© В. Дудзинский, 2006

УДК 551.343.72

В. Дудзинский

ОБЗОР ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ О ХАРАКТЕРЕ И УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ

Круглый стол

В практике городского строительства зданий и сооружений одной из проблем, имеющих важное научно-техническое и прикладное значение, является изучение взаимодействия фундаментов и конструкций сооружений с промерзающим пучащим грунтом с целью разработки приемов управления процессом пучения и эффективных мер борьбы с этим явлением. При недооценке изучения грунтов оснований в несущих конструкциях зданий и сооружений возникают дополнительные усилия, которые нарушают нормальную эксплуатацию объектов, а нередко приводят к аварийному состоянию, что вызывает необходимость вложе-ния затрат на исправление и ремонт зданий и сооружений.

В настоящее время еще не решен ряд задач, касающихся физических аспектов формирования давления пучения. Отсутствует методика количественной оценки давления пучения при его взаимодействии на фундамент зданий и конструкций подземного сооружения.

Необходимость изучения явления пучения и мер борьбы с ним возникла в конце XIX века при строительстве железных дорог в районах Сибири.

Первыми наиболее значимыми работами в этом направлении были исследования И.А. Лопатина, В.И. Штукенберга и С.Г. Войслова, которые заложили основу теоретического изучения физической сущности процессов пучения и миграции влаги в промерзающих грунтах.

В настоящее время в зависимости от направления воздействия пучения на сооружение различают два основных их вида: нормальные и касательные силы пучения.

Касательные силы пучения имеют направление по касательной к поверхности фундаментов, соприкасающейся с замерзающим грунтом, и представляют собой опорную реакцию слоя промерзающего грунта на контакте с боковой поверхностью фундамента, возникающую при динамическом смещении мерзлого слоя относительно фундамента.

Нормальные силы пучения, действуя по нормали к поверхности сооружения, представляют собой суммарную силу от давления промерзающего грунта на поверхность сооружения, ограничивающую или не допускающую увеличения объема грунта.

В 1912 г. А.В.Свиньин высказал предположение, что замерзающий в замкнутом объеме грунт развивает «страшное» давление, «рвущее бомбу».

М.И. Сумгин, изучая физику явления пучения, определил, что увлажненный грунт, промерзая в замкнутом объеме, может создавать давление более 211,5 МПа. М.И. Евдокимов-Рокотовский пришел к выводу, что вода, замерзая в порах грунта, может создать давление при температуре

$T = -0{,}5^0 \; P = 6{,}7 МПа$

$T = -3^0 \; P = 41{,}9 МПа$

$T = -5^0 \; P = 72 МПа$

С. Тэбер отметил, что промерзание глинистого грунта в закрытой системе сопровождается развитием давления пучения 0,27 МПа. А при промерзании такого грунта в открытой системе (с подтоком воды из вне) давление может превышать 1,4 МПа.

Первое экспериментальное изучение нормальных сил морозного пучения в лабораторных условиях провел Н.Н. Морарескул [1] и установил, что давление пучения практически одинаково при промерзании грунта в условиях открытой и закрытой системы. При этом величина давления зависит от температуры. Времени промерзания, сжимаемости подстилающего слоя талого грунта и достигает 0,5-1,0 МПа.

Так же необходимо отметить опыты А.М. Пчелинцева [2] по промораживанию суглинка текучей консистенции в дилатометре в условиях действия внешнего давления 20 МПа и температуры -17 ^{0}С , в которых наблюдалось образование ледяных прослоек и перемещение поршня дилатометра. Что свидетельствовало о развитии давления в грунте, превышающего 20 МПа.

Опытами С.М. Тихомирова, проведенными с образцами грунта диаметром 7,5 см и высотой от 3 до 9 см установлено, что давление в односторонне промерзающем грунте возрастает с увеличением степени недопущения деформаций и уменьшением высоты образца в пределах от 0,1 до 3.3 МПа.

Английские исследователи Г.Б. Саферленд и П.Н. Гаскин получили давление пучения в образцах грунта диаметром 10 см и высотой 15 см в пределах от 0,06 до 0,8 МПа.

