

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА
Геологический факультет



**МАТЕРИАЛЫ ПЯТОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ ГЕОКРИОЛОГОВ РОССИИ**
МГУ имени М.В. Ломоносова,
14–17 июня 2016 г.

том 3. Части 8–13



УДК (551.34+551.345+551.341):(550.3+550.8)

ББК 26.36

М34

М34 Материалы Пятой конференции геокриологов России. МГУ имени М.В. Ломоносова, 14 - 17 июня 2016 г. Т. 3. Часть 8. Физико-химия и теплофизика мерзлых пород. Часть 9. Механика мерзлых пород. Часть 10. Газ и газогидраты в криолитозоне. Часть 11. Экологические и биологические проблемы криолитозоны. Часть 12. Геокриологическое картографирование. Часть 13. История, методология и образование в геокриологии. — М.: «Университетская книга», 2016. — 342 с.: табл., ил.

ISBN 978-5-91304-400-6

ISBN 978-5-91304-403-7 (Том 3)

Пятая конференция геокриологов России посвящена геотехнике в области распространения многолетнемерзлых пород. Ее целью является обсуждение важнейших проблем геотехники, обусловленных наметившимся в последние годы широким освоением Арктики, а также прогрессивных идей и дальнейших перспектив развития общего и инженерного мерзлотоведения. К числу главных из них относятся новые строительные технологии, надежность оснований инженерных сооружений в условиях меняющегося климата, проблемы экологии, механики, теплофизики и физико-химии мерзлых грунтов, современные методы динамической геокриологии и геофизики и их приложение к инженерно-геокриологическим изысканиям и другие насущные проблемы и задачи геокриологии. Конференция представлена 13-тью научными секциями, возглавляемыми известными учеными страны. В работе конференции принимают участие геокриологи, инженер-геологи, географы, геофизики, экологи, биологи, изыскатели и все заинтересованные специалисты, ученые из России и зарубежных стран.

УДК (551.34+551.345+551.341):(550.3+550.8)

ББК 26.36

Технический редактор и компьютерная верстка О.М. Лисицыной

Формат 69×84/16. Бумага офсетная

Печать цифровая. Тираж 50 экз. Заказ № Т-101-16

Отпечатано в типографии «КДУ» с материалов, предоставленных заказчиками
Тел./факс (495) 939-44-91, 939-57-32

ISBN 978-5-91304-400-6

© Коллектив авторов, 2016

ISBN 978-5-91304-403-7 (Том 3)

© Обложка. Изд-во «КДУ» 2016

-
7. Роман Л.Т. Мерзлые торфяные грунты как основания инженерных сооружений. Новосибирск: Наука, 1987. 193 с.
 8. Сороко Э.М. Структурная гармония систем // Минск: Наука и техника, 1984 –265 с.
 9. Стаков, А. П. Введение в алгоритмическую теорию измерения. М.: Советское Радио, 1977. 288с.

ПРОГНОЗ ДЕФОРМАЦИЙ ОТТАИВАЮЩИХ ГРУНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

П.И. Котов, М.Н. Царапов

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Россия,
e-mail: kotovpi@mail.ru

В статье представлены результаты прогноза деформаций оттаивающих грунтов с использованием параметрических уравнений на основе данных компрессионных испытаний. Получено, что наиболее точные расчеты характерны для грунтов массивной криогенной текстуры. Выявлены особенности применимости параметрических уравнений для прогноза и даны рекомендации по их использованию.

FORECAST OF DEFORMATION THAWING SOILS USING PARAMETRIC EQUATIONS

P.I. Kotov, M.N. Tsarapov

Lomonosov Moscow State University, Russia, e-mail: kotovpi@mail.ru

The article presents the results of deformation forecast thawing soils using parametric equations on the basis of test data compression. It was found that the most accurate deformation estimates describe soil with massive cryogenic texture. The application features of parametric equations obtained for the forecast and we created recommendations for their using.

Введение. При строительстве на многолетнемерзлых грунтах применяют два основных принципа их использования в качестве оснований зданий и сооружений. В последние годы значительно увеличился интерес ко второму принципу. Это связано с интенсивным освоением районов южной криолитозоны и с глобальным изменением температуры воздуха. Использование грунтов в качестве оснований по второму принципу требует прогноза осадок оттаивающих грунтов и определения сроков их консолидации. Достоверность указанного прогноза обусловлена точностью определения развития деформации во времени.

