

Транспортные сооружения / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2026, Том 13, № 2 / 2026, Vol. 13, Iss. 2 <https://t-s.today/issue-2-2026.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/03SATS226.pdf>

DOI: 10.15862/03SATS226 (<https://doi.org/10.15862/03SATS226>)

2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Вальцева, Т. Ю. Определение параметров численного моделирования для создания модели напряженно-деформированного состояния грунтового массива на деградирующих многолетнемерзлых грунтах / Т. Ю. Вальцева, С. А. Кудрявцев, В. И. Бахарев // Транспортные сооружения. — 2026. — Т. 13. — № 2. — URL: <https://t-s.today/PDF/03SATS226.pdf>. DOI: 10.15862/03SATS226.

For citation:

Valtseva T.Yu., Kudryavtsev S.A., Bakharev V.I. Determination of numerical modeling parameters for creating a model of the stress-strain state of a soil mass on degraded permafrost soils. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2026;13(2): 03SATS226. Available at: <https://t-s.today/PDF/03SATS226.pdf>. DOI: 10.15862/03SATS226. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 624.139.7

Вальцева Татьяна Юрьевна

ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Хабаровск, Россия
Доцент кафедры «Мосты, тоннели и подземные сооружения»

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: vtu25@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2566-1924>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=912351

Кудрявцев Сергей Анатольевич

ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Хабаровск, Россия
Профессор, заведующий кафедрой «Мосты, тоннели и подземные сооружения»

Доктор технических наук, член-корреспондент академии архитектуры и строительных наук

E-mail: olgakudr56@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=614674

WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAA-6935-2020>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=8257641200>

Бахарев Владимир Иванович

ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Хабаровск, Россия
Ведущий инженер кафедры «Мосты, тоннели и подземные сооружения»

E-mail: b-vi@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7379-2882>

Определение параметров численного моделирования для создания модели напряженно-деформированного состояния грунтового массива на деградирующих многолетнемерзлых грунтах

Аннотация. В настоящее время при проектировании сооружений в сложных инженерно-геологических условиях неотъемлемой частью является численное моделирование с помощью метода конечных элементов. При численном моделировании напряженно-деформированного состояния грунтового массива, имеющего в основании деградирующие многолетнемерзлые грунты, необходим совместный учет характеристик как талых, так и мерзлых грунтов.

Корректность использования различных программ для зависит от не только от достоверности и количества характеристик грунтов, применяемых в расчетных моделях, но и от адекватности самой модели, которая должна учитывать уникальные особенности грунтов. К грунтам, которым необходимо особое внимание, относятся деградирующие многолетнемерзлые грунты, поскольку их характеристике меняются не только при воздействии нагрузок, но и при их оттаивании.

В данной статье рассматривается определение физико-механических характеристик образца талого и мерзлого грунта на сдвиговых и компрессионных приборах с целью последующего создания численной модели для учета процессов деградации многолетнемерзлого оттаивающего основания железнодорожных насыпей.

Использование упругопластической расчетной модели обусловлено максимально достоверным описанием процессов, возникающих в конструкции земляного полотна железных дорог и его деградирующем многолетнемерзлом основании. Для последующей разработки модели напряженно-деформированного состояния массива грунта, необходимо выявить исходные параметры грунтов в талом и мерзлом состоянии.

Ключевые слова: сложные инженерно-геологические условия; мерзлые грунты; фундаменты; деградация многолетнемерзлых грунтов; талые грунты; мерзлые грунты; лабораторные испытания грунтов

Введение

Проектирование, строительство и реконструкция железнодорожных насыпей на многолетнемерзлых деградирующих основаниях представляет собой сложную задачу, требующую глубоких знаний процесса промерзания и оттаивания грунтов, протекающего в неоднородном основании [1; 2]. Состояние грунтовых оснований в значительной степени определяет трудоемкость, долговечность и эксплуатационную надежность железнодорожных магистралей [3].

Данная проблема стала особенно актуальной в условиях динамичного развития железных дорог, когда все чаще приходится принимать решения по освоению территорий со сложными инженерно-геологическими условиями, где в основании сооружений расположены просадочные, набухающие, пучинистые, засоленные и многолетнемерзлые деградирующие грунты [4]. Отсутствие должного учета этих факторов на этапе проектных работ может привести к деформациям и разрушениям сооружений, снижению несущей способности оснований и фундаментов, а в наиболее критических случаях отсутствие учета перечисленных факторов может привести к авариям и катастрофам.

Принципиально важным является комплексный подход к выбору методик проектирования, строительства и реконструкции объектов, основанных на всестороннем изучении и анализе инженерно-геологических процессов и явлений, а также различных методов строительства [5].

Процесс промерзания и оттаивания грунта, протекающий в неоднородном основании, является сложным с точки зрения термодинамики. Определение деформаций и напряжений, возникающих в результате этих процессов, — одна из наиболее сложных проблем в области геомеханики. Главная трудность заключается в том, что при замерзании и оттаивании состояние грунта и его теплофизические свойства изменяются, что приводит к нелинейности задачи.

Особое место в комплексе мероприятий занимает геотехническое моделирование, которое дает возможность с высокой степенью достоверности прогнозировать поведение оснований и фундаментов под нагрузкой, оценивать риски и оптимизировать проектные

решения [6]. В связи с этим необходима разработка методики геотехнического моделирования напряженно-деформированного состояния железнодорожных насыпей, расположенных на многолетнемерзлых деградирующих грунтах.

Определение параметров численного моделирования талого грунта

Для определения физико-механических характеристик грунта с целью последующего обоснования параметров моделирования [7] проведена серия лабораторных испытаний мерзлого и талого образцов грунта [8].

Подготовка образцов к испытанию выполняется в соответствии с ГОСТ 12248.3-2020 «Грунты. Определение характеристик прочности и деформируемости методом трехосного сжатия», а также в соответствии с ГОСТ 30416-2020 «Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения» [9].

Для определения влажности бралась проба грунта, помещалась в предварительно взвешенную бюксу, плотно закрывалась крышкой и взвешивалась. Затем бюкса открывалась, помещалась в сушильный шкаф и высушивалась до постоянной массы при температуре 103°C в течении 5 часов. Далее вычислялась влажность грунта.

