

УДК 551.340; 624.131



Аксёнов В.И.

Коэффициенты для корректировки значений модулей деформации, полученных в результате компрессионных испытаний мёрзлых грунтов

Аксёнов Виктор Иванович, кандидат технических наук, главный специалист ОАО «Фундаментпроект» (Москва), почётный полярник,

E-mail: aksenov-v-i@mail.ru

В отечественной научной литературе уже давно установилось мнение о том, что модули деформации грунтов, определенные штамповыми испытаниями, всегда достовернее, чем модули, полученные в результате компрессионных испытаний.

Впервые в 1957 г. А.И. Агишевым было установлено, что значения модулей деформации грунтов, определённых по результатам компрессионных испытаний, получаются заниженными в 2—10 раз по сравнению со значениями тех же модулей, но полученных по данным полевых штамповых испытаний. В дальнейшем на основании обобщения и статистической обработки большого объёма экспериментальных данных О.И. Игнатовой были предложены коэффициенты для корректировки значений модулей деформации глинистых грунтов, определённых из компрессионных испытаний. Исследования А.И. Агишева и О.И. Игнатовой проводились на немерзлых (талых) грунтах. В настоящей статье приводятся экспериментально установленные коэффициенты для корректировки значений модулей деформации мерзлых грунтов, определённых из компрессионных испытаний.

Ключевые слова: модули деформации грунтов, компрессионные испытания, штамповые испытания, мёрзлые грунты, корректировочные коэффициенты.

Введение

В соответствии с нормативными документами, основания и фундаменты сооружений, возводимых на многолетнемерзлых грунтах, следует рассчитывать по двум группам предельных состояний: по первой – по несущей способности, по второй – по деформациям (осадкам, прогибам, и пр.), затрудняющим нормальную эксплуатацию сооружения или снижающим его долговечность.

В случаях, когда многолетнемерзлые грунты основания предполагается использовать в мерзлом состоянии, сохраняемом как в процессе строительства, так и в течение всего периода эксплуатации сооружения, то расчет оснований производят для твердомерзлых грунтов по несущей способности. Для пластично-мерзлых же и сильнольдистых грунтов, а также подземных льдов расчет оснований производится по несущей способности и деформациям.

Если же многолетнемерзлые грунты основания планируется использовать в оттаянном или оттаивающем состоянии (с их предварительным оттаиванием на расчётную глубину до начала возведения сооружения или с допущением их оттаивания в период эксплуатации сооружения), то по несущей способности расчет оснований производят только в случаях, специально предусмотренных нормативными документами. А по деформациям расчет оснований должен выполняться во всех случаях; при этом для оснований, оттаивающих в процессе эксплуатации сооружения, расчёт по деформациям надлежит производить из условия совместной работы основания и сооружения [СНиП 2.02.04-88 1990].

Чтобы выполнить расчет оснований по заданным деформациям, необходимо знать величины коэффициента сжимаемости (m_f) и модуля деформации (E) грунта. Согласно ГОСТ 12248-2010, эти характеристики допускается определять в лабораторных условиях, испытывая грунты компрессионным методом.

**Аксёнов В.И. Коэффициенты для корректировки значений модулей деформации,
полученных в результате компрессионных испытаний мёрзлых грунтов**

Компрессионные испытания — это распространенный вид лабораторных исследований для определения деформационных свойств грунтов. Компрессией называется процесс сжатия грунта без возможности его бокового расширения. Тем самым, при компрессии происходит уплотнение образца грунта без его разрушения.

Сущность компрессионных испытаний грунтов заключается в установлении зависимости коэффициента пористости грунта от нормального давления, действующего на грунт. Кривая, характеризующая эту зависимость, называется компрессионной. Пользуясь этой кривой, определяют сжимаемость грунта, то есть конечную осадку применительно к условиям сплошной равномерно-распределённой нагрузки, действующей на достаточно большую площадь [Амарян 1990].

Компрессионные испытания грунтов (как талых, так и мёрзлых) проводят в специальных приборах — одометрах и стабилометрах (рис. 1—3).

При работе с одометром образец грунта ненарушенной структуры помещают в жесткое металлическое кольцо, которое вместе с образцом устанавливают на пористое днище. Нагрузка на образец грунта передается поршнем. Конструкция поршня (как и днища) допускает фильтрование через него отжимаемой из образца воды. Деформацию образца измеряют индикатором (датчиком). Образец грунта имеет форму цилиндра высотой более 20 мм и диаметром основания более 71 мм с отношением высоты к диаметру 1:3,5. Относительно малая высота образца позволяет уменьшить влияние сил трения грунта о кольцо на деформацию грунта.

Стабилометр — это прибор для определения механических характеристик грунтов в условиях трёхосного сжатия. В стабилометре образец грунта находится в резиновой оболочке, герметически закрытое пространство между которой и жесткими стенками металлического цилиндра заполняется жидкостью, например водой. Испытания грунта в приборах трёхосного сжатия (стабилометрах) наилучшим образом соответствуют его работе в природных условиях и дают наиболее надежные результаты при определении его прочностных и деформационных свойств.

