

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ПУЧИНИСТОСТИ ГРУНТОВ С АНАЛИЗОМ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

И. А. Кулабухова, Б. М. Черепанов

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

В данной статье рассматриваются причины пучинистости грунтов и способы борьбы с этим явлением. Рассматриваются исследования, ранее проведенные в этой области. На их основе строится план проведения дальнейших испытаний и изучения грунтов. Предполагается подтвердить и дополнить ранее полученные данные: зависимость явления пучинистости от плотности, а также плотность, при которой грунт становится непучинистым.

Ключевые слова: пучинистость, уплотнение тяжелыми трамбовками, плотность пучинистого грунта, влажность пучинистого грунта, корреляционный анализ, ошибка аппроксимации.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование явления морозного пучения является актуальным направлением научной деятельности. Лессовые просадочные грунты Западной Сибири занимают до 20% территории [1]. Лессы имеют значительное распространение на обширных пространствах равнинной и предгорной частях края. При сезонном промерзании такие грунты могут увеличиваться в объеме, при оттаивании – проседать. Особенно опасно то, что такие деформации неравномерны.

Явление морозного пучения имеет место при одновременном наличии нескольких условий – грунт должен быть пучинистым, должна быть отрицательная температура и определенная влажность. Если одно из этих условий отсутствует, то пучения не будет. В связи с этим, можно условно разделить методы борьбы с морозным пучением на группы:

1. Методы, связанные с устранением свойств пучинистости грунта. Наиболее распространенный метод – замена грунта на непучинистый, например, устройство песчанно-гравийных подушек. Также применяют физико-химические мероприятия, такие как введение противопучинистых добавок, за счет объемно-деформационных свойств которых возможно компенсировать пучение. Или же заглубление фундамента в подстилающий непучинистый слой грунта, используя свайные фундаменты и фундаменты глубокого заложения.

2. Методы, связанные с устранением отрицательной температуры, например, прокладка вблизи фундаментов подземных мел-

козаглубленных коммуникаций, выделяющих тепло или использование электрообогрева.

3. Методы, направленные на снижение влажности грунта. Например, понижение влажности грунта и водозащитные мероприятия. Нужно правильно планировать застраиваемую территорию, сохранить дерновый покров грунта, который слабо пропускает воду, сохранить естественные условия стока воды, исключить пересечения линий стока во избежание скопления воды. Целесообразнее расположить здания с мокрым технологическим процессом в пониженных частях рельефа и на определенных расстояниях от других зданий. Также существуют мероприятия по понижению уровня грунтовых вод. Кроме того, следует спроектировать отмостки, выполнив требования по уклону, ширине, обратной засыпке, отводу атмосферных вод. Зачастую наиболее экономичный и быстродостижимый метод уменьшения влажности – использование трамбовок различного веса. Формируется новая структура грунта, отличающаяся от природной степенью уплотнения, минимальной и относительной однородной пористостью. Изменения в микроструктуре с глубиной становятся менее заметны и внизу уплотненного слоя структура грунта имеет незначительные отличия от природной. Микроструктурные исследования свидетельствуют о том, что при трамбовании тяжелыми трамбовками в лессовом грунте развиваются 2 процесса: разрушение сложившихся структурных связей и формирование новых. В результате происходит уплотнение грунта, создается прочное водонепроницаемое основание, грунт не пропускает воду и становится непучинистым.