В настоящее время основным методом исследования оттаивающих грунтов являются лабораторные компрессионные испытания, в результате проведения которых определяются две деформационные характеристики (коэффициент оттаивания и сжимаемости). Эти характеристики используются для расчета осадок оттаивающего грунта. Осадка оттаявшего и уплотненного грунта включает две составляющих [1]:

$$S = S_{th} + S_{\sigma,k}, \quad (1)$$

где S_{th} –осадка, обусловленная действием оттаивания и уплотнения от собственного веса; $S_{\sigma,k}$ –осадка, обусловленная дополнительным давлением на грунт от действия веса сооружения.

Составляющая осадки S_{th} определяется:

$$S_{th} = \sum_1^n (A_i + m_i \sigma_{z,g,i}) h_i, \quad (2)$$

где A_i и m_i - соответственно коэффициенты оттаивания (доли единицы) и сжимаемости (МПа^{-1}), полученные экспериментально; $\sigma_{z,g,i}$ – вертикальное напряжение от собственного веса грунта в середине i -го слоя, определяемое расчетом для глубины Z_i от уровня планировочных отметок с учетом взвешивающего действия воды; h_i – толщина i -го слоя оттаивающего грунта, см.

Составляющая осадки $S_{\sigma,k}$ при расчетной схеме основания в виде линейно-деформируемого слоя конечной толщины, разработанной в механике грунтов [88] и принятой в нормативных документах [72], определяется по формуле:

$$S_{\sigma,k} = \sigma_0 b K_h \sum_i^n a_i K_{\mu,i} (K_i - K_{i-1}), \quad (3)$$

где σ_0 – дополнительное вертикальное давление на основание под подошвой фундамента, Мпа; b – ширина подошвы фундамента, см; K_h , $K_{\mu,i}$, K_i и K_{i-1} – безразмерные коэффициенты; l – длина подошвы фундамента, см.

При этом актуальной задачей является прогноз консолидации грунта под различными нагрузками в определенный момент времени, так как это необходимо знать при проектировании сооружений, допускающих оттаивание в процессе строительства или эксплуатации, а формулы (2-3) этого не позволяют сделать. В данной статье рассмотрены расчеты осадок оттаивающих грунтов по различным параметрическим уравнениям с учетом действия нагрузок и времени.

Методика. Для проведения исследования использовались данные компрессионных испытаний грунтов нарушенного и ненарушенного сложения, отобранных в Таз-Енисейской области (север Западной Сибири). Все испытания проводились согласно ГОСТ 12248-2010 [2]. Для выполнения расчетов использовались данные только первых трех ступеней нагружения (из пяти), а прогноз деформаций был проведен на пятую ступень. Таким образом, мы можем сравнить расчетные данные, полученные при использовании параметрических уравнений, и экспериментальные. Для математического описания зависимости протекания деформаций оттаивших грунтов во времени при различных ступенях нагружения использовались следующий подход.

По данным испытаний оттаивающих грунтов устанавливалась зависимость деформаций от времени на каждой ступени нагружения, по которой строилось семейство кривых ползучести по опытным данным на второй и третьей ступеней. Деформация оттаивания исключалась из анализа ввиду значительной осадки и отличия характера деформирования при фазовом переходе. Потом, используя полученные параметры уравнения, проводился прогноз деформации на пятую ступень. Время окончания консолидации грунта на четвертой и пятой ступени принималось 100 часов (в среднем консолидация заканчивалась в течение 48 часов)

Расчеты выполнялись по феноменологическим формулам степенного и логарифмического вида и уравнению деформирования С.С. Вялова, полученного из теории старения [3]. Параметры этих формул находились путем выравнивания кривых ползучести и изохронных кривых. Более подробно методика обработки изложена в работе Вялова С.С., Котова П.И.[3,4]

Степенное уравнение имеет вид:

$$\varepsilon = \left(\frac{\sigma}{A_n} \right)^{1/m} \left(\frac{t}{T} \right)^\beta \quad (4)$$

где ε – относительная деформация, д.е.; t – время, мин; σ – нагрузка, МПа, A_n, m, T, β – опытные параметры.

Логарифмическое уравнение принято в следующем виде:

$$\varepsilon = \left(\frac{\sigma * \delta}{A_n} \right)^{1/m} \ln \left(\frac{t+T}{T} \right) \quad (5)$$

где ε - относительная деформация, д.е.; t - время, мин; δ - нагрузка, МПа; A_n, m, T - опытные параметры.