Влажность грунта на границе текучести определялась методом балансирующего конуса. В грунтовую пасту под действием собственного веса погружается балансирующий конус на глубину 1 см за 5 секунд. После достижения заданного условия грунтовая паста подвергалась определению влажности способом, аналогичным определению естественной влажности грунта. Затем вычислялась влажность грунта на границе текучести.

Влажность грунта на границе раскатывания определялась раскатыванием образца грунта по плоской поверхности до образования жгута диаметром 3 мм. После того, как жгут начал рассыпаться на отдельные элементы длиной до 1 см, кусочки собирали в бюксы и определялась влажность на границе раскатывания аналогично определению естественной влажности грунта. Далее производилось вычисление влажности грунта на границе раскатывания.

Плотность грунта определялась методом режущего кольца. Предварительно режущее металлическое кольцо взвешивается и определяется его объем. Далее кольцо погружается в монолит грунта и грунт вне кольца обрезаются. Далее взвешивается кольцо с грунтом и производится вычисление плотности грунта.

Плотность сухого грунта рассчитывалась исходя из уже известной влажности и плотности грунта.

Плотность частиц грунта определялась пикнометрическим методом. В пикнометр наливалась дистиллированная вода, производилось взвешивание. Затем в пикнометр выпался подготовленный грунт и проводилось повторное взвешивание. Полученная смесь кипятилась на песчаной бане в течении 1 часа. Далее охлаждают и доливают в пикнометр дистиллированную воду до мерной черты взвешивают и рассчитывают плотность частиц грунта.

По итогам определения физических характеристик грунта, а также его зернового состава грунт был классифицирован, как суглинок легкий полутвердый.

Физические характеристики и зерновой состав, определенные на основании лабораторных испытаний [10], представлены в таблицах 1, 2.

Подготовленный образец грунта помещается в устройство компрессионного сжатия, представленного на рисунке 1 с заданным вертикальным давлением 50, 100, 200, 300 и 400 МПа и проводятся компрессионные испытания грунта.

Таблица 1

Физические характеристики грунта

W_c	W_L	W_P	I_P	I_L	ρ	ρ_d	ρ_s	N, д.е.	e, д.е.	S_r , д.е.
0,14	0,21	0,13	0,08	0,13	2,11	1,84	2,67	0,31	0,45	0,86

Разработано авторами

Таблица 2

Зерновой состав грунта

> 10	10–5	5–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	0,1–0,05	0,05–0,01	0,01–0,002	< 0,002
0	0	0	0	0,2	28,0	23,5	43,5	0	0	4,9

Разработано авторами



Рисунок 1. Устройство компрессионного сжатия (фото автора Вальцевой Т. Ю.)

По итогам результатов лабораторных исследований суглинка получен протокол испытания талого грунта методом компрессионного сжатия. Данные о компрессионном испытании образца талого грунта, взятые из протокола испытания, представлены в таблице 3.

Таблица 3

Данные компрессионных испытаний талого грунта

Данные об испытании	
Схема испытания	Компрессионное сжатие
Начало испытания	28.01.2026 17:00:24
Конец испытания	30.01.2026 5:26603
Прибор	КП-1

Разработано авторами

Данные компрессионного испытания образца талого грунта, взятые из протокола испытания грунта, представлены в таблице 4.

Таблица 4

Данные об образце грунта

Высота образца, мм	25,0
Диаметр образца, мм	87,0
Площадь сечения, мм ²	5945
Объем образца, мм ³	148 617
От: 28.01.2026 16:53641	

Разработано авторами

Результаты компрессионных испытаний образца талого грунта, взятые из протокола испытания, представлены в таблице 5.

Таблица 5

Результаты компрессионных испытаний образца талого грунта

Дата/Время	σ , МПа	Δh_i , мм	ϵ
26.01.28 17:00:24	0,0000	0,000	0,0000
26.01.28 23:02:50	0,0498	0,040	0,0016
26.01.28 05:47:34	0,0998	0,120	0,0048
26.01.28 13:19:08	0,1995	0,410	0,0164
26.01.28 21:18:58	0,2996	0,700	0,0280
26.01.28 05:26:03	0,3997	0,900	0,036

Разработано авторами

По данным результатов испытаний был вычислен модуль деформации талого грунта [11], результаты расчета представлены в таблице 6.

Таблица 6

Расчет модуля деформации образца талого грунта

σ , МПа	Δh_i , мм	ϵ	E_0 , МПа
0	0	0	31,125
0,0498	0,4	0,0016	20,792
0,0998	0,12	0,0048	12,165
0,1995	0,41	0,0164	10,700
0,2996	0,7	0,028	11,103
0,3997	0,9	0,036	

Разработано авторами

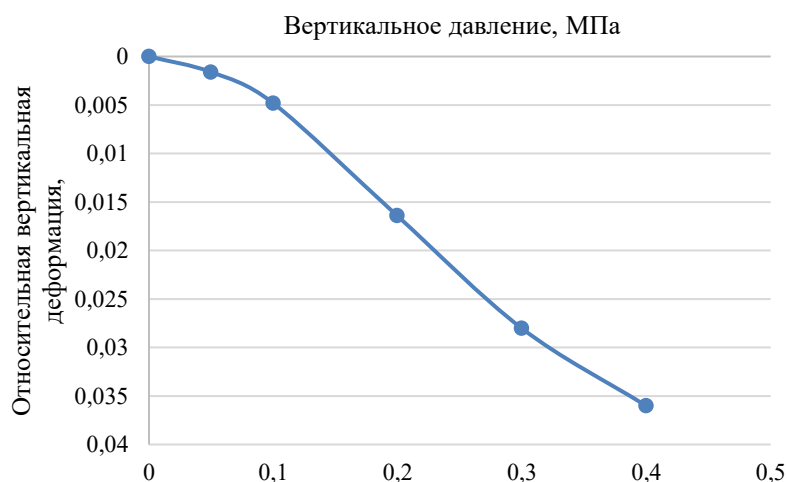


Рисунок 2. График зависимости относительной вертикальной деформации от вертикального давления образца талого грунта (разработано авторами)

Согласно результатам испытаний получен график зависимости относительной вертикальной деформации от вертикального давления образца талого грунта (рис. 2) [12], а также график зависимости вертикальной деформации от вертикального давления (рис. 3).