АНАЛИЗ РАНЕЕ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В исследовании П.А. Казанцевой, С.А. Сазоновой «Планирование эксперимента по оценке влияния плотности грунта на степень морозного пучения» проведено планирование эксперимента по оценке влияния плотности грунтового массива на степень морозного пучения. Для достижения цели поставлена задача анализа коэффициента уплотнения на относительную деформацию морозного пучения. Представлена методика исследования прочностных, деформационных и пучинистых свойств сезоннопромерзающих грунтов. Сделаны выводы о возможных направлениях дальнейших исследований [4]. В данном исследовании описаны некоторые проблемы, связанные с морозным пучением, в частности, в Пермской области и Перми. Особо отмечено, что морозное пучение сильнее оказывает влияние на объекты дорожного строительства, линейные объекты и на фундаменты малонагруженных (малозэтажных) зданий и сооружений. По мнению автора, использование метода уплотнения грунта в качестве противопучинного мероприятия может оказаться экономически целесообразным по сравнению с применением других мероприятий. Автор ставит задачу создать образцы грунта с заданными коэффициентами уплотнения: 0,92; 0,95; 0,98. Для каждого коэффициента уплотнения предлагается использовать следующие степени водонасыщения $S_r=0,3$ (малой степени водонасыщения); $S_r=0,7$ (средней степени водонасыщения); $S_r=1,0$ (насыщенные водой). Поскольку в данном исследовании планируется использовать грунт с заданными коэффициентами уплотнения, то на основании полученных данных о максимальной плотности и оптимальной влажности будет определена требуемая плотность образца грунта при соответствующих коэффициентах уплотнения.

Результатов данного исследования пока нет, в будущем планируется сравнить полученные в ходе экспериментов данные. То есть, требуемая плотность грунта определяется аналитически.

В нашем исследовании предполагается определять плотность экспериментально на нескольких образцах грунта, а затем, испытав образцы с разной плотностью на морозное пучение, выявить минимальную плотность, при которой грунт переходит из разряда непучинистого в пучинистый. Такой способ позволит получить более точные данные, приближенные к реальным.

В исследовании Чурилина В.С., Базуева В.П., Бадиной М.В. «Некоторые результаты испытания пучинистых свойств глинистых грунтов» приведены результаты испытаний грунтов на морозное пучение для земляного полотна автодорог Западной Сибири. Получены зависимости величины морозного пучения от плотности, нагрузки и количества циклов промораживания для расчёта дорожных одежд на морозоустойчивость. Выполненное исследование свидетельствует о необходимости учёта веса дорожной одежды при расчёте её на морозоустойчивость, что позволит увеличить срок службы нежестких дорожных одежд в районах Западной Сибири [5]. Условия испытаний на морозное пучение по отмеченной методике наиболее близки к условиям, вызывающим зимнее пучение глинистых грунтов земляного полотна автодорог на территории Западной Сибири. Для испытаний был отобран грунт, характерный для Западно-Сибирского региона. В результате обработки данных получены зависимости исследуемых факторов от плотности грунта, нагрузки и циклов промораживания, анализ полученных уравнений и построенной диаграммы по результатам эксперимента показывает, что наибольшее влияние на величину морозного пучения грунта земляного полотна имеет вес дорожной одежды. То есть, применительно к строительству зданий, наипростейшим способом подавления морозного пучения будет использование тяжелых конструкций, не позволяющих грунту подниматься. Однако, такой метод не всегда легкодостижим, зачастую не требуется возведение зданий с тяжелыми конструкциями, поэтому другие методы борьбы с силами морозного пучения скорее всего окажутся экономичнее.

Приведённые результаты свидетельствуют, что при максимальной нагрузке плотность грунта оказывает минимальное влияние на величину морозного пучения. Это подтверждает необходимость учёта веса дорожной одежды при расчёте её на морозоустойчивость.

По нашему мнению, рассмотрение морозного пучения с учетом веса конструкций сооружений экономически обосновано, ведь дополнительная нагрузка уменьшает величину вертикальной деформации, соответственно, требуется меньше мероприятий для ликвидации пучения. Однако, такой метод ставит новые вопросы. При большой массе сооружений деформации пучения значительно уменьшаются, но при сравнительно небольшой массе, например, при малозэтажном

строительстве, деформации скомпенсируются не до конца. Повышаются требования к точности учитывания нагрузок от сооружения, нужно будет закладывать большие коэффициенты запаса прочности для компенсации возможных вариаций массы здания, а также неравномерности загрузки. Кроме того, возможно выдавливание грунта неподалеку от здания с образованием бугров пучения и последующим проседанием грунта, что не окажет большого влияния на сооружение, но приведет к разрушению прилегающих элементов облагораживания территории. В таких случаях предпочтительнее устранить вероятность пучения грунта, не учитывая нагроушение постройкой.