Уравнение С.С. Вялова, полученное на основе теории старения, имеет вид

$$\varepsilon = \left(\frac{\sigma}{\xi} \cdot t^\alpha \right)^{1/m} \quad (6)$$

где ε - относительная деформация, д.е.; t - время, мин; σ - нагрузка, МПа; ξ , m , α - опытные параметры.

Используя методику обработки данных, получены параметры уравнения (4-6) для суглинка ($W=30\%$, $p=1,86$ г/см 3) и построен график зависимости относительной осадки от времени по экспериментальным данным и по данным расчета (рис.1).

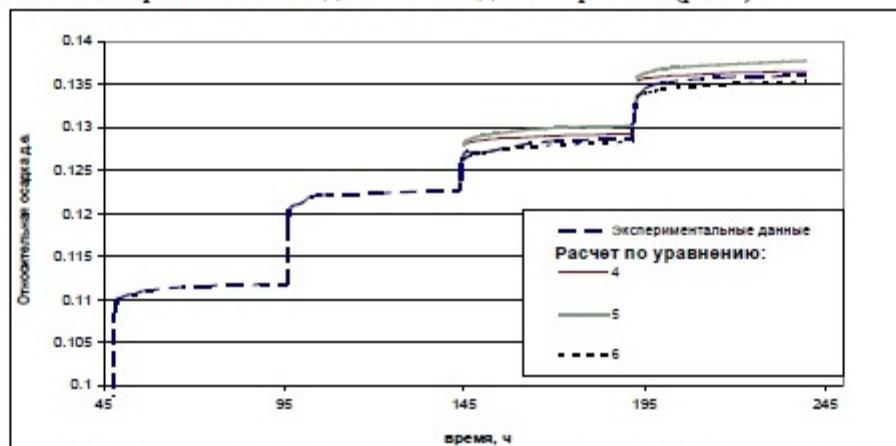


Рис.1. График зависимости относительной осадки от времени суглинка по экспериментальным данным и по данным расчета

Также был проведен расчет конечных осадок на пятой ступени, используя стандартную методику. Для этого по данным трех ступеней нагружения строился график зависимости стабилизированной осадки от напряжения и определялись деформационные характеристики. Используя эти характеристики, проводился прогноз деформации на пятой ступени нагружения.

Как показали исследования осадки оттаивающих грунтов в значительной степени зависят от криогенной текстуры [5-8], поэтому проведена обработка данных испытаний грунтов нарушенного сложения (массивной криогенной текстуры) и ненарушенного (с различной криогенной текстурой)

Результаты. С использованием описанной выше методики обработаны данные компрессионных испытаний грунтов нарушенного сложения, отобранных в Таз-Енисейской области. Все грунты характеризовались массивной криогенной текстурой и представлены песком, супесью и суглинком с различными значениями влажности (около 40 опытов). После этого была рассчитана относительная погрешность определения деформации на пятой ступени при использовании данного метода расчета для всех видов грунтов (рис. 2). Относительная погрешность рассчитывалась как отношение разности экспериментальной характеристики и расчетной к экспериментальной.

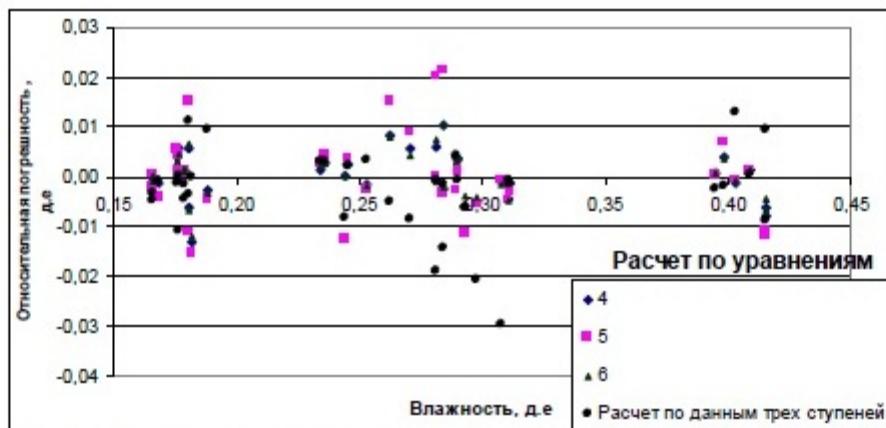


Рис. 2. Зависимость относительной погрешности определения деформации от влажности грунтов нарушенного сложения

Получено, что относительная погрешность определения деформации всех грунтов вне зависимости от использованного уравнения не превышает 3 %. Анализ результатов показал, что при использовании логарифмического уравнения данные осадки при различных значениях времени значительно отличаются от экспериментальных (рис. 3).