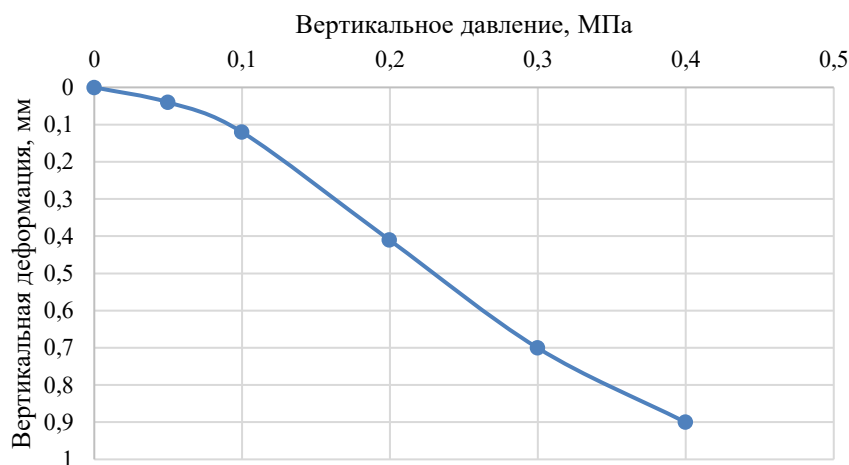


Рисунок 3. График зависимости вертикальной деформации от вертикального давления образца талого грунта (разработано авторами)

Определение сопротивления грунта срезу определялось согласно ГОСТ 12248.1-2020 «Грунты. Определение характеристик прочности методом одноплоскостного среза».

Для определения сопротивления грунта срезу подготовлены три образца грунта нарушенного сложения диаметром 71 мм и высотой 25 мм. Было проведено предварительное уплотнение грунта непосредственно в рабочем кольце. Далее образцы взвешивались для определения плотности грунта.



Рисунок 4. Устройство одноплоскостного среза (фото автора Вальцевой Т. Ю.)

На устройстве одноплоскостного среза методом были проведены консолидированно-дренированные испытания трех образцов талого грунта с разными значениями вертикального давления, равными 100 МПа, 200 МПа и 300 МПа. На рисунке 4 представлено устройство одноплоскостного среза.

Получен протокол испытания талого грунта методом одноплоскостного среза. На рисунке 5 представлен образец грунта после проведения испытания.



Рисунок 5. Образец грунта после проведения испытания (фото автора Вальцевой Т. Ю.)

Получен протокол испытания талого грунта методом одноплоскостного среза.

Результаты испытаний с вертикальным давлением 100 кПа представлены в таблице 7.

Таблица 7

Результаты испытаний с вертикальным давлением 100 кПа

Дата/время	Вертикальное напряжение σ , МПа	Касательное напряжение τ , МПа	Деформация, ϵ мм	Относительная деформация ϵ
26.01.29 09:21:12	0,000	0,000	0,000	0,000
26.01.29 09:53:26	0,100	0,005	0,050	0,001
26.01.29 09:54:58	0,100	0,010	0,140	0,002
26.01.29 09:56:31	0,100	0,015	0,220	0,004
26.01.29 09:58:44	0,100	0,020	0,320	0,005
26.01.29 10:01:59	0,100	0,025	0,450	0,006
26.01.29 10:06:35	0,100	0,030	0,640	0,009
26.01.29 10:12:34	0,100	0,035	0,930	0,013
26.01.29 10:20:24	0,100	0,040	1,390	0,019
26.01.29 10:32:11	0,100	0,045	2,100	0,029
26.01.29 10:45:09	0,100	0,050	2,880	0,040
26.01.29 11:01:11	0,100	0,055	3,850	0,054
26.01.29 11:17:23	0,100	0,060	4,780	0,067
26.01.29 11:39:24	0,100	0,065	5,810	0,081
26.01.29 11:53:03	0,100	0,070	6,680	0,093
26.01.29 11:55:43	0,100	0,075	7,010	0,098

Разработано авторами

Результаты испытаний с вертикальным давлением 200 кПа представлены в таблице 8.

Таблица 8

Результаты испытаний с вертикальным давлением 200 кПа

Дата/время	Вертикальное напряжение σ , МПа	Касательное напряжение τ , МПа	Деформация, ϵ мм	Относительная деформация ϵ
26.01.29 09:24:37	0,000	0,000	0,000	0,000
26.01.29 09:57:01	0,200	0,010	0,030	0,000
26.01.29 09:58:33	0,200	0,020	0,080	0,001
26.01.29 10:00:46	0,200	0,031	0,240	0,003
26.01.29 10:04:01	0,200	0,041	0,450	0,006
26.01.29 10:07:46	0,200	0,050	0,710	0,010
26.01.29 10:12:32	0,200	0,060	1,120	0,016
26.01.29 10:18:20	0,200	0,070	1,730	0,024
26.01.29 10:26:11	0,200	0,080	2,690	0,038
26.01.29 10:36:25	0,200	0,090	4,140	0,058
26.01.29 10:48:31	0,200	0,100	5,590	0,078
26.01.29 10:58:25	0,200	0,110	6,040	0,094
26.01.29 10:58:49	0,200	0,120	7,040	0,098

Разработано авторами

Таблица 9

Результаты испытаний с вертикальным давлением 300 кПа

Дата/время	Вертикальное напряжение σ , МПа	Касательное напряжение τ , МПа	Деформация, ϵ мм	Относительная деформация ϵ
26.01.29 13:32:01	0,000	0,000	0,000	0,000
26.01.29 14:04:45	0,300	0,015	0,050	0,001
26.01.29 14:07:18	0,300	0,030	0,150	0,002
26.01.29 14:10:13	0,300	0,045	0,270	0,004
26.01.29 14:13:38	0,300	0,060	0,430	0,006
26.01.29 14:18:35	0,300	0,075	0,660	0,009
26.01.29 14:24:33	0,300	0,090	0,980	0,014
26.01.29 14:32:34	0,300	0,105	1,530	0,021
26.01.29 14:42:59	0,300	0,120	2,470	0,034
26.01.29 14:53:42	0,300	0,135	3,650	0,051
26.01.29 15:11:38	0,300	0,150	5,430	0,076
26.01.29 15:24:05	0,300	0,165	6,970	0,097

