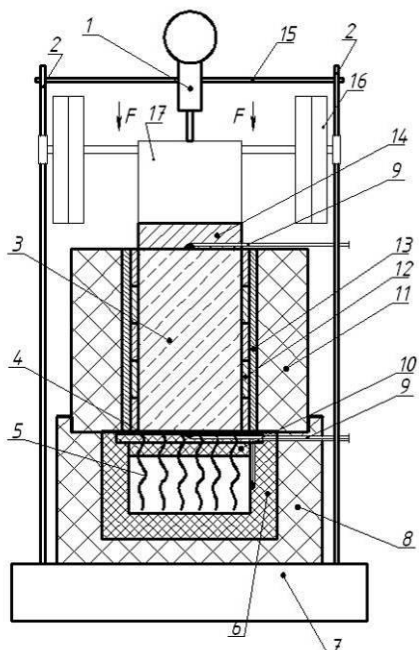
Рисунок 6 - Лабораторная установка ОСПГ-1 для проведения испытаний по ГОСТ 28622-90 «Метод лабораторного определения степени пучинистости»

Конструкция прибора соответствует общим требованиям ГОСТ 28622-90 «Метод лабораторного определения степени пучинистости».

Образец грунта 3 (рисунок 7) (монолит или образец нарушенного сложения) изначально погружается в кольца 12, предварительно внутренняя поверхность которых покрыта морозоустойчивой смазкой (литол). Пять колец сделаны для того, что бы уменьшить силы трения, возникающие между боковой поверхностью образца грунта и внутренней поверхностью колец, за счет их раздвижки во время деформации грунтового образца.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МНОГОЛОПАСТНЫХ ВИНТОВЫХ СВАЙ «ВАУ» В УСЛОВИЯХ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ ГРУНТОВ

Кольца выполнены из материала с низкой теплопроводностью (капралон). Образец (в кольцах) погружается в обойму 13, выполненную из такого же материала и смазанную по внутренней поверхности так же для уменьшения сил трения.



1 – индикатор положения; 2 - кронштейн; 3 - образец грунта; 4 - фильтр; 5 - влагоподводящий фитиль; 6 - емкость для воды; 7 – основание установки; 8 - теплоизоляционный кожух (нижняя часть); 9 - датчики температуры; 10- крышка емкости под воду; 11 - теплоизоляционный кожух (верхняя часть); 12 - обойма колец; 13 - кольцо; 14 - термостатированная плита; 15 - перекладина, 16 - пригрузы, 17 - пригрузное устройство
Рисунок 7 - Принципиальная схема установки прибора для определения степени пучинистости грунтов

Весь образец в обойме устанавливается на нижнюю часть прибора 8, непосредственно на крышку 10 емкости для воды 6. Между образцом и крышкой укладывается фильтр 4 для равномерного распределения влаги по нижней кромке образца. Влага к фильтру подтягивается по фитилям 5 из емкости 6 через отверстия в крышке 10 к фронту промерзания во время промораживания. Корпус нижней части прибора выполнен из среднезернистого пенопласта. Он служит теплоизоляционным кожухом, препятствующим попаданию холода через стенки и низ конструкции.

Далее на установленный грунтовый образец в обойме 13 плавно устанавливается верхняя часть прибора 11, также выполняющая функцию теплоизоляции.

Далее на верхнюю поверхность образца ставится термостатированная плита 14, относительно которой индикаторы положения 1 (2 шт.), закрепленные на перекладине 15 показывают деформации поднятия-опускания образца. В плите 14, крышке 10 и емкости под воду 6 устроены каналы для датчиков измерения температуры соответственно в верхней части образца 6, нижней части этого же образца и в камере для воды, что и позволяет в дальнейшем контролировать процесс замораживания при помощи термодатчиков.

