ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ОСНОВАНИЙ
И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПРИМЕНЕНИЮ ХИМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ПУЧЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ, ВОЗВОДИМЫХ НА ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

МОСКВА 1974

gost.e-ecolog.ru

УДК 624.139.24 : 624.138.4

Рекомендации составлены в развитие главы СНиП II-Б.6-66 «Основания и фундаменты зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах. Нормы проектирования».

Рекомендации распространяются на проектирование и устройство в пучинистых грунтах ненагруженных или малонагруженных фундаментов в первые 3—5 лет строительства.

Проектирование и устройство фундаментов с последующей химической обработкой пучинистых грунтов на Крайнем Севере допускается лишь для условий, когда фундаменты опираются на талые или оттаивающие грунты оснований (второй принцип использования мерзлых грунтов).

Рекомендации разработаны ордена Трудового Красного Знамени Научно-исследовательским институтом оснований и подземных сооружений Госстроя СССР (д-р геол.-минерал. наук, проф. И. А. Тютюнов, инж. Г. Л. Праздникова) и Северным отделением НИИОСП (инж. В. С. Десяк).

© Стройиздат, 1974

Р 30213—577 / 047(01)—74 Инструкт.-нормат., III вып. — 17-73

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Рекомендации распространяются на проектирование и устройство в пучинистых грунтах фундаментов, остающихся ненагруженными или малонагруженными в первые 3—5 лет строительства.

1.2. Рекомендации составлены в развитие п. 3.13, а также пп. 5.15—5.21 главы СНиП II-Б. 6-66 «Основания и фундаменты зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах. Нормы проектирования».

В Рекомендациях рассматриваются эффективные мероприятия по уменьшению выпучивания малонагруженных и ненагруженных свайных фундаментов путем обработки грунтов химическими реагентами в пределах сезоннопромерзающего слоя.

Примечание. Химическую обработку пучинистых грунтов рекомендуется производить при условии использования грунтов оснований в оттаивающем и оттаявшем состоянии (принцип II, глава СНиП II-Б. 6-66).

1.3. Пучинистыми грунтами являются сезоннопромерзающие грунты глинистого и пылеватоилистого состава, а также крупнообломочные, содержащие частицы размером 0,1 мм в количестве не менее 30% по весу.

1.4. Пучинистые свойства грунтов связаны с обменно-адсорбционной способностью их мелких частиц, которые в совокупности образуют поглощающий комплекс этих грунтов, характеризующийся емкостью обменного поглощения катионов, выражаемой в миллиграмм-эквивалентах на 100 *г* грунта. Соответственно все грунты, обладающие обменной емкостью поглощения, способны пучиться при промерзании.

Примечание. Обменная емкость, как и состав поглощенных катионов, определяется по общепринятой методике, изложенной в книге: «Методические пособия по инженерно-геологическому изучению пород», т. 1. Изд. МГУ, 1968.

1.5. Под пучением при промерзании понимается такое приращение объема промерзающего грунта, связанное с кристаллизацией воды, которое существенно нарушает его строение, обусловливая значительное (пре-

имущественно вертикальное) смещение отдельных слоев.

1.6. Под выпучиванием фундамента при промерзании понимается смещение этого фундамента по отношению к первоначальной глубине заделки, обусловленной его смерзанием с пучащимся грунтом и трением на контакте с последним.

Выпучивание и соответствующая величина поднятия фундамента проявляются в том случае, когда последний заложен в грунт, охарактеризованный в пп. 1.3—1.5, имеющий влажность в начальной стадии промерзания бо́льшую, чем влажность на границе раскатывания, а также если силы, препятствующие перемещению фундамента, меньше сил пучения грунта и сил выпучивания фундамента.

1.7. Под силами пучения грунта понимаются силы, обусловливающие приращение объема кристаллизующейся воды в грунте на 10%; в пределе эти силы могут достигать 2100 ат.

1.8. Под силами выпучивания следует понимать суммарные силы, равные силам смерзания и силам трения.

1.9. Под силами смерзания понимаются силы образования связей грунта с поверхностью фундамента через пленку льда, формирующегося на их границе раздела. Силы смерзания находятся в прямой зависимости от величины поверхности непосредственного контакта между грунтом и фундаментом и обратной зависимости от толщины пленки льда.