Разработано авторами

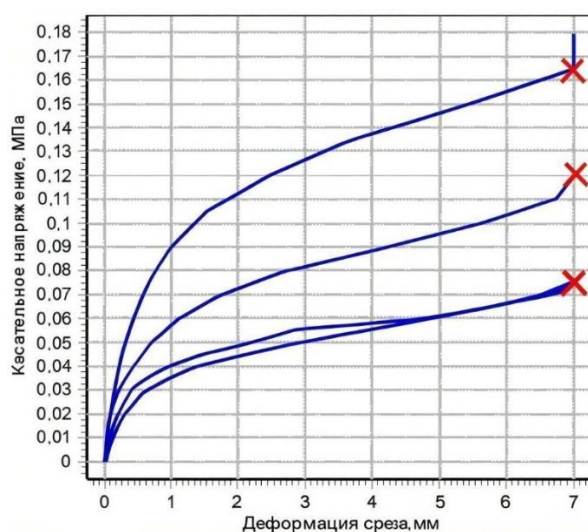


Рисунок 6. График зависимости деформаций от касательного напряжения образцов талого грунта (разработано авторами)

Результаты испытаний с вертикальным давлением 300 кПа представлены в таблице 9

На рисунке 6 представлен график зависимости касательного напряжения от деформации образцов талого грунта, взятый из протокола испытания.

На 7 ступени произошло разрушение образцов грунта.

На рисунке 7 представлен график зависимости касательных напряжений от нормальных напряжений образцов талого грунта, взятый из протокола испытания.

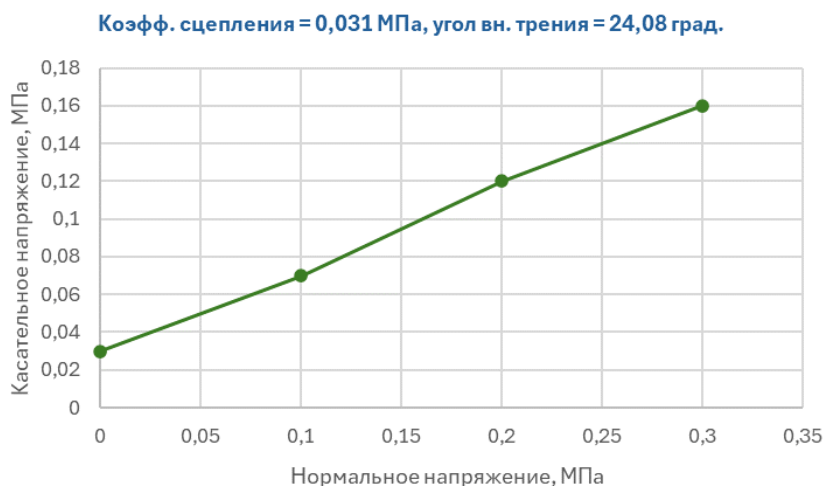


Рисунок 7. График зависимости касательных напряжений от нормальных напряжений образцов талого грунта (разработано авторами)

Согласно протоколу испытаний образцов талого грунта, получено значение угла внутреннего трения $24,08^\circ$ и удельное сцепление 0,031 МПа.

Определение параметров численного моделирования мерзлого грунта

Определение характеристик деформируемости мерзлых грунтов проведено в соответствии с ГОСТ 12248.10-2020 «Грунты. Определение характеристик деформируемости мерзлых грунтов методом компрессионного сжатия» [13].

Все операции по изготовлению, подготовке и испытанию мерзлого грунта на определение характеристик деформируемости проводилось в холодильной камере (рис. 8).

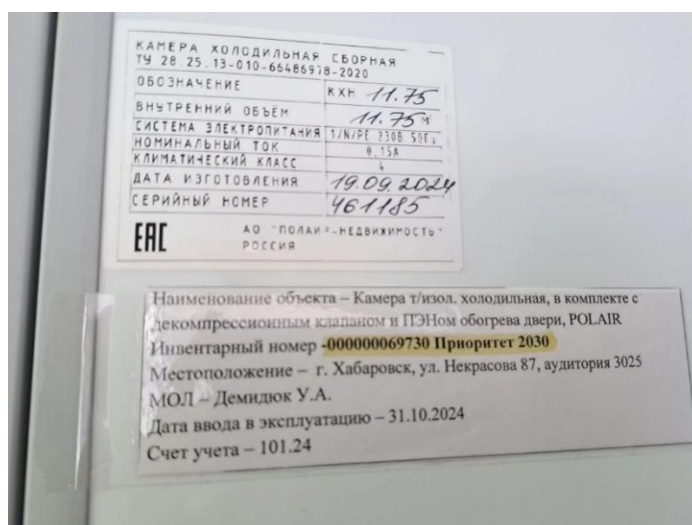


Рисунок 8. Холодильная камера (фото автора Вальцевой Т. Ю.)

Непосредственно перед испытаниями образцы грунта выдерживали в течении суток в климатической камере (рис. 9) при температуре -3°C .



Рисунок 9. Камера климатическая ТХВ-400 (фото автора Вальцевой Т. Ю.)

Испытания мерзлого грунта проводились на приборах компрессионного сжатия, расположенных в холодильной камере, представленных на рисунке 10.



Рисунок 10. Приборы компрессионного сжатия (фото автора Вальцевой Т. Ю.)

Результаты компрессионного испытания мерзлого образца грунта, проведенных при температуре $-2,9^{\circ}\text{C}$ [14], взятые из протокола испытания, представлены в таблице 10.