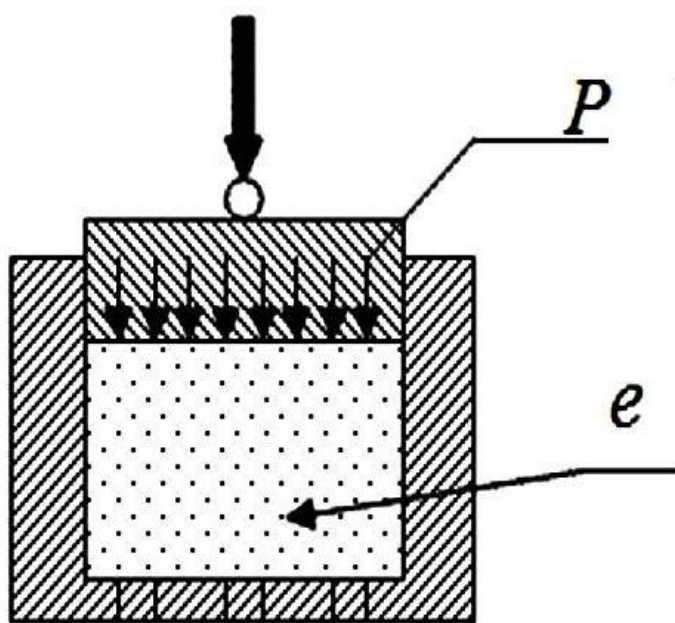


Рис. 1. Схема компрессионного испытания грунта.



Рис. 2. Компрессионные испытания грунтов в одометрах.



Рис. 3. Стабилометр — прибор трёхосного сжатия.

Компрессионный метод определения сжимаемости грунтов рекомендован нормативными документами также и для испытаний мерзлых грунтов. Так, согласно рекомендациям СНиП 2.02.04-88, осадки оснований фундаментов, возводимых на пластичномерзлых (сжимаемых) грунтах, следует принимать по данным компрессионных испытаний в соответствии с ГОСТ 12248-2010 при расчетной температуре грунта [ГОСТ 12248-2010... 2011]. Нормативные документы допускают подвергать испытаниям компрессионным методом мерзлые грунты с толщиной прослоек льда не более 2 мм и льдистостью не более 0,4. При компрессионных испытаниях мёрзлых грунтов используются стандартные кольца диаметром 71 мм, при соотношении высоты к диаметру 1:3. За критерий стабилизации деформации принимают приращение вертикальной деформации 0,01 мм за 12 часов.

По результатам испытаний для каждой ступени нагружения вычисляется относительная стабилизированная вертикальная деформация образца грунта ϵ_f . По вычисленным значениям строится компрессионная кривая, и по ней определяется коэффициент сжимаемости m_f и рассчитывается модуль деформации.

Разумеется, в целом, компрессионный метод вполне применим как к талым, так и мерзлым грунтам, что обусловлено общими закономерностями поведения грунта под сжимающей нагрузкой как в том, так и в другом случае. Однако, вме-

**Аксёнов В.И. Коэффициенты для корректировки значений модулей деформации,
полученных в результате компрессионных испытаний мёрзлых грунтов**

сте с тем, поведение мерзлых грунтов под нагрузкой имеет свои особенности, которые необходимо учитывать при компрессионных испытаниях пластичномерзлых грунтов. Наиболее глубокие исследования особенностей компрессионного сжатия мерзлых грунтов выполнены А.Г. Бродской [Бродская 1960, 1962, 1963]. Ею описан характер кривых, выделены обратимые и необратимые деформации, изучены объёмные изменения при компрессии, характер изменения структуры льда и фильтрации незамерзшей воды.

При сжатии мерзлого грунта без возможности его бокового расширения имеет место нелинейная зависимость между его деформациями и действующим давлением. У мерзлых грунтов на типичной компрессионной кривой чётко выделяются два различных участка: на первом кривая выпуклая, а на втором — вогнутая. Эти два участка разделены точкой перегиба, характеризующей изменение характера сжимаемости мерзлого грунта.

Вид компрессионной кривой мерзлых грунтов зависит также от температуры. Так, компрессионные кривые песчаных и глинистых грунтов, находящихся при температуре ниже минус 4°C, имеют выпуклый вид, а компрессионные кривые глинистых грунтов при температуре выше минус 4°C имеют, наоборот, вогнутый вид [Бродская, 1963].

Высокотемпературные мерзлые грунты обладают значительной сжимаемостью (уплотняемостью) под нагрузкой, с чем необходимо считаться при возведении сооружений на таких грунтах. Основной причиной уплотнения сжимаемых грунтов следует считать нарушение равновесного состояния между незамерзшей водой и поровым льдом [Цытович, 1973].

Еще большей сжимаемостью характеризуются засоленные мерзлые грунты, т.к. они в широком диапазоне отрицательных температур находятся в пластично-мерзлом состоянии [Аксёнов, 2008. 1979; Аксёнов, Докучаев 1978]. Фактор засоленности, как показывает практика изысканий, существенно влияет на свойства мерзлых грунтов, снижая их прочность и повышая деформируемость [Велли 1973].