1.10. Под силами трения понимаются силы обжатия фундамента грунтом в связи с кристаллизацией в нем воды, возрастающие в соответствии с количеством льда, выделившегося в приконтактной зоне грунта.

1.11. Совокупное действие сил смерзания и трения определяется дисперсностью грунта и его минералогическим составом, емкостью поглощения и составом обменных катионов, засоленностью, исходной влажностью и скоростью промерзания, а также природой минералов (наполнителя бетона), участвующих в образовании поверхности фундамента.

2. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И РАСЧЕТ ДОЗ ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ, РЕКОМЕНДУЕМЫХ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ГРУНТОВ

2.1. Для обработки грунтов в целях предупреждения выпучивания свайных фундаментов на период строительства рекомендуется применять какой-либо из перечисленных реагентов:

калий хлористый или калийные соли (калийные удобрения);

калий фтористый или бифторид калия;

натрий фтористый;

калиевое жидкое стекло;

натриевое жидкое стекло;

калий хлористый — натрий фтористый в отношениях 2:1.

Калий хлористый (KCl) — мелкокристаллическая соль, хорошо растворима в воде (ГОСТ 4568—65).

Калийные соли (калийные удобрения) хорошо растворимы в воде, состоят преимущественно из калия хлористого с примесью натрия хлористого (NaCl). Калийные соли часто представляют собой так называемые сырые соли, состоящие главным образом из сильвинита (mKCl·nNaCl), в меньшей степени каинита KCl·$MgSO_4 \cdot 3H_2O$ с примесью NaCl (СТУ 43-193-61).

Калий фтористый (KF), калий бифторид (KHF_2) и натрий фтористый NaF — мелко- и среднекристаллические соли, растворимые в воде (СТУ 35 ХП 384—61).

Калиевое и натриевое жидкое стекло — вязкие водные растворы силиката калия ($K_2O \cdot nSiO_2$) и силиката натрия ($Na_2O \cdot nSiO_2$). В промышленном изготовлении они характеризуются удельным весом, равным 1,45—1,50 г/см³. Модуль жидкого стекла SiO_2/M_2O. Для обработки грунтов рекомендуется применять жидкое стекло с модулем в пределах 2,3—3,5.

2.2 Расчет количества K какого-либо из перечисленных в п. 2.1 реагентов, необходимых для обработки грунта вокруг свай, производится по формуле

$$K = \left(\frac{\pi D^2}{4} - S\right) H \delta m,$$

где D — диаметр цилиндра, в пределах которого грунт подлежит химической обработке; принимается

на 0,5 м больше диаметра или стороны поперечного сечения сваи;

S — площадь поперечного сечения сваи в м^2;

H — глубина обработки грунта вокруг сваи в м;

δ — объемный вес скелета грунта в кг/м^3;

m — расход реагента в кг; для тундровой зоны по табл. 1.

Таблица 1

Нормы расхода реагентов

№ п. п	Реагенты	Расход реагентов на 1 кг сухого грунта		
		в %	в кг	в л
1	Калий хлористый технический III сорт	1,5	0,015	—
2	Калийные соли (удобрения) .	2,5	0,025	—
3	Калий фтористый	0,8	0,008	—
4	Калий бифторид	0,8	0,008	—
5	Натрий фтористый	0,8	0,008	—
6	Калий хлористый	1	0,01	—
	С добавкой натрия фтористого	0,5	0,005	—
7	Калиевое жидкое стекло, водный раствор плотностью 1,45 г/см^3	2	0,02	0,013
8	Натриевое жидкое стекло, водный раствор плотностью 1,45 г/см^3 с добавкой 6,3 г калия хлористого технического на 1 кг стекла	5	0,05	0,033

Для других зон определяется из выражения

$$m = \frac{M\text{Э} \cdot E \cdot 10^{-6}}{A},$$

где M — молекулярный вес вносимой соли в г;

Э — эквивалентный вес катиона применяемой соли в мг;

E — емкость поглощения грунта в м/экв на 1 кг грунта;

A — атомный вес катиона этой соли в г.

Примечание. Доза внесения калийных солей рассчитывается по KCl, причем содержание калия хлористого в калийных солях следует принимать равным 60%.

2.3. Реагенты, перечисленные в п. 2.1, за исключением калиевого и натриевого жидкого стекла, применяются в виде сухих солей.

Примечание. В случае применения калия хлористого в смеси с натрием фтористым приготовленные соли тщательно перемешать.