Таблица 10

Результаты испытаний мерзлого образца грунта

Вертикальная нагрузка, МПа	Вертикальная деформация, мм	Относительная вертикальная деформация, д.е.	Температура испытания, град
0,05	-0,02	0,00	-2,90
0,10	-0,01	0,00	-2,90
0,20	0,01	0,00	-2,90
0,30	0,04	0,00	-2,90
0,40	0,08	0,00	-2,90

Разработано авторами

По данным результатов испытаний была вычислена относительная вертикальная деформация мерзлого образца грунта, а также модуль деформации. Результаты расчета представлены в таблице 11.

Таблица 11

Расчет относительной вертикальной деформации и модуля деформации мерзлого образца грунта

σ , МПа	Δh_i , мм	ε , д.е.	E_0 , МПа
0	0	0	0,000
0,05	0	0	0,000
0,1	0	0	0,000
0,2	0,01	0,0004	500,000
0,3	0,04	0,0016	187,500
0,4	0,08	0,0032	125,500

Разработано авторами

Согласно результатам испытаний получены график зависимости относительной вертикальной деформации от вертикального давления и график зависимости вертикальной деформации от вертикального давления мерзлого образца грунта, представленные на рисунках 11 и 12.

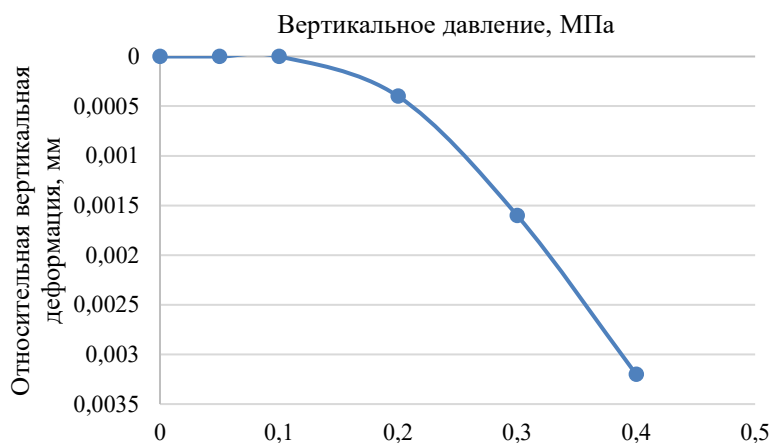


Рисунок 11. График зависимости относительной вертикальной деформации от вертикального давления (разработано авторами)

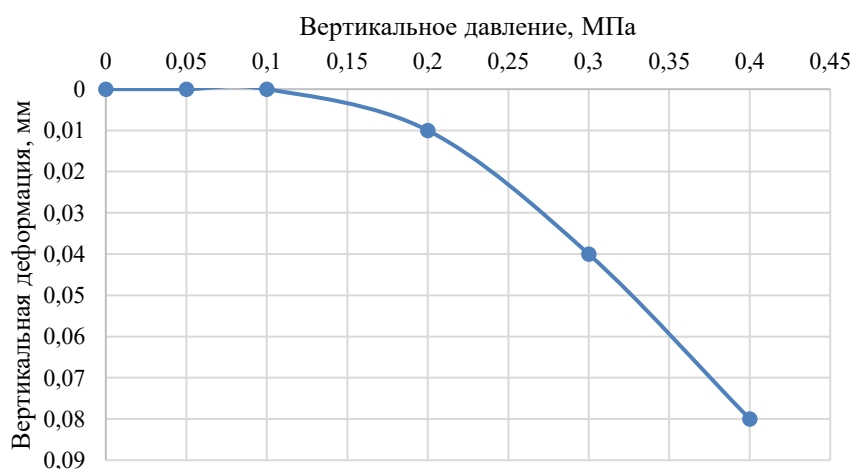


Рисунок 12. График зависимости вертикальной деформации от вертикального давления (разработано авторами)

Определение характеристик деформируемости мерзлых грунтов проведено в соответствии с ГОСТ 12248.10-2020 «Грунты. Определение характеристик прочности мерзлых грунтов методом среза по поверхности смерзания».

Подготовленный образец грунта нарушенного сложения в форме для промораживания помещался в климатическую камеру на сутки при температуре -10°C . Далее, перед установкой в устройство одноплоскостного среза, образец грунта в течении суток находился в холодильной камере. Затем образец грунта помещался в устройство одноплоскостного среза, находящееся в холодильной камере, и проводилось испытание мерзлого грунта (рис. 13).



Рисунок 13. Устройство одноплоскостного среза (фото автора Вальцевой Т. Ю.)

Получен протокол испытания мерзлого грунта в холодильной камере методом одноплоскостного среза. Данные представлены в таблице 12.

Таблица 12

**Результаты испытаний мерзлого грунта
в холодильной камере методом одноплоскостного среза**

Вертикальная нагрузка, МПа	Касательная нагрузка, МПа	Деформация среза, мм	Относительная деформация среза, д.е.
0,10	0,00	0,00	0,00
0,10	1,50	1,29	0,02
0,10	1,69	1,57	0,02
0,10	1,89	2,02	0,03

Разработано авторами

По результатам испытания мерзлого образца грунта были получены значение угла внутреннего трения 69°C и удельное сцепление 1,24 МПа.

Сравнительный анализ параметров образцов талого и мерзлого грунта

Проведен сравнительный анализ результатов компрессионных испытаний суглинка легкого полутвердого искусственного сложения в талом и мерзлом состоянии. На рисунке 14 представлен график зависимости вертикальных деформаций от вертикального давления талого и мерзлого грунта.