Вместе с тем, как считают Ю.Я. Велли и П.А. Гришин [Велли, Гришин 1963], «компрессионные испытания не учитывают таких важных факторов, как ползучесть мерзлого грунта и релаксацию сопротивления нагрузкам и поэтому являются недостаточными для оценки деформационных свойств этих грунтов». По их мнению, наиболее достоверные сведения о несущей способности мерзлых грунтов дают наблюдения за деформациями сооружений и осадками их фундаментов в течение годовичного срока наблюдений. Как отмечают эти исследователи, лабораторная и полевая геотехническая практика определения сжимаемости талых грунтов показала в свою очередь, «что модули деформации, полученные по результатам компрессионных испытаний, из-за несоответствия условий испытаний грунта в компрессионном приборе условиям деформаций грунта в натуре по своей величине оказываются меньшими, чем модули деформаций тех же грунтов, получаемых при штамповых испытаниях».

Вообще, среди отечественных специалистов давно уже утвердилось мнение, что модули деформации грунтов, полученные в результате штамповых испытаний, гораздо достовернее модулей деформации, определяемых посредством компрессионных испытаний.

Так, в «Пособии по проектированию ...» [Пособие по проектированию оснований зданий... 1986] прямо указывается, что наиболее достоверными методами определения деформационных характеристик нескальных грунтов являются полевые их испытания статическими нагрузками в шурфах или котлованах с помощью плоских горизонтальных штампов площадью 2500-5000 см², а также в скважинах с помощью винтовой лопасти штампа площадью 600 см².

В 1957 г. А.И. Агишевым [Агишев 1957] было впервые установлено, что значения модуля деформации грунтов, определяемые по результатам компрессионных испытаний, получаются заниженными в 2—10 раз по сравнению со значениями тех же модулей, но полученных по данным полевых штамповых испытаний. В дальнейшем, на основании обобщения и статистической обработки большого объёма экспериментальных данных, О.И. Игнатовой [Игнатова 1968] были предложены для глинистых грунтов (супесей, суглинков и глин) коэффициенты для корректировки значений модулей деформации, полученных из компрессионных испытаний. Эти корректировочные коэффициенты были впоследствии включены в таблицу 22 уже упомянутого «Пособия по проектированию оснований зданий и сооружений к СНиП 2.02.01-83» и в таблицу 5.1 Свода правил СП 50-101-2004 [Пособие по проектированию оснований зданий... 1986; СП 50-101-2004... 2005].

Исследования сжимаемости талых грунтов, выполненные Н.П. Безчинным [Безчинный 1969] тремя методами (штамповым полевым, стабилметрическим и компрессионным), показали близость значений модуля деформации, полученных на стабилметре и при штамповых испытаниях в полевых условиях. Тем самым, результаты, полученные Н.П. Безчинным, дают основания привлекать для определения корректирующих коэффициентов не только метод полевых штамповых испытаний, но и метод стабилметрических испытаний.

Результаты исследований, выполненных А.И. Агишевым, О.И. Игнатовой, Н.П. Безчинным и др. [Абелев 1971; Балюра, Окулова 1977; Окулова и др. 1977; Полищук А.И. и др. 2003; Черняк, Чумаченко 1969], в дальнейшем были подтверждены многолетней практикой проектирования и наблюдения за осадками зданий и сооружений.

В настоящее время большинство строительных расчетов ориентировано на работу основания в первой стадии уплотнения, поэтому при испытаниях модуль общей деформации грунта определяется в пределах нагрузок, при которых сохраняется линейная зависимость между нагрузкой и осадкой.

**Аксёнов В.И. Коэффициенты для корректировки значений модулей деформации,
 полученных в результате компрессионных испытаний мёрзлых грунтов**

Для зданий и сооружений II и III классов допускается определять модуль деформации пылевато-глинистых грунтов в компрессионных приборах или приборах трехосного сжатия с последующей корректировкой полученных данных. Такая корректировка выполняется по результатам полевых испытаний штампом площадью 2500—5000 см².

Для зданий III класса при определении по результатам компрессионных испытаний модулей деформаций пылевато-глинистых грунтов допускается использовать поправочные коэффициенты, предложенные И.А. Агишевым и О.И. Игнатовой (табл. 1).