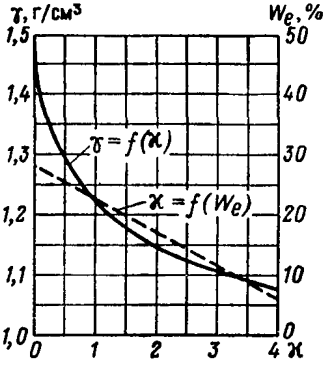


Рис. 1. График определения количества воды, необходимого для разбавления раствора, и плотности полученного после разбавления раствора

2.4. Калиевое и натриевое жидкое стекло применяется в виде растворов, разбавленных водой в соответствии с естественной влажностью грунта, подлежащего обработке. Величина разбавления и плотность полученных растворов определяются по графику (рис. 1).

Пример пользования графиком

Известно: 1. Расчетное количество жидкого стекла $\gamma = 1{,}45$ г/см³, $K = 100$ л.

2. Естественная влажность $W_e = 20\%$. Необходимо узнать количество воды для разбавления и плотность полученного раствора.

Для этого по графику $\chi = f(W_e)$ находим, что при влажности 20% жидкое стекло необходимо разбавить в отношении 1 : 1,5, т. е. к 100 л жидкого стекла добавить 150 л воды.

Соответственно по графику $\gamma = f(\chi)$ находим, что плотность полученного раствора при разбавлении 1 : 1,5 приблизительно составляет 1,18 г/см³.

Примечания: 1. В случае приготовления водного раствора натриевого жидкого стекла с добавкой хлористого калия плотность полученного раствора увеличивается соответственно на каждый процент концентрации раствора хлористого калия на 0,006 г/см³. Так, например, при растворении в 150 л воды 17 кг хлористого калия концентрация приблизительно составляет 10%. Следовательно, к полученной плотности раствора 1,18 г/см³ необходимо добавить $0{,}006 \times 10 = 0{,}06$ г/см³. Тогда плотность полученной смеси будет равна 1,24 г/см³.

2. При обработке грунтов с соответственной влажностью, превышающей 23%, разбавление жидкого стекла следует производить в отношении 1 : 1 ($\gamma = 1{,}23$ г/см^3).

2.5. Приготовление растворов производится в деревянных или металлических емкостях. При приготовлении натриевого жидкого стекла предварительно растворить хлористый калий в количестве 6,3 г на каждый килограмм стекла промышленного изготовления.

Примечание. При приготовлении раствора жидкое стекло следует лить в воду, а не наоборот.

3. ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ГРУНТА РЕАГЕНТАМИ

3.1. Технология обработки грунта реагентами в случае применения солей состоит из откопки канавки вокруг сваи и засыпки в эту канавку соли, поскольку в процессе добивки сваи до заданной глубины соль равномерно затягивается вглубь по ее периметру.

При обработке грунта растворами, помимо приготовления реагентов, должно быть предусмотрено бурение скважин, установка и сборка системы для нагнетания растворов, а также нагнетание последних.

3.2. Глубина обработки грунта H реагентом вокруг сваи в радиусе 0,25 м всегда должна быть равной: при влажности на границе раскатывания $^2/_3$, а при влажности большей, чем на границе раскатывания $^1/_2$ слоя сезонного промерзания-оттаивания.

3.3. Обработка грунта одной из рекомендуемых в п. 2.1 солей производится следующим образом: как только величина добивки до проектной отметки погружаемой сваи станет равной глубине обработки грунта H, принятой в соответствии с п. 3.2, забивка приостанавливается и вокруг сваи откапывается лунка глубиной 10—15 см, в которую засыпается равномерно по периметру рассчитанное согласно п. 2.2 количество соли, а затем свая добивается до проектной глубины.

Примечание. Вместо лунок могут быть использованы разъемные хомуты соответствующей формы; периметр нижней части хомута должен быть на 8—10 см больше периметра поперечного сечения сваи.

3.4. При установке свай в предварительно пробуренные скважины обработку грунта солями следует производить по ходу обратной засыпки (засвайного простран-

ства). Соли следует вносить порциями через каждые 0,2 м, начиная с глубины $H=0{,}2$ м вверх по ходу обратной засыпки. Вес одной порции K рассчитывается по формуле

$$K = \frac{0{,}2K}{H-0{,}2},$$

где K — расчетное количество соли для обработки грунта в соответствии с п. 2.2 на всю глубину H, согласно п. 3.2.