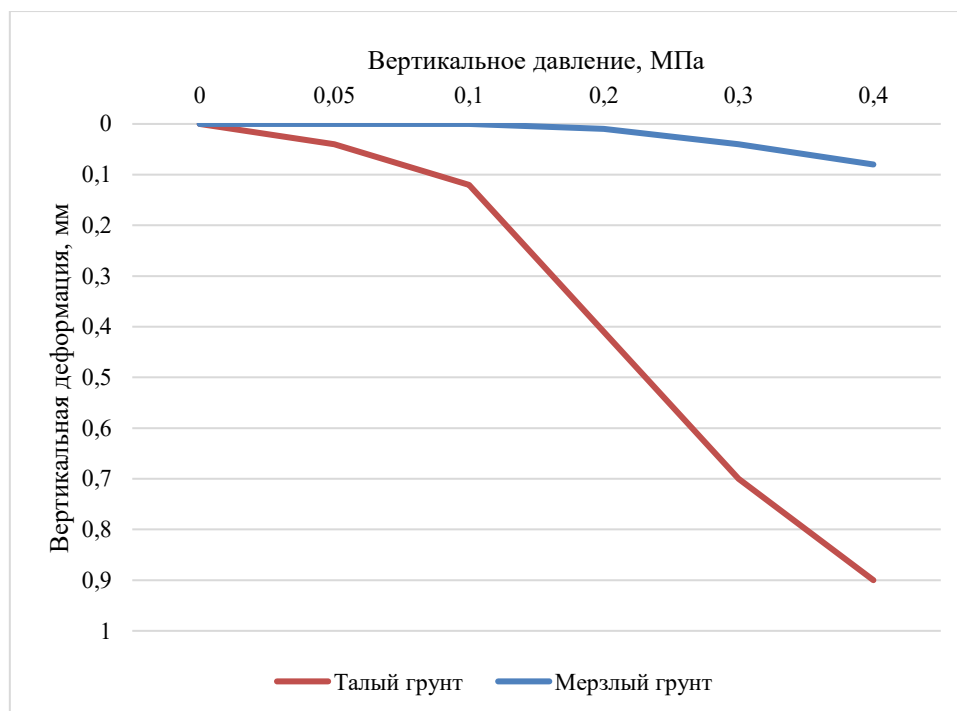


Рисунок 14. График зависимости вертикальных деформаций от вертикального давления талого и мерзлого грунта (разработано авторами)

На рисунке 15 представлен график зависимости вертикальных деформаций от вертикального давления талого и мерзлого грунта.

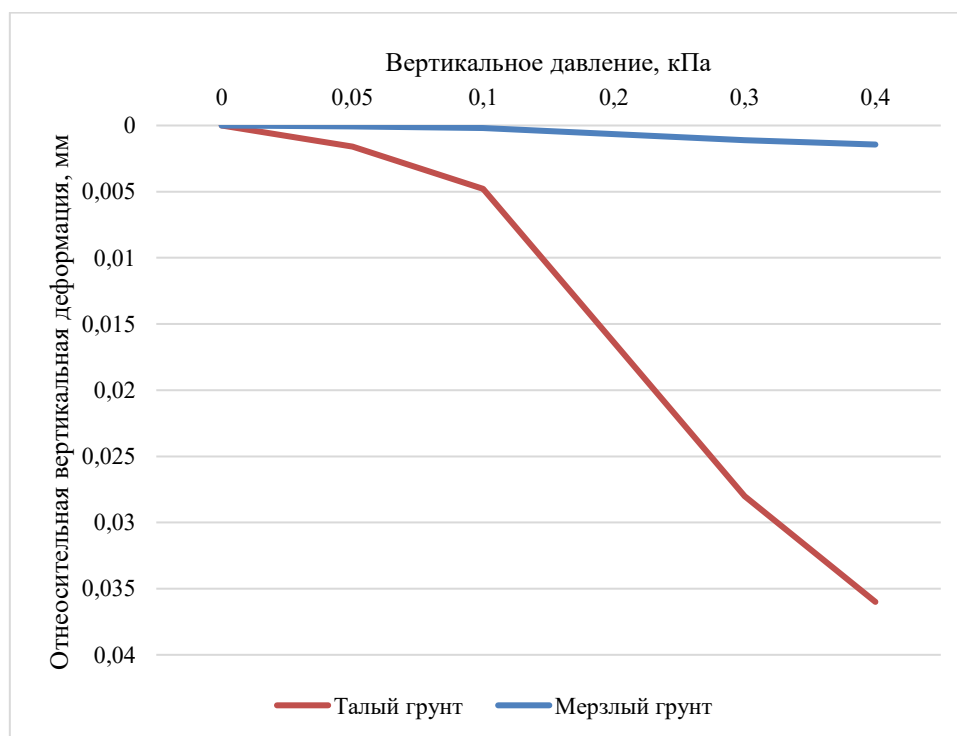


Рисунок 15. График зависимости вертикальных деформаций от вертикального давления талого и мерзлого грунта (разработано авторами)

Проведен сравнительный анализ испытаний на срез суглинка легкого полутвердого искусственного сложения в талом и мерзлом состоянии. В таблице 13 представлены характеристики грунта.

Таблица 13

Характеристики грунта

N п.п	Наименование		Единица изм.	Значение при состоянии грунта	
				талое	мёрзлое
1	Вертикальная нагрузка	s_1	кПа	100	100
2	Касательная нагрузка	t	кПа	75	1894
3	Деформация среза при разрушающей нагрузке		мм	7,01	2,02
4	Деформация среза при разрушении		мм	7,01	7,16
5	Температура грунта	T	град.	23	-2,9
6	Плотность грунта	r	г/см ³	2,02	2,04
7	Влажность грунта	w	%	14,0	11,7
8	Плотность частиц грунта	r_s	г/см ³	2,67	2,67
9	Плотность сухого грунта	r_d	г/см ³	1,77	1,83
10	Коэффициент пористости	e	д.е.	0,51	0,46
11	Коэффициент водонасыщения	S_r	д.е.	0,74	0,67
12	Влажность на границе текучести	w_L	%	21,3	21,3
13	Влажность на границе раскатывания	w_p	%	13,4	13,4
14	Число пластичности	I_p	%	7,9	7,9
15	Показатель текучести	I_L	д.е.	0,08	-0,22

Разработано авторами

Таблица 14

Результаты испытаний на срез талого и мерзлого образцов грунта

Мёрзлый грунт		Талый грунт	
Касательные напряжения, кПа	Деформации, мм	Касательные напряжения, кПа	Деформации, мм
0	0,00	0	0,00
175	0,06	5	0,05
350	0,13	10	0,14
525	0,19	15	0,22
700	0,25	20	0,32
875	0,37	25	0,45
1050	0,48	30	0,64
1225	0,60	35	0,93
1400	0,77	40	1,39
1575	1,30	45	2,10
1750	1,69	50	2,88
1925	2,02	55	3,85

