

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Кузнецова В.Н., д-р техн. наук, проф.
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ СЖИМАЕМОСТИ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

dissovetsibadi@bk.ru

Мерзлые грунты характеризуются механической неоднородностью вследствие того, что прочность минеральных частиц во много раз выше прочность связей между ними. Цементирующий минеральные частицы лед определяет новые физико-механические свойства мерзлого грунта. Таким образом, физико-механические свойства мерзлых грунтов требуют тщательного исследования в зависимости от территориального залегания грунтов и множества внешних воздействующих факторов.

Ключевые слова: мерзлый грунт, сжимаемость, землеройная машина.

Введение. Применение современных методов и средств строительства позволяет производить работы по промышленному, гражданскому и дорожному строительству практически круглогодично. Свыше 20 % объема земляных работ приходится на зимнее время [1]. С одной стороны, грунт, в том числе и мерзлый, является основанием для наземных сооружений (зданий, дорог и т.д.), на которое передаются нагрузки и собственный вес сооружения. С другой стороны, практически все виды строительства, геолого-разведочные работы, добыча полезных ископаемых зачастую связаны с разработкой мерзлых грунтов. В связи с повышенной прочностью и твердостью мерзлых грунтов во много раз возрастает трудоемкость и стоимость их разработки по сравнению с талыми.

Большая территориальная протяженность России обуславливает актуальность разработки мерзлых грунтов на севере страны еще и в летнее время.

Методология. В общем случае, мерзлые грунты можно разделить на вечномерзлые и грунты сезонного промерзания. Мерзлый грунт является четырехфазной системой, состоящей из твердых минеральных частиц, льда, воды и воздуха [2]. Твёрдые частицы являются обломками горных пород, величиной от сотых и тысячных долей миллиметра до нескольких сантиметров. Свойства твёрдых частиц зависят от вида минерала, а также от морфологических свойств.

Различные по своему состоянию, гранулометрическому и минералогическому составу мерзлые грунты замерзают при различных отрицательных температурах. При всех прочих одинаковых внешних факторах, более дисперсные

содержат большее количество незамерзшей воды при данной отрицательной температуре [3].

Основная часть. К основным физико-механическим свойствам мерзлых грунтов, определяющим технологию производства земляных работ, трудоемкость и стоимость, относят температуру, гранулометрический состав, влажность и плотность. Приведенные свойства влияют на сжимаемость мерзлых грунтов при воздействии приложенных к ним нагрузкам, различным по величине и характеру.

Для определения сжимаемости были проведены испытания различных типов мерзлых грунтов на лабораторном комплексе ЛКСМ-1К (рис. 1).



Рис. 1. Лабораторный комплекс ЛКСМ-1К с образцами мерзлого грунта

Были изготовлены металлические цилиндрические формы, куда помещался глинистый, супесчаный и песчаный (песок средней крупности) грунты [2], влажностью 15 % (табл. 1).

Таблица 1

Содержание песчаных частиц в грунтах

| Грунт | Содержание песчаных частиц определённой зернистости, % | | | |
|-------------------------|--|---------------|---------------|--------------|
| | 0,05...0,1мм | 0,1...0,25 мм | 0,25...0,5 мм | 0,5...1,0 мм |
| Глина | 5,7 | 3 | | |
| Супесь | 14,8 | 33,9 | 26,4 | 2,6 |
| Песок средней крупности | 0,6 | 16,2 | 62,1 | 19,2 |

Металлические формы позволяли избежать бокового расширения грунта при действии нагрузки. Исследовались образцы грунта в интервале температур от -3 до -12 °С с шагом в 1 °С.

Нагружение и деформация исследуемого образца грунта производилась при вертикальном перемещении траверсы лабораторного комплекса (рис. 1). При синхронном вращении ходовых винтов траверсы перемещается по вертикали, что приводит к сжатию образца. Управляя частотой питания электродвигателя, автомат траверсы обеспечивал стабилизацию скорости траверсы при переменной силовой нагрузке от 0 до 14 кН. Фиксировалось значение перемещения траверсы в зависимости от нагружения. Под действием нагрузки грунты сжимались и деформировались. В результате

этого происходил сдвиг и смещение отдельных минеральных частиц, перемещение их в пределах границ формы. Развивалась деформация уплотнения грунтов.

Сжимаемость грунта определялась как отношение фактического объема грунта в форме V_{ϕ} при фиксированных значениях нагрузки к его первоначальному объему V_n :

$$B = \frac{V_{\phi}}{V_n} \tag{1}$$

В зависимости от вида грунта и температуры его промерзания были определены зависимости деформации грунта от напряжения, возникающего в образце (рис. 2–7).