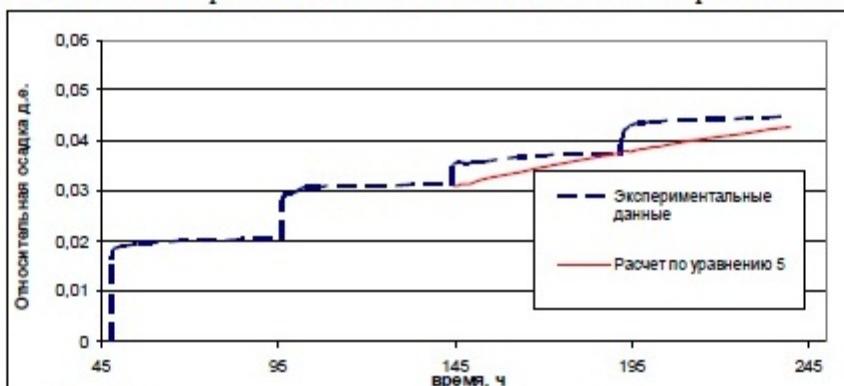


Рис.3. График зависимости относительной осадки от времени по экспериментальным данным и по данным расчета (на примере супеси с $W=28\%$, $\rho=1,89 \text{ г}/\text{см}^3$)

Выявлено, что при использовании уравнения (4) и (6) относительная погрешность определения деформаций вне зависимости от вида грунта минимальна, но в уравнении (6) меньше параметров, что делает эту формулу более простой для расчетов, поэтому она использовалась для расчетов деформаций грунтов нарушенного сложения, отобранных в Таз-Енисейской области, характеризующихся различными значениями влажности и криогенными текстурами.

Проведенные исследования показали, что из 96 опытов 54 испытания удовлетворяют необходимым условиям применения уравнения (6) – параллельность изохронных кривых в логарифмических координатах и уменьшение общей деформации на каждой ступени. Так, при влажности глинистых грунтов выше 35% только для 46% опытов выполняется условие применимости уравнения, а при влажности меньше 35% – для 78%. Таким образом, расчеты проведены для 10 опытов с песком, 16 - с супесью, 28 - с суглинком. Кроме этого рассмотрены данные прогноза конечных осадок на пятой

ступени с использованием только трех ступеней нагружения для оценки выбора более точного подхода.

После обработки всех опытов получено, что расчетные значения деформации на пятой ступени вне зависимости от вида грунта отличались от экспериментальных не более, чем на 16 % для суглинка и 7 % для супеси и песка (рис. 3). При этом значения деформаций, рассчитанных методом аппроксимации по данным трех ступеней нагружения, отличались значительно, некоторые в 2 раза (рис. 3). Как видно из рисунков, при расчете с помощью формул были получены большей частью заниженные значения деформации для каждого вида грунта.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование параметрических уравнений имеет ограниченное применение. Так, для грунтов нарушенного сложения из-за их достаточно однородного строения и как следствие равномерного деформирования этот подход с использованием параметрических уравнений дал погрешность, не превышающую 3%. При этом значения деформаций, рассчитанных по логарифмическому уравнению могут значительно отличаться от экспериментальных. А для прогноза деформаций грунтов ненарушенного сложения Таз-Енисейской области использование уравнения (6) имеет также ограниченное применение. Это связано с различным характером деформирования грунтов, имеющих в мерзлом состоянии различные криогенные текстуры и строение. Так, при влажности глинистых грунтов выше 35% только для 46% выполняется условие применимости уравнения. Но если все условия выполняются, то относительная погрешность не превышает 16 % для суглинка и 7 % для супеси и песка