Таблица 1

Поправочные коэффициенты для определения модулей деформаций пылевато-глинистых грунтов по результатам компрессионных испытаний (по И.А. Агишеву и О.И. Игнатовой)

Наименование грунта	Значение коэффициента m_k при коэффициенте пористости e , равном								
	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,2	1,4
Супеси	4	4	3,5	3,0	2			—	—
Суглинки	5	5	4,5	4,0	3	2,5	2,0	—	—
Глины	—	—	6	6	5,5	5,0	4,5	3,5	2,0

Исследования А.И. Агишева и О.И. Игнатовой проводились на немёрзлых (талых) грунтах. Аналогичные исследования были вскоре проведены и на мерзлых грунтах. Приняв во внимание расхождения в результатах определения сжимаемости немёрзлых (талых) грунтов в лабораторных и полевых условиях, отечественные специалисты-мерзлотоведы [Березанцев 1953; Вотяков 1961; Вялов 1954, 1978, 1959; Гавелис, Максимов 1959] выполнили исследования сжимаемости пластично-мерзлых грунтов путем испытания их штампами различного размера как в полевых условиях, так и в лабораториях. Преимущество штамповых испытаний состоит в том, что они моделируют совместную работу сооружений (фундаментов) и оснований. В результате таких испытаний исследуется изменение во времени осадки мёрзлых грунтов (S) в зависимости от величины действующей на грунт нагрузки (P). Испытания мёрзлых грунтов штампами позволяют установить ту предельную нагрузку, при достижении которой нарушается линейная зависимость осадки от действующей нагрузки, и грунт из стадии уплотнения переходит в стадию сдвигов.

Исследователями в разные годы были изучены зависимости осадки от нагрузки, температуры, от времени, была оценена роль ледяных включений. Было отмечено, что с увеличением размера штампа величина осадки и продолжительность процесса деформирования у мерзлых грунтов возрастает [Вялов 1959; Вотяков 1961].

В последние годы, в результате массовых испытаний мерзлых грунтов компрессионным методом появились предположения, что к получаемым в лабораторных условиях величинам коэффициента сжимаемости и модуля деформации необходимо вводить поправочные коэффициенты, подобно тому, как это делают в случае с талыми грунтами.

Разумеется, чтобы обосновать введение таких поправочных коэффициентов, необходимо выполнение достаточного количества штамповых испытаний мерзлых грунтов. Однако в случае мерзлых грунтов эта область исследований оказалась крайне бедна. Известны лишь исследования Г.Н. Максимова [Гавелис, Максимов 1959], который при участии Л.П. Гавелиса¹

¹Гавелис Л.П. — майор литовской армии; отбывал заключение в Норильлаге. См.: [Мартиролог Гаа—Гай. Красноярское общество «Мемориал» б/даты размещения http://www.memorial.krsk.ru/martirolog/gaa_gai.htm]

проводил в 50-х гг. XX в. в Норильске испытания мерзлых грунтов штампами большой площади; штамповые испытания мерзлых грунтов, выполненные С.С. Вяловым [Вялов 1954], И.Н. Вотяковым [Вотяков 1961]; отдельные испытания «Фундаментпроекта», выполненные в 1990 г. [О полевых испытаниях грунтов... 1990], а также данные, представленные Н.А. Цытовичем [Цытович 1973, с. 209, табл.32] в его «Механике мёрзлых грунтов». Нами выполнена сводка всех этих данных и вычислено отношение модулей — штамповых $E_{ш}$ и компрессионных E_k (полученных по результатам компрессионных испытаний в Секторе испытания мерзлых грунтов «Фундаментпроекта»).

Модуль общей деформации мерзлого грунта мы определяли по результатам пробного нагружения мёрзлого и грунта, вычисляя его по формуле [Цытович 1973]:

$$E_o = \frac{\omega(1 - \mu_o^2) \cdot P \cdot b}{S}, \quad (1)$$

где ω — коэффициент формы, принимаемый равным 0,9;

μ_o — коэффициент относительной поперечной деформации для пластично-мерзлых грунтов, принимаемый равным 0,3—0,4;

P — величина действующего давления, кг/см²;

b — ширина штампа.

В табл. 2 приведены результаты выполненного нами сопоставления модулей. Табличные данные показывают, что компрессионный модуль следует увеличивать путём умножения его на поправочный коэффициент m_k , который принимает значения в пределах от 2 до 7 в зависимости от вида грунта, его температуры, и прочих его характеристик.

Аксёнов В.И. Коэффициенты для корректировки значений модулей деформации,
 полученных в результате компрессионных испытаний мёрзлых грунтов

Таблица 2

Значения модулей деформации мерзлых грунтов,
 полученные в результате компрессионных и штамповых испытаний