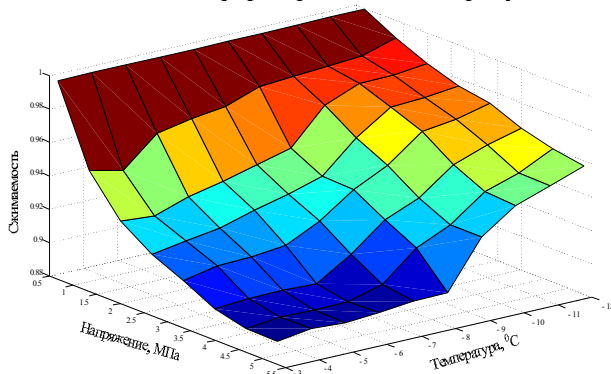


Рис. 2. Зависимость сжимаемости глины от температуры и напряжения

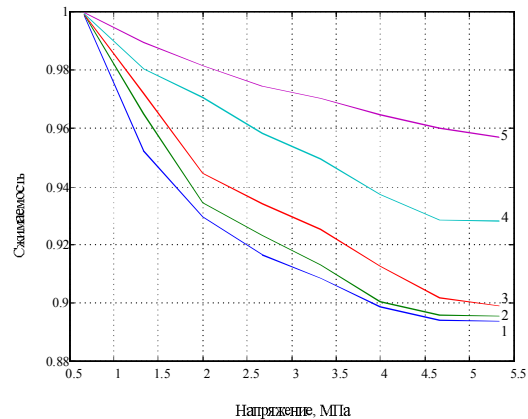


Рис. 3. Кривые сжимаемости глины в зависимости от напряжения (1 – при -3 °С; 2 – при -5 °С; 3 – при -7 °С; 4 – при -9 °С; 5 – при -11 °С)

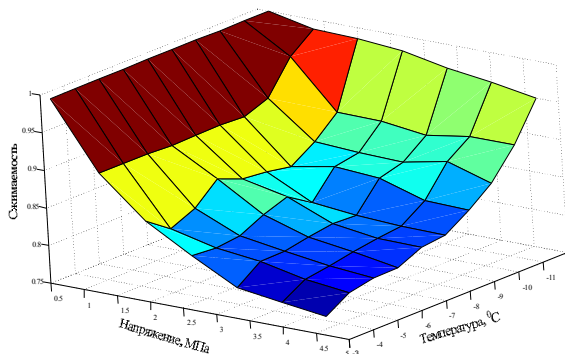


Рис. 4. Зависимость сжимаемости супеси от температуры и напряжения

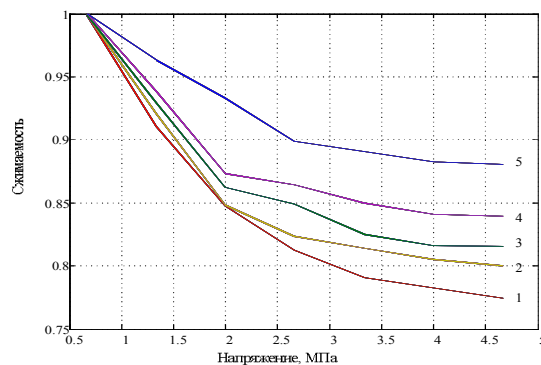


Рис. 5. Кривые сжимаемости супеси в зависимости от напряжения (1 – при -3 °С; 2 – при -5 °С; 3 – при -7 °С; 4 – при -9 °С; 5 – при -11 °С)

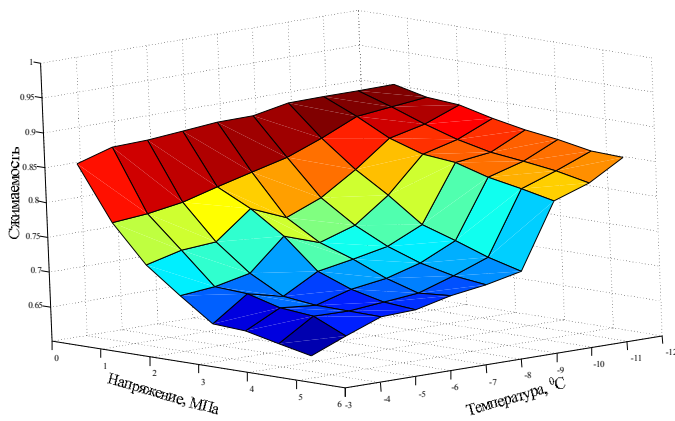


Рис. 6. Зависимость сжимаемости песка от температуры и напряжения

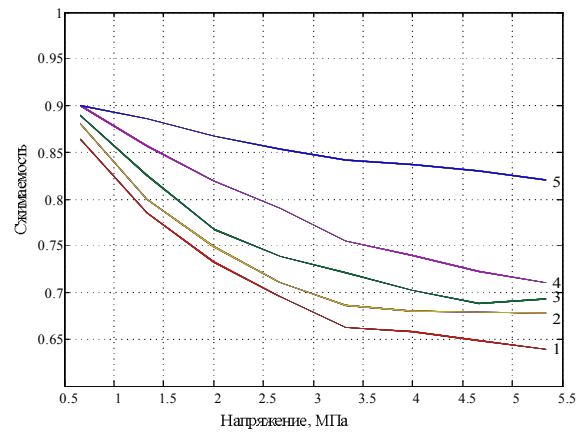


Рис. 7. Кривые сжимаемости песка в зависимости от напряжения (1 – при -3 °С; 2 – при -5 °С; 3 – при -7 °С; 4 – при -9 °С; 5 – при -11 °С)

В результате анализа экспериментальных данных получены аппроксимирующие зависи-

мости сжимаемости грунтов B при различной температуре от напряжения G (табл. 2).