Последняя порция соли перемешивается с грунтом непосредственно в позасвайном пространстве.

Примечание. Обратная засыпка должна производиться измельченным грунтом.

3.5. Обработку грунта жидкими реагентами, перечисленными в п. 2.4, рекомендуется производить с помощью инъекто-

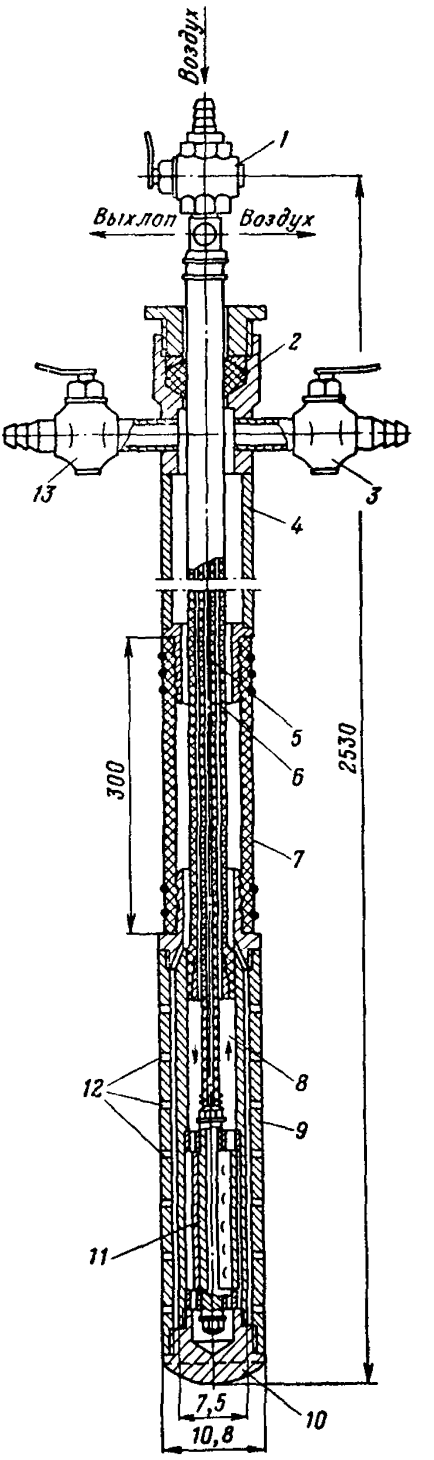


Рис. 2. Конструктивная схема виброинъектора

1 — краник для подачи сжатого воздуха в вибратор; 2 — резиновое разуплотнительное кольцо; 3 — краник для удаления воздуха из системы; 4 — корпус инъектора из металлической трубы, D=108 мм; 5 — шланг для подачи воздуха; 6 — шланг для выпуска отработанного воздуха; 7 — шланг для подачи раствора; 8 — внутренний корпус инъектора; 9 — наружный корпус инъектора; 10 — головка; 11 — полый бегунок; 12 — выпускные отверстия; 13 — краник для подачи раствора в инъектор

ров, сконструированных на основе пневматического вибратора С-699 (рис. 2). Для этого перед забивкой сваи пробуривается скважина на глубину H (в соответствии с п. 3.2) диаметром, соответствующим диаметру