Метод	Кем и когда выполнен опыт	Источник	Грунт	Влажность W, %	Плотность ρ г/см ³	Засоленность D_{sal} , %	Температура T , °C	Площадь штампа F , см ²	Нагрузка σ , МПа (кг/см ²)	Модуль деформации, МПа	Отношение модулей, $K = E_{ш}/E_k$
Полевой	Гавелис, Максимов, 1959	Гавелис, Максимов, 1959	Пылеватые илистые супеси и суглинки льдистые	22—144,8	1,55—2,03	—	-2,0	4900	0,2—0,8	36,6	3,62
Лабораторный компрессионный	СИМГ * «Фундаментпроект», 2008	Фонды «Фундаментпроект»	Суглинки, супеси льдистые	23,1—50,9	1,57—2,02	0,05—0,35		40	0,1—0,5	8,8—11,6	
Полевой	Гавелис, Максимов, 1959	Гавелис, Максимов, 1959	Пылеватые илистые супеси и суглинки льдистые	22—144,8	1,55—2,03	—	-1,0	4900	0,2—0,8	47,6	6,61
Лабораторный компрессионный	СИМГ «Фундаментпроект», 2006	Фонды «Фундаментпроект»	Суглинки, супеси льдистые	21,4—52,3	1,57—2,0	0,01—0,07		40	0,1—0,6	4,4—11,3	
Полевой	Гавелис, Максимов, 1959	Максимов, 1959	Пылеватые илистые супеси и суглинки льдистые	22—144,8	1,55—2,03	—	-0,5	10000	0,2—0,8	44,5	5,85
Лабораторный компрессионный	СИМГ «Фундаментпроект», 2006	Фонды «Фундаментпроект»	Суглинки, супеси льдистые	21,3	2,0	0,56		40	0,2—0,5	7,6	
Полевой	Гавелис, Максимов, 1959	Гавелис, Максимов, 1959	Пылеватые илистые супеси с прослоями льда	27,9—50,9	1,72—1,95	—	-2	4900	0,2—0,6	36,5	3,8
Лабораторный компрессионный	СИМГ «Фундаментпроект», 2008	Фонды «Фундаментпроект»	Супесь льдистая	32,6—50,9	1,57—1,74	0,09		40	0,1—0,4	8,8—10,3	
Полевой	Гавелис, Максимов, 1959	Гавелис, Максимов, 1959	Песок пылеватый	18,0—32,0	1,96—2,25	—	-2	4900	0,2—0,6	92,6	3,9
Лабораторный компрессионный	СИМГ «Фундаментпроект», 2005	Фонды «Фундаментпроект»	Песок пылеватый	24,0—28,0	1,9—1,94	0,13—0,4		40	0,1—0,7	23,8,	
Полевой	Гавелис, Максимов, 1959	Гавелис, Максимов, 1959	Песок пылеватый	18,0—32,0	1,96—2,25	—	-0,5	4900	0,2—0,5	28,7	3,1
Лабораторный компрессионный	СИМГ «Фундаментпроект», 2005	Фонды «Фундаментпроект»	Песок пылеватый	24,0—28,0	1,9—1,94	0,13—0,4		40	0,2—0,4	9,3	
Полевой	Гавелис, Максимов, 1959	Цытович, 1973	Супесь средняя	24,3	1,95	—	-1	10000	0,8	72,7	4,3
Лабораторный компрессионный	СИМГ «Фундаментпроект», 2005	Фонды «Фундаментпроект»	Супесь	23,7	1,91	—		40	0,1—0,6	15,6—18,1	
Полевой	Гавелис, Максимов, 1959	Цытович, 1973	Суглинок	46,0	1,34—2,28	—	-2	9800	0,8	40,0	4,39
Лабораторный компрессионный	СИМГ «Фундаментпроект», 2005	Фонды «Фундаментпроект»	Суглинок тяжёлый	44,1—45,0	1,75—1,76	0,12—0,22		40	0,2—0,4	6,7—11,5	

* СИМГ — Сектор испытаний мёрзлых грунтов.

**Аксёнов В.И. Коэффициенты для корректировки значений модулей деформации,
 полученных в результате компрессионных испытаний мёрзлых грунтов**

Таблица 2 (продолжение)

Значения модулей деформации мерзлых грунтов, полученные в результате компрессионных и штамповых испытаний

Метод	Кем и когда выполнен опыт	Источник	Грунт	Влажность W, %	Плотность ρ г/см ³	Засоленность D_{sal} , %	Температура T , °C	Площадь штампа F , см ²	Нагрузка σ , МПа (кг/см ²)	Модуль деформации, МПа	Отношение модулей, $K = E_{ш}/E_k$
Полевой	Вялов, 1957	Гавелис, Максимов, 1959	Пылевато-иловые супеси	27,9—50,9	1,72—1,95	—	-0,5	2500	0,5—1,0	27,0	3,6
Лабораторный компрессионный	СИМГ «Фундаментпроект», 2006	Фонды «Фундаментпроект»	Суглинок лёгкий	21,3	2,0	0,56		40	7,6		
Полевой	«Фундаментпроект», 1990	Отчёт № 17644, 1990г	Суглинки	42,0—51,0	1,55—1,79	0,08—0,12	-3,4 ÷ -4,2	600	0,2—0,6	12,3—20,9	2,1
Лабораторный компрессионный	СИМГ «Фундаментпроект», 2008	Фонды «Фундаментпроект»	Суглинки	25,0—44,3	1,54—1,81	0,05	-4	40	0,1—0,4	6,0—8,8	
Полевой	Вялов, 1978	Вялов, 1978	Супесчано-суглинистый грунт	20,0—30,0	1,84	—	-0,1 ÷ -0,3	d=70 см ²	0,1—0,3	6,0—11,8	
Лабораторный компрессионный	СИМГ «Фундаментпроект», 2006	Фонды «Фундаментпроект»	Суглинок лёгкий	20,9—21,3	2,0—2,03	—	-0,5	40	0,1—0,3	2,0—5,8	2,0

Выполненное нами сопоставление модулей деформации полученных из полевых штамповых и лабораторных компрессионных испытаний мёрзлых грунтов, позволяет установить ориентировочные величины корректировочных коэффициентов m_k для некоторых разновидностей мерзлых грунтов в диапазоне отрицательных температур от минус 0,5 до минус 4,0°C. Эти коэффициенты приводятся в **табл. 3**.