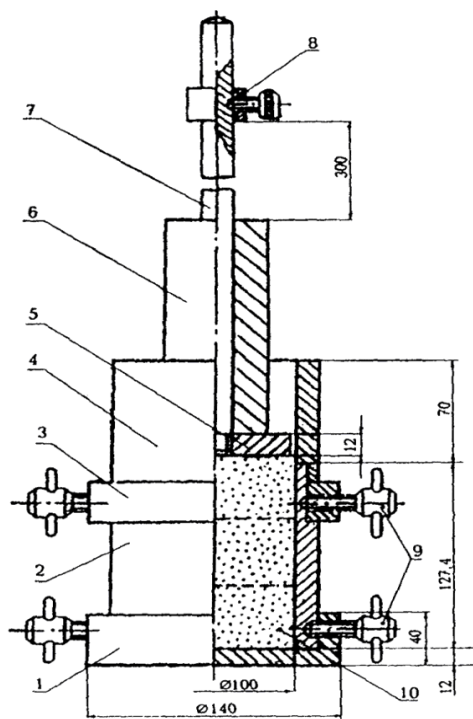
Перекладина 15 с помощью резьбового соединения крепится к кронштейнам 2, которые закреплены в основании установки 7. Эта конструкция представляет собой жесткую статически не изменяемую систему.

Конструкция прибора позволяет нагружать образец грунта вертикальной нагрузкой (начальная нагрузка), которая моделирует нагрузку от собственного веса выше расположенных слоев грунта, если образец отобран с некоторой глубины с помощью устройства 17 и пригрузов необходимого веса 16.

Исследования на определение максимальной плотности скелета грунта при оптимальной влажности грунта проводятся на приборе стандартного уплотнения (рисунок 8). Схема установки показана на рисунке 9. За основу принят прибор, рекомендуемый ГОСТ 22733-77.



Рисунок 8 - Прибор стандартного уплотнения



1 - поддон; 2 – ра-зъемная форма; 3 – зажимное кольцо; 4 – насадка; 5 - наковальня; 6 – груз массой 2,5 кг; 7 - направляющая штанга; 8 – ограничительное кольцо; 9 - зажимные винты; 10 - образец грунта

Рисунок 9 - Принципиальная схема установки для испытания грунта методом стандартного уплотнения СоюздорНИИ

Метод стандартного уплотнения заключается в установлении зависимости плотности сухого грунта от его влажности при уплотнении образцов грунта с постоянной работой уплотнения и последовательным увеличением влажности грунта.

Испытания проводят на искусственно приготовленных образцах грунта с заданной максимальной плотностью и оптимальной влажностью, значения которых устанавливаются программой испытаний.

Испытания проводят не менее чем для трех параллельных образцов исследуемого грунта.

Отбор, упаковка, транспортирование и хранение монолитов и образцов грунта нарушенного сложения должны производиться в соответствии с требованиями ГОСТ 12071.

Образец грунта в обойме, смазанной внутри тонким слоем технического вазелина или покрытой слоем антифрикционного материала, помещают в установку ОСПГ-1 на увлажненный капиллярно-пористый материал поддона и проводят следующие операции:

- на верхний торец образца устанавливают термостатированную плиту;
- проверяют положение штока механизма для нагружения образца по отношению к центру образца;
- устанавливают прибор для измерения вертикальных деформаций образца грунта;
- подключают систему непрерывного подтока воды к образцу;
- к образцу грунта плавно, не допуская ударов, прикладывают нагрузку, создавая давление;
- записывают начальные показания приборов.

Установку помещают в холодильную камеру и выдерживают при температуре плюс $(1 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ не менее суток. Включают автоматизированную систему для задания температурного режима промораживания образца.

В ходе испытания через каждые 12 часов снимают показания приборов для измерения вертикальной деформации образца грунта и температуры верхней и нижней термостатированной плиты.

Во избежание переохлаждения грунта через 12 часов с начала испытания следует вызвать начало кристаллизации влаги в образце легким постукиванием по верхней термостатированной плите.