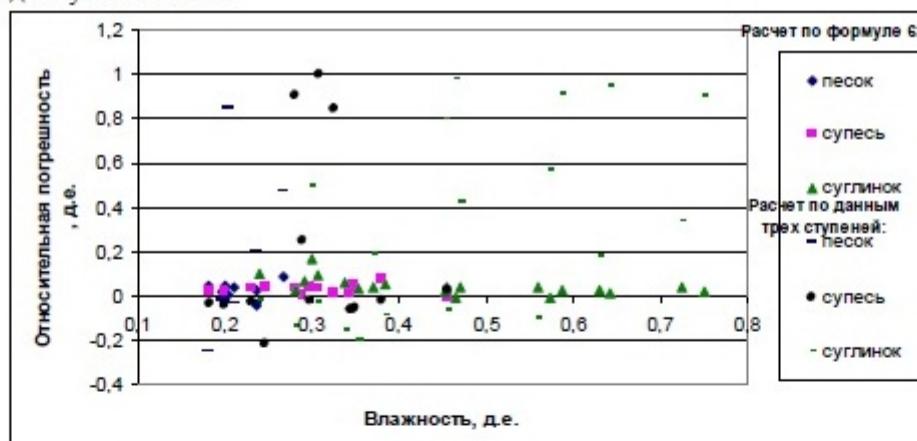


Рис.3. Зависимость относительной погрешности определения конечной деформации от влажности грунтов ненарушенного сложения Таз-Енисейской области

Выводы. На основе выполненных экспериментальных исследований и проведенных расчетов можно сделать следующие выводы:

1. Для всех грунтов расчет по данным только трех ступеней нагружения приводит к наибольшей погрешности определения деформаций, поэтому необходимо выполнение прогноза деформаций на четвертой и пятой ступени для получения более достоверных результатов.
2. Использование параметрического уравнения (6) позволяет достаточно точно (относительная погрешность расчета деформации не превышает 16 % для суглинка и 7 % для супеси и песка) рассчитать деформацию с учетом действия нагрузок и времени, чем применение предложенного в СП 25.13330.2012 метода. Но при этом прогноз с помощью параметрического уравнения имеет ограничения по применению, поэтому

этот метод не может применяться повсеместно.

Таким образом, для некоторых образцов возможно использовать параметрические уравнения для прогноза деформаций. Но при этом необходимо дальнейшее усовершенствование уравнений и проверки их применимости на данных полевых испытаний для разработки теории их повсеместного использования.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00227 мол_а

Литература

1. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. М: ФЦС, 2012. - 52с.
2. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М: Стандартинформ, 2011. - 109 с.
3. Вялов С. С. Реологические основы механики мерзлых грунтов М: Высшая школа, 1978. 447 с.
4. Котов П.И. Компрессионное деформирование прибрежно-морских мерзлых грунтов при оттаивании (европейский север России, Западная Сибирь). М: автореферат канд. дис., 2014, 23 с.
5. Гречишев, С.Е., Чистотинов Л.В., Шур Ю.Л. Основы моделирования криогенных физико-геологических процессов. М: Наука, 1984. -230 с.
6. Ершов, Э.Д. Деформации и напряжения в промерзающих и оттаивающих породах. М: Изд-во МГУ, 1985. -167 с.
7. Ершов, Э.Д. Благоперенос и криогенные текстуры в дисперсных породах. М: Изд-во МГУ, 1979. -213с.
8. Цытович, Н.А. Механика мерзлых грунтов. М: Высшая школа, 1973. - 446 с.
9. Andersland, O.B., Ladanyi B Frozen Ground Engineering. Published by American Society of Civil Engineers and John Wiley & Sons, 2004 – 363 p

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ, СОСТАВА, ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СОПРОТИВЛЕНИЯ СДВИГУ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ.

А.Н.Малеева

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, геологический
факультет, Москва, Россия; malenish@yandex.ru

На основе комплексных исследований температурных деформаций мерзлых грунтов и испытаний на быстрый сдвиг была получена взаимосвязь температурных деформаций мерзлых грунтов и условно-мгновенной прочности на сдвиг. Испытания проводились в одинаковых температурных условиях для образцов с идентичными свойствами, характеристики определялись для трех видов грунтов: песка, супеси и суглинка. Показаны взаимосвязанные закономерности зависимости температурных деформаций и сопротивления сдвигу от степени водонасыщения, которая обуславливает как содержание защемленных газов, так и цементацию частиц грунта льдом.

COMPLEX RESEARCH THERMAL DEFORMATIONS, COMPOSITION, PHYSICAL PROPERTIES AND SHEAR STRENGTH OF FROZEN SOILS.

Maleeva A.N.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, malenish@yandex.ru

On the basis of comprehensive studies of temperature deformation of frozen soils and test the rapid shift has been received the relationship of temperature deformation of frozen soils and conditionally instantaneous shear strength. The tests were conducted under the same conditions of temperature for samples with identical properties, characteristics were determined for the three types