Таблица 3

Величины корректировочных коэффициентов для некоторых разновидностей грунтов при температуре от минус 0,5 до минус 4,0 °C

Температура, °C	Корректировочный коэффициент m_k грунтов		
	Пылеватые пески	Супеси	Суглинки и глины
-0,5	3,1	3,6	3,82
-1,0		4,3	6,61
-2,0	3,9	3,6—3,8	3,62—4,39
-4,0			2,1
Среднее значение m_k	3,5	3,8	4,2

В **табл. 2** приведены результаты выполненного нами сопоставления модулей. Табличные данные показывают, что компрессионный модуль, действительно, следует увеличивать путём умножения его на поправочный коэффициент m_k , который может принимать значения в пределах от 2 до 7 в зависимости от вида мерзлого грунта, его температуры, а также прочих его характеристик.

Выполненное нами сопоставление модулей деформации, полученных из полевых штамповых и лабораторных компрессионных испытаний мёрзлых грунтов, позволяет установить ориентировочные величины корректировочных коэффициентов m_k для некоторых разновидностей грунтов в диапазоне отрицательных температур. Эти коэффициенты приводятся в **табл. 3**.

С учётом изложенного выше материала рассмотрим полученные в лаборатории величины модуля компрессионного сжатия с точки зрения их корректировки.

В **табл. 4** в качестве примера представлены значения компрессионных модулей деформации для разновидностей грунта, достаточно характерных для Якутии. Расчётные величины модулей деформации получены с учётом корректировочных коэффициентов из **табл. 3**. Для сопоставления в **табл. 4** приводятся также ориентировочные данные модулей деформаций для мёрзлых грунтов, взятые из справочной литературы [*Справочник по строительству... 1977, с. 277, табл. 9.18*]. Из таблицы видно, что величины модулей для глинистых грунтов, полученные в лаборатории и умноженные на корректирующий коэффициент m_k удовлетворительно согласуются с данными из справочной таблицы.

Для песчаных грунтов данные Справочника оказались завышенными, — по всей видимости, это следствие осреднения по всем разновидностям песчаных грунтов данных, имевшихся в распоряжении составителей справочника.

Аксёнов В.И. Коэффициенты для корректировки значений модулей деформации,
 полученных в результате компрессионных испытаний мёрзлых грунтов

Таблица 4

Компрессионные модули деформации мерзлых и талых грунтов
 с учетом корректирующего коэффициента

Наименование и характеристики грунта				Компрессионный модуль (лаборатория), МПа	Корректирующий коэффициент m_k	Модуль мёрзлого грунта с корректирующим коэффициентом m_k , МПа	Модуль мёрзлого грунта по [Справочник по строительству... 1977, табл. 9.18], МПа	Модуль талого грунта при $T=20^\circ\text{C}$ по СНиП 2.02.01-83, МПа
Наименование грунта	Влажность W , %	Плотность ρ , г/см ³	T , °C					
Песок пылеватый	18,0—29,6	1,82—2,0	-1,0	$E_{0,1-0,3} = 13,3$ $E_{0,3-0,6} = 26,8$	3,4	$E_{0,1-0,3} = 45,2$ $E_{0,3-0,6} = 91,1$	350,0	18,0 при $e = 0,67$ *
Суглинки тяжёлые и легкие глины	16,1—22,5	1,98—2,13	-1,0	$E_{0,1-0,3} = 12,9$ $E_{0,3-0,6} = 23,5$	4,2	$E_{0,1-0,3} = 54,2$ $E_{0,3-0,6} = 98,7$	40,0	32,0 при $e = 0,45$
Суглинки тяжёлые	14,5—23,7	1,92—2,16	-1,5	$E_{0,1-0,3} = 15,1$ $E_{0,3-0,6} = 24,8$	4,2	$E_{0,1-0,3} = 63,4$ $E_{0,3-0,6} = 104,2$	60,0	27,0 при $e = 0,51$

* e — коэффициент пористости грунта

В табл. 4 приводятся также значения модулей деформации для близких по составу талых грунтов. Из этой таблицы видно, что представленные в ней откорректированные значения лабораторных компрессионных модулей для талых грунтов меньше, чем соответствующие характеристики для мёрзлых грунтов. Это вполне ожидаемый результат, поскольку мёрзлые грунты менее сжимаемы, чем талые.

* * *

Таким образом, представленные в настоящей статье результаты выполненного нами исследования показывают следующее:

1. Для полученных методом компрессионного сжатия модулей деформации мерзлых грунтов следует вводить корректирующий (поправочный) коэффициент m_k — подобно тому, как это делается с соответствующими модулями деформации для талых грунтов.
2. Указанный поправочный коэффициент m_k принимает значения в пределах от 2 до 7 — в зависимости от вида мёрзлого грунта, его температуры, а также прочих его характеристик (см. табл. 3).
3. Один из перспективных подходов — привлечение стабилметрических (трехосных) испытаний для получения поправочного коэффициента для мерзлых грунтов.