В статье Б.М. Черепанова, Э.Е. Таныгиной «Исследование изменения пучинистых свойств грунтов в зависимости от влажности» отмечено, что при исследовании лессовых просадочных грунтов необходимо рассмотреть такие характеристики, как плотность и влажность грунта, т.к. они являются основополагающими в вопросе морозного пучения. Основная задача исследования – проведение ряда экспериментов для выявления закономерностей влияния влажности грунта на величину вертикальной деформации [3]. Было доказано, что максимальной плотности скелета грунта $1,83 \text{ г/см}^3$ соответствует влажность 18%. При этой влажности проводилось первое испытание на морозное пучение. Второе испытание проводилось при естественной влажности 14,5%, которой соответствует плотность $1,66 \text{ г/см}^3$. При замораживании образца при влажности 18% вертикальная деформация оказалась меньше, чем при влажности 14,5%. При 18% влажности плотность грунта больше плотности при 14,5% влажности, соответственно свободных пор больше в грунте с меньшей плотностью, поскольку они заполнены воздухом и меньшим количеством воды. В процессе замораживания интенсивность подсоса воды через нижний срез снижается при 18% влажности, в то время как при влажности 14,5% – увеличивается. Скорость замораживания грунта в обоих случаях одинакова. Таким образом, грунт при естественной влажности смог вобрать большее количество воды, чем при оптимальной.

Результаты испытаний показали, что исследуемый грунт относится к непучинистому (при влажности 18%), и к слабопучинистому (при влажности 14,5%). Это говорит о том, что природная влажность влияет на разновидность грунта по степени пучинистости.

Так как плотность грунта зависит от изменения влажности грунта, то можно сделать вывод, что при большей плотности грунт становится менее пучинистым. Тогда, в данном исследовании, грунт переходит в разряд непучинистого при плотности $1,83 \text{ г/см}^3$. В магистерской диссертации Моисеевой О.Л. «Исследование изменения пучинистых свойств уплотненных грунтов в зависимости от плотности их скелета» также исследовался тип грунта – суглинок легкий твердый, который переходит в разряд непучинистого при плотности $1,75\text{--}1,80 \text{ г/см}^3$ [2].

При дальнейшем исследовании следует уточнить значение плотности грунта, при которой он переходит в разряд непучинистого и сравнить его со значениями предыдущих исследований, так как грунт будет отобран в том же регионе. После сравнения полученных характеристик грунта можно выявить закономерности их изменения в зависимости от местности, где он был отобран. Таким образом, исследованиями подтверждено, что при большей плотности грунта снижается его пучинистость. При изучении суглинков легких твердых примерная плотность перехода грунта в непучинистый $1,75\text{--}1,85 \text{ г/см}^3$. Не во всех исследованиях проводится корреляционный анализ, который мог бы подтвердить или опровергнуть правдивость полученных результатов. Основная причина неполноты и неточности результатов – недостаточное количество исследуемых образцов.

Цель нашего исследования – определение изменения деформационных характеристик свойств грунтов в зависимости от плотности их скелета. Для этого будет проведен анализ зависимости степени уплотнения грунта на относительную деформацию морозного пучения. В работе Моисеевой О. была поставлена похожая цель, однако при проведении корреляционного анализа были выявлены ошибки аппроксимации, превышающие 10%. Следует отобрать большее количество образцов грунта для проведения экспериментов. Вопрос зависимости величины морозного пучения от плотности скелета грунта недостаточно изучен. Для расширения информации по этой теме требуется проведение испытаний на разных типах грунта, варьируя его влажностью и плотностью, увеличивать точность результатов за счет большего количества экспериментов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для проведения исследований поставлены следующие задачи:

1. Ознакомление с методикой проведения лабораторных исследований свойств грунтов по ГОСТ 28622-2012 «Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости», ГОСТ 5180-84 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик», ГОСТ 23001-90 «Грунты. Методы лабораторного определения плотности и влажности», ГОСТ 12248-2010 «Грунты. Метод лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости»;

2. Отбор грунта нарушенной структуры;

3. Определение изменения плотности грунта в зависимости от приложения нагрузки с помощью прибора стандартного уплотнения, выявление максимальной плотности грунта;

4. Определение характеристик прочности грунта;

5. Определение пучинистых свойств грунта при различных степенях уплотнения.

Образцы грунта будут изготовлены и испытаны в лаборатории кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» АлтГТУ им. И.И. Ползунова по ГОСТ 5180-84 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик». Предполагается определить некоторые характеристики грунта: естественную влажность, естественную плотность, плотность сухого грунта, влажность на границе раскатывания, влажность на границе текучести, коэффициент водонасыщения, пористость, коэффициент пористости, число пластичности, показатель текучести. В результате будет определен тип грунта и его разновидности.

Далее предполагается определить, как изменяется плотность грунта в зависимости от количества ударов груза прибора стандартного уплотнения при оптимальной влажности. Предполагается прямая зависимость между количеством ударов и возрастанием плотности грунта. Далее образцы грунта с различными степенями уплотнения будут испытываться методом одноплоскостного среза для определения характеристик прочности: угла внутреннего трения и удельного сцепления, а также методом компрессионного сжатия для определения модуля деформации.

Уплотненные образцы согласно ГОСТ 28622-2012 «Грунты. Метод лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости» будут подвергаться двум циклам замораживания и оттаивания для измерения степени пучинистости. Для каждого образца будет определена величина относи-

тельной деформации морозного пучения. Требуется найти ту плотность, при которой грунт будет переходить в разряд непучинистого. По окончании эксперимента предполагается снова определить физические характеристики грунта по ГОСТ 5180-84 с целью определения их изменений.

После проведения лабораторных испытаний требуется провести обработку результатов, руководствуясь ГОСТ 20522-96 «Грунты. Методы статической обработки результатов испытаний». На каждом этапе требуется вести журналы испытаний, формы которых приведены в документах, регламентирующих соответствующие испытания.

Проведенный эксперимент позволит выявить зависимость между плотностью грунта и величиной деформации морозного пучения, а так же позволит расширить региональную таблицу прочностных и деформационных характеристик уплотненных лессовых грунтов в зависимости от степени пучинистости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Швецов, Г. И. Лессовые просадочные грунты Западной Сибири, их инженерно-геологические, геоэкологические свойства и их изменение под влиянием техногенных воздействий / Г. И. Швецов, И. В. Носков // Ползуновский альманах. – № 3. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2000.

2. Моисеева, О. Л. Исследование изменения пучинистых свойств уплотненных грунтов в зависимости от плотности их скелета : магистерская диссертация. – Барнаул, 2014.

3. Черепанов, Б. М. Исследование изменения пучинистых свойств грунтов в зависимости от влажности / Б. М. Черепанов, Э. Е. Таныгина // Ползуновский вестник. – № 4-1. – Барнаул, 2013.

4. Казанцева, П. А. Планирование эксперимента по оценке влияния плотности грунта на степень морозного пучения / П. А. Казанцева, С. А. Сазонова // Строительство и архитектура. Опыт и современные технологии. – Выпуск № 4. – Пермь, 2015.

5. Чурилин, В. С. Некоторые результаты испытания пучинистых свойств пучинистых свойств глинистых грунтов / В. С. Чурилин, В. П. Базуев, М. В. Бадина // Вестник ТГАСУ. – № 6. – Томск, 2014.

Кулабухова И.А. – магистрант ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: irina_kulabukhova@mail.ru.

Черепанов Б.М. – к.т.н., доцент кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: bmcher@mail.ru.