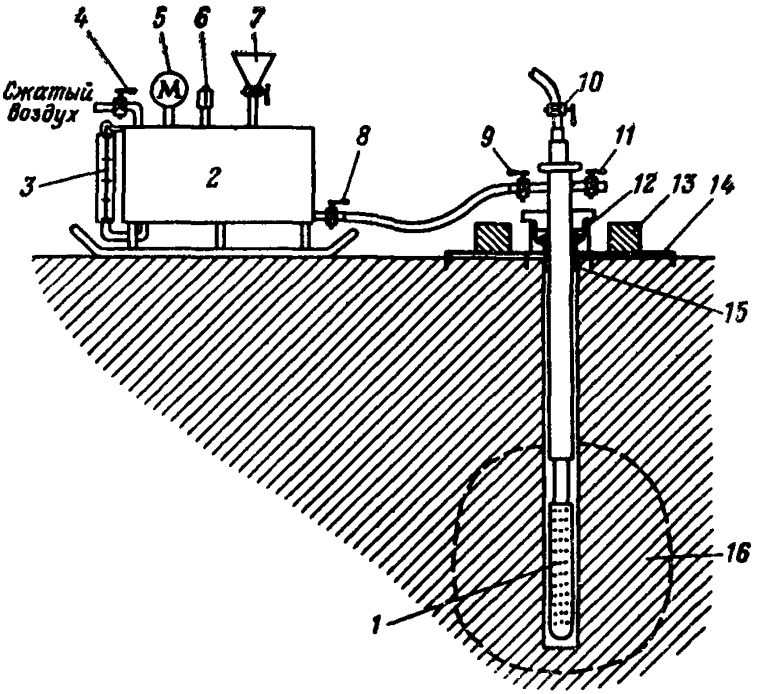


Рис. 3. Схема нагнетания раствора реагентов в грунт

1 — виброинъектор; 2 — бачок для раствора; 3 — устройство для измерения объема в бачке; 4 — краник для перекрытия подачи сжатого воздуха в бачок; 5 — манометр; 6 — предохранительный клапан; 7 — воронка для залива раствора в бачок; 8 — кранцк для подачи раствора из бачка в виброинъектор; 9 — краник для подачи раствора в инъектор; 10 — краник для подачи сжатого воздуха на вибратор; 11 — краник для удаления воздуха из инъектора; 12 — втулка с зажимной гайкой и резиновым кольцом, предотвращающим утечку раствора по стенкам инъектора; 13 — груз для пригрузки тампонажной плиты; 14 — тампонажная плита размером 0,8×0,8 м; 15 — ребра, обрамляющие тампонажную плиту; 16 — ореол распространения раствора в грунте

инъектора. Скважину закрыть плитой с отверстием, совпадающим со скважиной, положить груз весом 0,5—0,7 т.

После установки плиты через отверстие в скважину опускается виброинъектор с включенным пневмодвигателем. Для предупреждения утечки раствора по затрубному пространству с помощью зажимной гайки разу-

плотняется зажимное кольцо (см. рис. 2). Рядом со скважиной устанавливается бачок и подключается система для производства инъекции раствора в грунт.

Непосредственно перед инъецированием приготавливается раствор жидкого стекла в соответствии с пп. 2.4 и 2.5.

3.6. Расход реагентов для одной инъекции и соответствующее давление нагнетания принимаются по табл. 2. Приготовленный раствор заливается в бачок, затем в нем повышается давление до соответствующей величины, удаляется воздух из инъектора и производится инъецирование до полного израсходования залитого раствора (рис. 3). Система подачи раствора отключается, а инъектор устанавливается выше предыдущего положения на глубину в соответствии с табл. 2. В бачок заливается новая порция раствора и производится инъецирование в той же последовательности.

Таблица 2

Примерный расход растворов реагентов для одной инъекции и давление нагнетания на различных глубинах установки рабочей части инъектора

Глубина обработки грунта в м	Глубина установки рабочей части инъектора в м	Расход раствора реагента в % от общего количества	Давление нагнетания в кг/см²
1	1—0,6 0,6—0,2	60 40	2 1
2	1,9—1,5 1,3—0,9 0,7—0,3	50 30 20	3 2 1

4. САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ РАБОТЕ С ВЕЩЕСТВАМИ, ПРИМЕНЯЕМЫМИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ГРУНТА

4.1. При обработке грунта химическими веществами необходимо соблюдать правила техники безопасности и производственной санитарии, выполнять требования, предусмотренные «Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий» (СН 245-71).

4.2 Калий хлористый, калийные соли, калий фтористый, калия бифторид, натрий фтористый — нетоксичны.

Однако всегда следует пользоваться марлевой повязкой в несколько слоев и очками для предохранения от пыли слизистой оболочки дыхательных путей и глаз.

4.3. Калийное и натриевое жидкое стекло оказывает раздражающее действие и вызывает ожоги в случае попадания на незащищенные участки тела. При работе с этими реагентами нельзя допускать их разбрызгивания. Руки должны быть смазаны вазелином. В случае попадания капель жидкого стекла на кожу необходимо сразу же смыть водой или слабым раствором уксуса, затем теплой водой с мылом.

5. ХРАНЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВКА

5.1. При хранении и транспортировке химических веществ необходимо соблюдать все правила по технике безопасности и производственной санитарии.