В обоснованных случаях допускается проведение испытаний без увлажнения образца грунта. При этом между образцом и капиллярно-пористым материалом укладывают влагонепроницаемую пленку.

Испытание прекращают при достижении температуры 0°C на нижнем торце образца.

Сразу после окончания испытания образец извлекают из обоймы, разрезают вдоль вертикальной оси, измеряют фактическую толщину промерзшего слоя (за исключением зоны пластично-мерзлого грунта) и описывают его криогенную текстуру.

Относительную деформацию морозного пучения образца грунта ε_{fh} вычисляют с точностью 0,01 по формуле

$$\varepsilon_{fh} = h_f / d_i, \quad (2)$$

где h_f – вертикальная деформация образца грунта в конце испытания, мм; d_i – фактическая толщина промерзшего слоя образца грунта, мм.

В результате проведенных лабораторных исследований образцов эксперименталь-

ной площадки были подтверждены их пучинистые свойства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные экспериментальные данные позволили сделать следующие выводы:

1. Винтовые сваи «BAU» подтвердили свою эффективность в грунтовых условиях г. Барнаула при воздействии сил морозного пучения. При проведении полевых испытаний винтовых свай «BAU» наблюдения за деформациями свай от действия сил морозного пучения показали, что разница между начальными измерениями (при минимальных отрицательных температурах) и последующими измерениями деформаций (при максимальных отрицательных температурах) находится в пределах ошибки измерений.

2. Методика действующих российских нормативных документов требует корректировки для винтовых свай «BAU», поскольку не учитывает действительный характер работы свай данного типа в условиях морозного пучения грунтов основания.

3. Полученные экспериментальные данные уже сейчас позволяют судить о характере работы данного типа свай в различных геологических условиях.

4. Винтовые сваи «BAU» эффективно противостоят силам морозного пучения и могут успешно эксплуатироваться в зимних условиях при строительстве зданий и сооружений.

5. В настоящее время результаты проведенных исследований используются для составления и утверждения на региональном и всесоюзном уровне рекомендаций по проектированию винтовых свай «BAU» в условиях морозного пучения грунтов.

Цысь Д.И. - аспирант, Носков И.В. – к.т.н., профессор, E-mail: noskov.56@mail.ru, Алтайский государственный технический университет; Криворотов А.П. – д.т.н., профессор, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет.

УДК 624.131.411.002.35

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОБАВОК ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ СИЛ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ

Б.М. Черепанов

В статье представлены результаты исследований влияния добавок для стабилизации грунтов в условиях действия сил морозного пучения в период с 2008 по 2011 гг. Построены зависимости относительной деформации пучения лёгких суглинков с добавками и без, от напряжения.

Ключевые слова: морозное пучение грунтов, стабилизация грунта, физико-механические свойства грунта, степень пучинистости грунтов.

ВВЕДЕНИЕ

Пучение грунтов является сложным явлением, которое часто приводит к непредсказуемым последствиям при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений. Деформации пучинистых грунтов приводят к недопустимым перемещениям и серьезным повреждениям зданий, покрытий автомобильных дорог и аэродромов, смещениям опор мостов, трубопроводов и т.д.

Недоучет морозного пучения грунтов в строительстве, а также несвоевременное назначение противопучинных мероприятий наносят огромный ущерб народному хозяйству: снижают сроки и ухудшают условия эксплуатации сооружений, вызывают непроеизводи-

тельные затраты труда, строительных материалов и финансовых средств. Особенно явление морозного пучения опасно, когда вспучивание грунта происходит неравномерно. За несколько зимних сезонов фундамент поднимается и опускается несколько раз, в результате чего он перекашивается, что в свою очередь сказывается на стенах и перекрытиях. Перекосившиеся стены, деформированные перекрытия теряют свою прочность и здание становится аварийным. Наиболее опасны эти явления, когда уровень грунтовых вод расположен выше точки промерзания грунта. Обилие влаги многократно увеличивает объемы морозного пучения, разрушительная сила которого огромна.