В.Г. Григорьева, Н.К. Пекарская и Н.В. Артемьев провели ряд опытов по изучению влияния внешнего давления на процессы избыточного льдовыделения в пылеватых супесях и глинах ненарушенного сложения, полученных с Яковлевского месторождения КМА. Результаты этих экспериментов с образцами диаметром 8 см и высотой 10 см показали, что внешнее давление не препятствует образованию ледяных прослоек при одностороннем промерзании грунта в условиях закрытой системы. Определяющим фактором льдообразования при этом является влажность, а не давление. Промерзание супеси с влажностью до предела текучести при температуре -10 ^{0}С в закрытой системе под давлением 3,0 и 6,0 МПа сопровождалось перемещением влаги к фронту промерзания. В образцах глины, предварительно уплотненных давлением 5,0 МПа и имевших влажность 0,19, внешнее давление в 1,0 МПа заметно снижало интенсивность подтока воды в промерзающий грунт и вызывало формирование лишь очень тонких прослоек льда. Давление в 5,0 МПа полностью предотвращало подток безнапорной и напорной (2,4 МПа) воды в промерзающий грунт, влажность образца не менялась, и глина промерзала с образованием массивной текстуры.

Изучению влияния внешнего давления на механизм промерзания грунтов посвящена работа Д.М. Конрада и Н.Р. Моргенштерна. В их опытах образцы девонского ила перед испытанием предварительно уплотнялись давлением 0,21 МПа и промораживались снизу вверх со свободным подтоком воды сверху. В процессе промораживания создавалось стационарное положение фронта промерзания с заданным постоянным во времени профилем температур в промерзающем грунте. На верхней поверх-

ности во всех опытах поддерживалась температура $+1^0$С. Влияние внешнего давления (0,045 – 0,45 МПа) на изменение миграции влаги характеризовалось с помощью специально введенного параметра – потенциала сегрегации.

Потенциал сегрегации SP_0 определен как отношение скорости подтока воды $V_{wf}(t)\cdot 10^{-6}$ мм/с в мерзлый пограничный слой к температурному градиенту $T_f(t)^0$ С/см этого слоя.

$$SP_0 = \frac{V_{wf}(t)}{T_f(t)}, 10^{-5} \quad \text{мм}^2/\text{с}\ ^0\text{С}. \qquad (1)$$

На основе многочисленных экспериментальных исследований Д.М. Конрадом и Н.Р. Моргенштейном была получена зависимость потенциала сегрегационного льдовыделения от внешнего давления

$$SP_0 = a\exp(-BP_e) \qquad (2)$$

где a и b – константы грунта, определяемые экспериментально.

Как видно из (2), потенциал сегрегации уменьшается по экспоненциальной зависимости по мере увеличения давления на промерзающий грунт.

Нужно отметить общий недостаток проводимых экспериментальных исследований давления пучения: во всех случаях опыты проводились на образцах, имеющих малые размеры.

Японский исследователь М. Енокида провел испытания в грунтовом лотке с внутренними размерами 0,7х0,25х0,2 м и получил давление на боковую поверхность стенки лотка при промерзании глины полутвердой консистенции в пределах от 0,46 до0,85 МПа.

На основании приведенного обзора можно заключить, что лабораторные испытания широко применяются для выявления закономерностей развития давления пучения промерзающих грунтов. При этом возможно выделить следующие факторы, влияющие на развитие давления пучения грунтов: физико-химические свойства грунтов; температурные условия промерзания; внешнее давление на грунт; степень недопущения деформаций пучения; сжимаемость подстилающих слоев грунта; условия подтока воды.

Необходимо также отметить, что величины давлений, полученные российскими и зарубежными учеными, различаются более чем на два порядка. Причины столь широкого разброса данных в настоящее время еще не окончательно выяснены, так как отсутствует единая точка зрения на причины и механизм формирования сил и напряжений пучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Морарескул Н.Н., Далматов Б.И.* Исследование нормальных сил пучения ленточной глины при промерзании. Сб. трудов ЛИСИ. - Л., 1959.Вып.11, с.191-201.
2. *Пчелинцев А.М.* Строение и физиико-механические свойства мерзлых грунтов. – М., Наука, 1964.
3. *Морозное* пучение при сооружении ствола. Демич Л.М., Козел А.М., Костыркин А.А, Колдобский Ю.А., Шахтное строительство. 1981 №3. – С. 12-14.

Коротко об авторах

Дудзинский В. – аспирант кафедры «Строительство подземных сооружений и шахт», Московский государственный горный университет.