5.2. Все химические вещества рекомендуется хранить в сухом прохладном помещении с хорошей вентиляцией или под крытым навесом.

5.3. Калий хлористый, калий фтористый, калия бифторид, натрий фтористый и калийные соли ввиду их гигроскопичности и способности сильно слеживаться рекомендуется хранить в полиэтиленовых мешках, многослойных крафт-мешках или других емкостях, отверстия которых плотно закрываются крышками или пробками.

5.4 Стекло жидкое натриевое и калийное следует хранить в металлических или деревянных бочках при температуре не ниже +5° С.

5.5. Стеклянные емкости с химическими веществами должны быть помещены в опилки или плетеные корзины.

5.6. При транспортировке химических веществ необходимо принимать все меры, исключающие возможность повреждения тары.

Теоретические основы миграции воды, пучения грунтов при промерзании и приемов борьбы с выпучиванием фундаментов

1. Обобщение результатов экспериментальных исследований по миграции воды в промерзающих грунтах показывает, что этот процесс хотя и присущ грунтам с неоднородным гранулометрическим составом, но протекает только в тех, которые содержат частицы, обусловливающие их обменно-адсорбционную способность. С наибольшей интенсивностью миграционный процесс протекает в тех случаях, когда поглощающий комплекс грунтов полностью или почти полностью занят многовалентными катионами. Экспериментальными исследованиями установлено, что интенсивность миграционного процесса понижается, как только среди обменных катионов появляются одновалентные, и соотношение между катионами в поглощающем комплексе изменяется в пользу последних.

Как известно, в основном обменно-адсорбционные свойства грунта обусловливают вторичные минералы. Однако главная роль в этом отношении принадлежит минералам каолинитовой и монтмориллонитовой группы. Первые, как правило, в обменно-адсорбированном состоянии содержат преимущественно двухвалентные катионы кальция и магния, а вторые — одновалентные, но главным образом катионы натрия и в весьма малых количествах калия и др. По этой причине грунты каолинитового состава характеризуются чрезвычайно интенсивным протеканием миграционного процесса, монтмориллонитового, — наоборот, крайне слабым проявлением последнего.

В грунтах, не содержащих указанных вторичных минералов, не наблюдается существенного подтягивания воды в зону кристаллизации. Чаще всего отмечается ее отжатие из этой зоны.

На основании изложенного нетрудно представить, что протекание миграционного процесса в природных связных грунтах в основном обусловлено соотношением между частицами каолинитового и монтмориллонитового состава. Чем больше в грунте содержится первых, тем с большей интенсивностью может протекать миграционный процесс, и, наоборот, его интенсивность будет

понижаться с увеличением количества вторых, что собственно и было установлено многими исследованиями.

Тем не менее описанная зависимость миграционного процесса в природных грунтах может существовать лишь при прочих равных условиях. Если же грунты по той или иной причине будут увлажняться водой, содержащей преимущественно одновалентные или многовалентные катионы, то в силу реакции обмена интенсивность миграционного процесса будет меняться соответствующим образом. По этой причине важно обращать внимание на емкость поглощения грунтов. Действительно, если под влиянием реакций обмена происходит замещение многовалентных катионов одновалентными, то это явление можно считать равносильным увеличению количества монтмориллонитовых частиц в грунте по сравнению с каолинитовыми. И наоборот, случаи замещения одновалентных катионов многовалентными соответствуют резкому увеличению количества каолинитовых частиц относительно монтмориллонитовых. Естественно, чем больше емкость поглощения, тем сильнее проявляется описанное относительное изменение.

Совершенно очевидно, что для раскрытия сущности миграционного процесса необходимо исследовать гранулометрический состав грунтов, а также емкость поглощения и состав обменных катионов. Однако для решения практических задач почти всегда можно обходиться определением состава поглощенных оснований и емкости поглощения грунтов по общеизвестным методикам и, в частности, пользуясь «Методическим пособием по инженерно-геологическому изучению пород» (т. I изд. МГУ, 1968).

Миграция воды и пучение грунтов, как известно, взаимосвязаны, и поэтому по соотношению многовалентных и одновалентных катионов[1] можно судить о пучинистости грунтов. Так, например, нами установлено, что если указанное соотношение равно 3:1, грунты сильнопучинистые; при соотношении 1 : 1 — среднепучинистые и при отношении 1 : 3 — слабопучинистые.