Таблица 2

Зависимости сжимаемости мерзлых грунтов от напряжения

| Грунт | Температура, °С | Аппроксимирующие зависимости |
|--------|-----------------|--|
| Глина | - 3 | $B = -0,0017G^3 + 0,0022G^2 - 0,099G + 1,1$ |
| | - 5 | $B = -0,00095G^3 + 0,014G^2 - 0,078G + 1,044$ |
| | - 7 | $B = -0,00086G^3 + 0,012G^2 - 0,063G + 1,036$ |
| | - 9 | $B = 0,00022G^3 - 0,0001G^2 - 0,022G + 1,012$ |
| | - 11 | $B = -0,000919G^3 + 0,0029G^2 - 0,02G + 1,012$ |
| Супесь | - 3 | $B = -0,0036G^3 + 0,048G^2 - 0,022G + 1,1$ |
| | - 5 | $B = -0,0046G^3 + 0,056G^2 - 0,23G + 1,1$ |
| | - 7 | $B = -0,0032G^3 + 0,042G^2 - 0,19G + 1,1$ |
| | - 9 | $B = -0,0036G^3 + 0,044G^2 - 0,19G + 1,1$ |
| | - 11 | $B = 0,00034G^3 + 0,0062G^2 - 0,071G + 1,05$ |
| Песок | - 3 | $B = -0,0023G^3 + 0,034G^2 - 0,18G + 0,97$ |
| | - 5 | $B = -0,0022G^3 + 0,035G^2 - 0,18G + 0,99$ |
| | - 7 | $B = -0,0017G^3 + 0,027G^2 - 0,15G + 0,98$ |
| | - 9 | $B = 0,00005G^3 + 0,0056G^2 - 0,076G + 0,95$ |
| | - 11 | $B = -0,00029G^3 + 0,0049G^2 - 0,037G + 0,92$ |

Сжимаемость грунтов характеризуется резкой их усадкой на начальном этапе нагружения. Это объясняется нарушением цементационных связей льда, выдавливанием пузырьков воздуха и воды, заполнением пустот минеральными частицами грунта. При снижении температуры интенсивность протекания начального этапа усадки падала для всех приведенных видов грунтов. В дальнейшем, усадка грунтов замедлялась, несмотря на возрастание величины внешней нагрузки. На последнем этапе происходила стабилизация в усадке и сжимаемость грунта практически не изменялась. Для песчаных и супесчаных грунтов деформация уплот-

нения протекала во времени быстрее, чем для глинистых. Так как глинистые грунты характеризуются большим водонасыщением по сравнению с песчаными и супесчаными, то процесс выдавливания воды из них протекает значительно медленнее.

Выводы. Для мерзлых грунтов, состоящих из твердых частиц, кристаллов льда, водных и воздушных включений, наличие объемных необратимых деформаций, то есть необратимая сжимаемость и наличие сдвиговых эффектов, существенны [4–6].

Таким образом, проведенные исследования позволяют обосновать выбор реологической мо-

дели мерзлого грунта, который рассматривается как однокомпонентная пластически сжимаемая среда. Результаты исследований могут быть использованы для уточнения расчетов усилий рыхления, параметров рабочих органов землеройных и землеройно-транспортных машин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Растегаев И.К. Разработка мерзлых грунтов в северном строительстве. Новосибирск: Наука, 1992. 351 с.
2. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов (общая и прикладная). М.: Высшая школа, 1973. 448 с.
3. Далматов Б.И. Механика грунтов. Ч.1. Основы геотехники в строительстве. М.: Изд-во АСВ, 2000. 201 с.
4. Завьялов А.М. Основы теории взаимодействия рабочих органов дорожно-строительных машин со средой: дис... д-ра техн. наук. Омск, 1999. 252 с.
5. Сагомоян А.Я. Проникание. М.: Изд-во МГУ, 1974. 299 с.
6. Кузнецова В.Н. Развитие научных основ взаимодействия контактной поверхности рабочих органов землеройных машин с мерзлыми грунтами: дис... д-ра техн. наук. Омск, 2009. 259 с.

Kuznetsova V.N.

ANALYSIS OF FROZEN SOIL COMPRESSIBILITY

Frozen soils are characterized by mechanical heterogeneity due to the fact that the strength of the mineral particles is much higher than the strength of the connections between them. Cementing mineral particles determines the new ice physical and mechanical properties of frozen soil. Thus, the physical and mechanical properties of frozen soils require careful study, depending on the spatial occurrence of soil and a variety of external factors.

Key words: *frozen soil, compressibility, digger.*

Кузнецова Виктория Николаевна, доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве».

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)

Адрес: Россия, 644080, г. Омск, проспект Мира, д. 5.

E-mail: dissovetsibadi@bk.ru