Разработано авторами

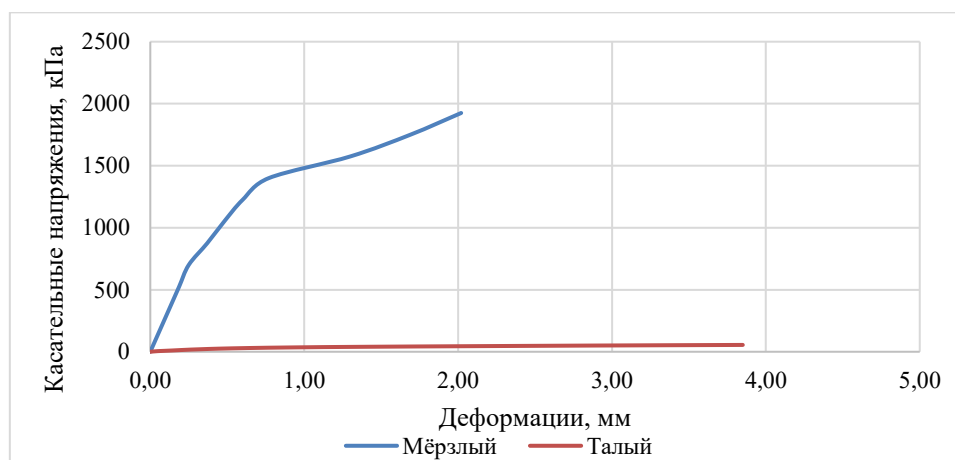


Рисунок 16. График зависимости касательных напряжений от деформаций образцов талого и мерзлого грунта (разработано авторами)

В таблице 14 представлены данные касательных напряжений и деформаций, полученных в ходе лабораторных испытаний на срез талого и мерзлого образцов грунта.

На рисунке 16 представлен график зависимости касательных напряжений от деформаций образцов талого и мерзлого грунта.

Выводы

Сравнительный анализ результатов компрессионных испытаний суглинка легкого полутвердого искусственного сложения в талом и мерзлом состоянии показал, что при вертикальном давлении 0,4 кПа вертикальные деформации талого образца грунта составляют 0,9 мм, мерзлого образца грунта — 0,08 мм. Таким образом вертикальные деформации талого образца грунта в 11,25 раза превышают вертикальные деформации мерзлого образца грунта.

При вертикальном давлении 0,4 кПа относительные вертикальные деформации талого образца грунта составляют 0,036 мм, мерзлого образца грунта — 0,0014 мм. Относительные вертикальные деформации талого образца грунта в 25,71 раза превышают относительные деформации мерзлого образца грунта.

Сравнительный анализ результатов испытаний на сдвиг суглинка легкого полутвердого искусственного сложения в талом и мерзлом состоянии показал, что деформации талого образца грунта величиной 2 мм произошли при возникновении касательных напряжений величиной 45 кПа, а деформации образца мерзлого грунта величиной 2 мм произошли при возникновении касательных напряжений величиной 1925 кПа. Таким образом для сдвиговых деформации величиной 2 мм в мерзлом грунте необходимо возникновение касательных напряжений в 42,77 раза превышающих напряжения, необходимые для сдвиговых деформаций величиной 2 мм в талом грунте.

Исходя из проведенных лабораторных испытаний видно насколько сильно отличаются характеристики талого и мерзлого грунтов. Таким образом при деградации мерзлого грунта несущая способность основания железнодорожных насыпей значительно снижается [15]. Для проведения численного моделирования необходима разработка модели напряженно-деформированного состояния деградирующих многолетнемерзлых оснований железнодорожной насыпи в процессе оттаивания мерзлого грунта.

Полученные результаты лабораторных испытаний лягут в основу разработки методики геотехнического моделирования железнодорожных насыпей на деградирующих многолетнемерзлых грунтах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большой БАМ: Об инженерных успехах первопроходцев и современных специалистов // Вестник государственной экспертизы. — 2024. — № 2(31). — С. 98–105. — EDN: [SVZYOQ](#). (дата обращения: 23.02.2026).
2. Ашпиз Е. С. Усиление деформирующихся длительно эксплуатируемых насыпей на многолетнемерзлом основании / Е. С. Ашпиз, Т. С. Вавринюк // Политранспортные системы: материалы IX Международной научно-технической конференции, Новосибирск, 17–18 ноября 2016 года / Сибирский государственный университет путей сообщения. — Новосибирск: Сибирский государственный университет путей сообщения, 2017. — С. 86–90. — EDN: [ZWVQJL](#). (дата обращения: 23.02.2026).