Следует иметь в виду, что грунты состоят как из частиц, характеризующихся обменно-адсорбционной спо-

[1] Одновалентный ион водорода по влиянию на миграцию воды следует приравнивать к многовалентным катионам. Поэтому при определении указанного отношения количество многовалентных катионов надо определять с учетом поглощенного водорода.

собностью, так и частиц, которые по своей природе, в зависимости от формы и размеров, способны совмещать обе указанные особенности. Об этом, по крайней мере, можно предполагать по поведению каолина при промерзании.

Таким образом, на основании изложенного нетрудно сделать вывод о том, что миграция и пучение грунтов проявляются вследствие взаимодействия минеральных частиц с водой. При этом, разумеется, сила взаимодействия имеет существенное значение, а градиент этой силы будет определять перераспределение воды по поверхности частиц.

Сказанное позволяет считать, что движущей силой *миграционного процесса является градиент* Δ свободной поверхностной энергии σ, если частицы обладают только адсорбционными свойствами, *или* градиент химического потенциала ν поверхности частиц, если последние характеризуются обменно-адсорбционной способностью. Вероятно, на одних участках поверхности в наибольшей мере проявляет свое действие первый, а на других — второй. Однако важно то, что именно вместе они обусловливают ту «обобщенную» движущую силу, *которая и определяет миграцию воды* и обусловливает пучение грунтов при промерзании.

Наилучшим подтверждением сказанному является высокая интенсивность проявления миграционного процесса и пучения в промерзающем мономинеральном каолинитовом грунте, где максимальное количество частиц совмещает указанные особенности.

Итак, можно предполагать, что общее количество воды $\mu_в$, которое может накопиться в грунте, является функцией вида:

$$\mu_в = f[(\sigma, \nu)\, S_0)]_{т,р}\ .$$

В этом уравнении σ и ν представляют собой факторы интенсивности, S_0 — фактор емкости при данных температуре T и давлении P.

Однако вода, замерзающая на месте, не приводит к сколько-нибудь заметным деформациям промерзающего грунта. Пучение обусловливает та вода, которая подтягивается к фронту промерзания. Нашими исследованиями установлено, что в пучинистых грунтах в процессе промерзания происходит резкое уменьшение удельной поверхности, причем тем больше, чем сильнее

пучится грунт. Это явление связано с коагуляцией и образованием микроагрегатов. Оно протекает с наибольшей эффективностью в грунтах, поглощающий комплекс, в которых насыщен преимущественно многовалентными катионами. Установленное явление изменения удельной поверхности грунта характеризует собой, по существу, емкость льдонакопления.

Следовательно, пучение грунтов, обусловленное количеством накопившегося льда $\mu_л$, является функцией произведения градиента фактора интенсивности (движущей силы) на величину изменения фактора емкости (величину уменьшения удельной поверхности) грунта, т. е.

$$\mu_л = f[(\Delta\sigma, \Delta v)s],$$

где $\Delta\sigma$, Δv — градиент, свободной поверхностной энергии, химического потенциала поверхности — факторы интенсивности; $s = s_0 - s_1$ — разность между удельной поверхностью грунта до промерзания s_0 и после промерзания s_1 — фактор емкости льдонакопления.

2. Миграция воды и пучение грунтов, как естественно-исторические процессы, протекают при определенном внутреннем состоянии грунта и при соответствующих внешних условиях окружающей среды. Естественно, борьба с этими процессами и с их вредным влиянием на сооружения может вестись в двух направлениях. В направлении разработки инженерных мероприятий для ослабления воздействия внешней среды и в направлении создания способов физико-химического воздействия, с одной стороны, на сами грунты в целях изменения их состояния и с другой — на фундаменты для уменьшения энергии их взаимодействия с пучащимся грунтом. Не останавливаясь на инженерных приемах, поскольку они достаточно хорошо описаны в существующей литературе, и их рассмотрение не входит в нашу задачу, обратим внимание на физико-химические способы борьбы с указанными процессами.

Выпучивание фундаментов, как известно, обусловлено их смерзанием с пучащимся грунтом и трением, возрастающим в связи с обжатием фундамента этим грунтом. Соответственно борьба с выпучиванием фундаментов может вестись в двух направлениях. В направлении резкого снижения прочности смерзания пучащегося грунта с поверхностью фундамента и в направлении

уменьшения пучинистости самого грунта. В первом случае это достигается покрытием поверхности полимерными пленками[1], а во втором — уменьшением движущей силы миграционного процесса и «емкости» льдовыделения.