Уточнение зависимости значений поправочного коэффициента m_k от вида мёрзлого грунта, его физических характеристик и температуры является предметом дальнейшего исследования.

Глоссарий

Компрессионное сжатие грунта — сжатие в условиях невозможности бокового расширения грунта. Условия компрессионного сжатия возникают в определенной части основания протяженных в плане сооружений. Примерами такого рода сооружений могут служить земляные насыпи, плотины, и т.п. В центральной части основания таких сооружений грунт деформируется только вертикально, расширение грунта в горизонтальном направлении здесь невозможно. Однако ближе к краям таких сооружений условия компрессионного сжатия уже не выполняются.

Коэффициент относительной сжимаемости грунта — относительная деформация грунта, приходящаяся на единицу давления.

Коэффициент сжимаемости — расчетная характеристика деформируемости фунтов, которая используется при определении осадок сооружений. Коэффициент сжимаемости есть отношение изменения коэффициента пористости грунта к величине соответствующего изменения давления, действующего на грунт. С помощью коэффициента сжимаемости можно производить качественную оценку грунта как основания зданий и сооружений:

- при $m_f \leq 0,1$ МПа⁻¹ — грунт мало сжимаемый;
- при $0,1 \leq m_f \leq 1,0$ МПа⁻¹ — грунт средней сжимаемости;
- при $m_f > 1,0$ МПа⁻¹ — грунт сильно сжимаемый.

Модуль общей деформации грунта — коэффициент пропорциональности между относительной деформацией грунта и вертикальным давлением, действующим на грунт. Модуль общей деформации используется при расчете осадки грунта.

Одометр — прибор, служащий для определения сжимаемости грунта. В одометре деформации грунта возможны только в верти-

**Аксёнов В.И. Коэффициенты для корректировки значений модулей деформации,
полученных в результате компрессионных испытаний мёрзлых грунтов**

кальном направлении, горизонтальные деформации исключены. Вертикальную нагрузку на грунт задают ступенями, т.е. каждая последующая ступень нагрузки прикладывается после затухания деформаций от предыдущей ступени. На каждой ступени нагружения при помощи датчиков измеряют деформации образца.

Пластично-мерзлые грунты — см. **Состояние мерзлых грунтов.**

Сжимаемость грунтов — способность грунтов уменьшаться в объеме под действием внешней нагрузки. Сжимаемость зависит от пористости грунтов, их гранулометрического и минералогического состава, природы их внутренних структурных связей и характера действующей на грунт нагрузки. Сжимаемость грунтов является одной из важнейших характеристик их деформируемости. Одним из способов определения характеристик сжимаемости в лабораторных условиях являются компрессионные испытания грунтов.

Состояние мерзлых грунтов. Мерзлые грунты по их состоянию подразделяют на твердомерзлые, пластично-мерзлые и сыпучемерзлые. Твердомерзлыми называют песчаные и глинистые грунты, прочно сцементированные льдом. Такие грунты характеризуются относительно хрупким разрушением и практически несжимаемы под воздействием нагрузок от сооружений. Для незасоленных грунтов твердомерзлое состояние наступает при температуре ниже минус 0,3°C для мелких и пылеватых песков, минус 0,6 °C — для супесей, минус 1,0°C — для суглинков, и минус 1,5°C — для глин. При более высокой температуре (но ниже 0°C), когда в порах грунтов сохраняется еще много незамерзшей воды, мерзлые грунты обладают вязкопластичными свойствами и заметно деформируются под воздействием нагрузок от сооружений. Такие грунты называют пластично-мерзлыми. Если грунты с отрицательной температурой из-за малой влажности не сцементированы льдом, как, например, почти сухие пески и крупнообломочные грунты, то их называют сыпучемерзлыми.

Стабилометрические испытания грунтов — испытания для определения механических характеристик грунтов в условиях трёхосного сжатия. Прибор для определения механических характеристик грунтов в условиях трёхосного сжатия называется стабилометром. В стабилометре образец грунта находится в резиновой оболочке; герметически закрытое пространство между резиновой оболочкой и жесткими стенками металлического цилиндра заполняется жидкостью, например водой. Благодаря своей конструкции стабилометр позволяет также измерять боковое давление на грунт. В одометре же боковое давление измерить невозможно. Схема испытаний в приборах трёхосного сжатия (стабилометрах) больше соответствует работе грунта в естественных (природных) условиях и, тем самым, позволяет получить наиболее достоверные данные при определении прочностных и деформационных свойств грунтов.