3. Кудрявцев С. А. Создание условий нормативного состояния деградирующих многолетнемерзлых оснований зданий и сооружений Дальневосточного федерального округа и Арктики / С. А. Кудрявцев, И. И. Сахаров, В. Н. Парамонов // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2021 году: сборник научных трудов РААСН / Российская академия архитектуры и строительных наук. Том 2. — Москва: АСВ, 2022. — С. 157–164. — EDN: [ZTPVTI](#). (дата обращения: 23.02.2026).
4. Кудрявцев С. А. Комплексная оценка оснований фундаментов зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах Дальнего Востока / С. А. Кудрявцев, Т. Ю. Вальцева, В. Ю. Шемякин // Фундаменты глубокого заложения и проблемы геотехники территорий: материалы III Всероссийской конференции с международным участием, Пермь, 29–31 мая 2024 года. — Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2024. — С. 82–89. — EDN: [FLVUCP](#). (дата обращения: 23.02.2026).
5. Геотехнический мониторинг инфраструктуры железных дорог Дальнего Востока России в условиях деградации многолетнемерзлых грунтов / С. А. Кудрявцев, Т. Ю. Вальцева, К. Б. Ушерович [и др.] // Фундаментальные поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2022–2023 годы: научные труды РААСН. В 2-х томах. — Москва: Издательство АСВ, 2024. — С. 241–250. — EDN: [GUOZUL](#). (дата обращения: 23.02.2026).
6. Сахаров И. И. Новые подходы к проектированию и строительству железных и автомобильных дорог в криолитозоне / И. И. Сахаров, С. А. Кудрявцев, В. Н. Парамонов, Т. Ю. Вальцева // Интернет-журнал "Транспортные сооружения". — 2024. — Т. 11, № 2. — DOI: [10.15862/03SATS224](#). — EDN: [DNITYN](#). (дата обращения: 23.02.2026).
7. Стефанюк В. Н. Лабораторные исследования динамических свойств грунтов слабых оснований с применением метода Фурье / В. Н. Стефанюк, С. А. Кудрявцев // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. — 2019. — № 4(21). — С. 55–61. — EDN: [FIOYUG](#). (дата обращения: 23.02.2026).
8. Синь В. Изучение прочностных характеристик оттаивающих грунтов с учетом их снижения при динамическом воздействии / В. Синь, А. Ф. Колос, А. В. Петряев // Транспорт Урала. — 2024. — № 1(80). — С. 67–72. — DOI: [10.20291/1815-9400-2024-1-67-72](#). — EDN: [XFEVDY](#). (дата обращения: 23.02.2026).
9. Синь В. Изучение параметров деформации оттаивающих грунтов на основе дисперсионного анализа и метода анализа иерархий / В. Синь, А. Ф. Колос, А. В. Петряев // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2023. — Т. 20, № 4. — С. 868–877. — DOI: [10.20295/1815-588X-2023-4-868-877](#). — EDN: [AJLWDM](#). (дата обращения: 23.02.2026).
10. Лабораторные испытания оттаивающих многолетнемерзлых грунтов земляного полотна для определения статического и динамического модулей деформации / А. В. Святогорова, Д. В. Рубцов, Е. И. Вельгун, Д. Л. Соколов // Бюллетень результатов научных исследований. — 2025. — № 3. — С. 176–185. — DOI: [10.20295/2223-9987-2025-3-176-185](#). — EDN: [MUMVSI](#). (дата обращения: 23.02.2026).

11. Сазонова С. А. Планирование эксперимента по исследованию зависимости между коэффициентом уплотнения и модулем деформации / С. А. Сазонова, А. Б. Пономарев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. — 2015. — № 3. — С. 67–80. — DOI: [10.15593/2224-9826/2015.3.09](https://doi.org/10.15593/2224-9826/2015.3.09). — EDN: [UNJOJT](https://www.edn.net/UNJOJT). (дата обращения: 23.02.2026).
12. Сазонова С. А. Применение экспресс-метода при оценке свойств техногенных грунтов / С. А. Сазонова, А. Б. Пономарев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. — 2014. — № 4. — С. 159–169. — EDN: [SFACIL](https://www.edn.net/SFACIL). (дата обращения: 23.02.2026).
13. Лукашевич Е. Ю. Экспериментальное определение температуры начала замерзания (оттаивания), содержания незамерзшей воды и теплофизических свойств мерзлых грунтов (Магаданская область) / Е. Ю. Лукашевич, Р. Г. Мотенко // Инженерные изыскания в строительстве: материалы седьмой Общероссийской научно-практической конференции молодых специалистов, Москва, 24 апреля 2025 года. — Москва: Геомаркетинг, 2025. — С. 74–80. — EDN: [MYJIWB](https://www.edn.net/MYJIWB). (дата обращения: 23.02.2026).
14. Микростроение мерзлых грунтов под воздействием статических нагрузок и изменений температуры / Д. Тао, А. В. Брушков, В. В. Рогов, А. Г. Алексеев // Арктика и Антарктика. — 2025. — № 3. — С. 39–57. — DOI: [10.7256/2453-8922.2025.3.74518](https://doi.org/10.7256/2453-8922.2025.3.74518). — EDN: [DPWGHN](https://www.edn.net/DPWGHN). (дата обращения: 23.02.2026).
15. Исследование эффективной удельной теплоемкости крупнодисперсного грунта в зависимости от влажности / Н. И. Таппырова, О. Н. Кравцова, А. В. Малышев [и др.] // Успехи современного естествознания. — 2025. — № 12. — С. 40–46. — DOI: [10.17513/use.38464](https://doi.org/10.17513/use.38464). — EDN: [LJQGII](https://www.edn.net/LJQGII). (дата обращения: 23.02.2026).

Valtseva Tatiana Yuryevna

Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russia

E-mail: vtu25@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2566-1924>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=912351

Kudryavtsev Sergey Anatolyevich

Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russia

E-mail: olgakudr56@mail.ru

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=614674

WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAA-6935-2020>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=8257641200>

Bakharev Vladimir Ivanovich

Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russia

E-mail: b-vi@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7379-2882>

Determination of numerical modeling parameters for creating a model of the stress-strain state of a soil mass on degraded permafrost soils

Abstract. Currently, numerical modeling using the finite element method is an integral part of the design of structures in difficult engineering and geological conditions. When numerically modeling the stress-strain state of a soil mass based on degraded permafrost soils, it is necessary to take into account the characteristics of both thawed and frozen soils.

The correctness of using various software depends not only on the reliability and number of soil characteristics used in the calculation models, but also on the adequacy of the model itself, which must take into account the unique characteristics of soils. The soils that need special attention include degradable permafrost soils, since their characteristics change not only when exposed to loads, but also when they are thawed.

This article considers the determination of the physico-mechanical characteristics of a sample of thawed and frozen soil on shear and compression devices in order to subsequently create a numerical model to account for the degradation processes of the permafrost thawing base of railway embankments.

The use of the elastoplastic calculation model is due to the most reliable description of the processes occurring in the construction of the railway roadbed and its degrading permafrost base. For the subsequent development of a model of the stress-strain state of the soil mass, it is necessary to identify the initial parameters of soils in the thawed and frozen state.

Keywords: difficult engineering and geological conditions; frozen soils; foundations; degradation of permafrost soils; thawed soils; frozen soils; laboratory soil testing