Смерзание грунта с инородной поверхностью вообще обусловлено в своей сущности химическим сродством инородной поверхности к воде, содержащейся в грунте, которое проявляется в смачивании. Мерой химического сродства при этом является изменение свободной поверхностной энергии смачивающейся инородной поверхности. Смачивание, следовательно, будет происходить лишь в том случае, когда поверхностные силы фундамента достаточно велики и способны адсорбировать так называемую связанную воду из грунта. Поверхность фундамента не будет смачиваться, если его поверхностная энергия по сравнению с поверхностной энергией связанной воды и льда мала. Иными словами, прочность смерзания будет зависеть от прочности адгезии воды на поверхности фундамента. Прочность адгезии определяется соответствующей работой согласно уравнению

$$W_a = \sigma_ф + \sigma_в - \sigma_{ф.в},$$

где $\sigma_ф$ — поверхностная энергия фундамента; $\sigma_в$ — поверхностная энергия воды и $\sigma_{ф.в}$ — поверхностная энергия на границе раздела фундамент — вода. При $\sigma_{ф.в}=0$ работа адгезии, а следовательно, и смерзания максимальна. Однако смерзание не окажет влияния на выпучивание фундамента, если грунт подвергнуть химической обработке и тем самым устранить его пучение. Для этого необходимо использовать вещества, которые, вступая в химическое взаимодействие, обусловливают уменьшение градиента свободной поверхностной энергии (химического потенциала поверхности) как движущей силы или факторов интенсивности. Кроме того, оказывают стабилизирующее действие на удельную поверхность грунта или путем значительного диспергирования, или путем необратимой коагуляции частиц до начала промерзания. В данном случае важно воздействовать на удельную поверхность так, чтобы ее величина

[1] Рекомендации по применению высокомолекулярных соединений в борьбе с морозным выпучиванием фундаментов. М., Стройиздат, 1969.

не менялась в процессе фазовых превращений воды в грунте. Наилучшим образом этим целям служат соединения калия и особенно $K_2O \cdot nSiO_2$ и $Na_2O \cdot nSiO_2$ с присадкой хлористого калия, а также KF и KHF_2. Эти реагенты резко снижают химический потенциал поверхности и таким образом способствуют уменьшению энергии взаимодействия минеральных частиц с водой. В то же время, поскольку сами они (реагенты) оказывают слабое воздействие на изменение структуры воды, последняя замерзает при более высокой температуре, чем замерзала до химической обработки грунта. Кроме того, первые два реагента упрочняют микроагрегаты, предохраняя их от последующего разрушения при промерзании и оттаивании грунта. Другие реагенты резко снижают энергию коагуляции частиц при промерзании последнего, предупреждая сколько-нибудь значительное агрегирование, и уменьшают количество разрушающихся агрегатов при оттаивании, чему в немалой мере способствует фтор-ион.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Общие положения	1
2. Краткая характеристика и расчет доз химических реагентов, рекомендуемых для обработки грунтов	3
3. Технология обработки грунта реагентами	6
4. Санитарно-гигиенические мероприятия при работе с веществами, применяемыми при обработке грунта	9
5. Хранение и транспортировка	10
Приложение. Теоретические основы миграции воды, пучения грунтов при промерзании и приемов борьбы с выпучиванием фундаментов	11

Ордена Трудового Красного Знамени Научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений Госстроя СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ХИМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ПУЧЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ, ВОЗВОДИМЫХ НА ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Редактор издательства В. В. Петрова
Технические редакторы Л. В. Бодрова, Г. В. Климушкина
Корректор В. Г. Штанге

Сдано в набор 10/X-1973 г. Подписано к печати 30/X-1974 г. Т-00862.
Формат 84×108 1/32. Бумага типографская № 3. 0,84 усл.-печ. л. (уч.-изд. 0,96 л.)
Тираж 13 000 экз. Изд. № XII-4602. Зак. № 1071. Цена 5 коп.

Стройиздат
103777, Москва, Кузнецкий мост, д. 9

* * *

Владимирская типография Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли

Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.

gost.e-ecolog.ru