Сыпучемерзлые грунты — см. **Состояние мерзлых грунтов.**

Твердомерзлые грунты — см. **Состояние мерзлых грунтов.**

Штамповые полевые испытания грунта — при таких испытаниях стальной штамп (плоская плита) устанавливается на дно котлована — прямо на поверхность грунта, предварительно зачищенную и выровненную. После этого на штамп ступенями прикладывается нагрузка, — т.е. каждая последующая ступень нагрузки прикладывается после затухания деформаций от предыдущей ступени. По линейному участку графика зависимости деформаций от нагрузки определяется модуль деформации грунта. Основным достоинством штамповых испытаний является то, что они выполняются непосредственно в грунтовом массиве. При штамповых испытаниях необходима тщательная установка штампов на грунт с прилеганием по всей поверхности штампа. Штамповые полевые испытания производятся также в скважинах. В этом случае штамп устанавливается в забое скважины.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12248-2010. Межгосударственный стандарт. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости / Евразийский Совет по стандартизации, метрологии и сертификации (ЕАСС). М.: МНТКС, 2011. 156 с.
2. СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. Свод правил по проектированию и строительству. М.: Госстрой России, 2005. 131 с.
3. СНиП 2.02.01-83*. Основания и фундаменты / Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 2002. 48 с.
4. СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечно мерзлых грунтах / Госстрой России. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. 56 с.
5. Абелев М.Ю. Сопоставление результатов полевых и лабораторных исследований сжимаемости слабых водонасыщенных глин // Основания, фундаменты и механика грунтов. Материалы III Всесоюзного совещания. Киев: Будивельник, 1971. С. 70—73.
6. Агишев А.И. Зависимость между пористостью и модулем деформации, установленная полевыми испытаниями глинистых грунтов // Основания и фундаменты. 1957. № 20. С. 3—6.
7. Аксёнов В.И. Засоленные мерзлые грунты Арктического побережья как основание сооружений. М.: Всё о мире строительства, 2008. 340 с.
8. Аксёнов В.И. Исследование механических свойств мёрзлых засоленных грунтов как оснований сооружений (на примере грунтов арктического побережья). Автореф. дисс. ... канд. технич. наук. М.: МИСИ, 1979. 18 с.

**АКСЁНОВ В.И. КОЭФФИЦИЕНТЫ ДЛЯ КОРРЕКТИРОВКИ ЗНАЧЕНИЙ МОДУЛЕЙ ДЕФОРМАЦИИ,
ПОЛУЧЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ КОМПРЕССИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ МЁРЗЛЫХ ГРУНТОВ**

9. Аксенов В.И., Докучаев В.В. Критерии пластично-мерзлого состояния засоленных грунтов // Основания и фундаменты жилых и общественных зданий на вечномёрзлых грунтах. Л.: Стройиздат, 1978.
10. Амарян Л.С. Свойства слабых грунтов и методы их изучения. М.: Недра, 1990. 220 с.
11. Балюра М.В., Окулова М.Н. Результаты исследования характеристик боковой деформируемости грунтов по данным опытов со штампами // Основания и фундаменты зданий в условиях строительства Томска. Томск: Изд-во ТГУ, 1977. С. 31 – 35.
12. Безчинный Н.П. Сжимаемость тортон-сарматских глин Предкарпатя по данным полевых, стабилOMETрических и компрессионных испытаний // Полевые методы исследования грунтов: материалы к Всесоюзному совещанию в г. Рязани 14 – 17 октября 1969 г. М.: ЦНИИС 1969.
13. Березанцев В.Г. Сопротивление грунтов местной нагрузке при постоянной отрицательной температуре // Материалы по лабораторным исследованиям мерзлых грунтов. М: Изд-во АН СССР, 1953. С. 86 – 117.
14. Бродская А.Г. Деформации мерзлых грунтов при компрессии и одноосном сжатии. М.: Институт мерзлотоведения им. В.А. Обручева АН СССР, 1960. 60 с.
15. Бродская А.Г. О механизме деформирования мерзлых грунтов при компрессии // Прочность и ползучесть мерзлых грунтов / Под ред. К.Ф. Войтковского, М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 140 – 156.
16. Бродская А.Г. Сжимаемость мерзлых грунтов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 83 с.
17. Велли Ю.Я. Устойчивость зданий и сооружений в Арктике. Л.: Стройиздат, 1973. 152 с.
18. Велли Ю.Я., Гришин П.А. О несущей способности засоленных вечномёрзлых грунтов // Труды СоюзморНИИпроекта. Вып. 3. Основания и фундаменты в условиях вечной мерзлоты. М.: СоюзморНИИпроект, 1963. С. 10 – 35.
19. Вотяков И.Н. Физико-механические свойства многолетнемерзлых грунтов Центральной Якутии. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 64 с.
20. Вялов С.С. Длительная прочность мерзлых грунтов и допускаемые на них давления // Труды Игарской научно-исследовательской мерзлотной станции, вып.1. М.: Изд-во АН СССР, 1954. С. 22 – 91.
21. Вялов С.С. Осадка опытных штампов на пластично-мерзлых грунтах // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1978. № 5. С. 130 – 132.
22. Вялов С.С. Реологические свойства и несущая способность мерзлых грунтов. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 191 с.
23. Гавелис Л.П., Максимов Г.Н. Исследование грунтов района Норильска пробными нагрузками // Основания, фундаменты и механика грунтов, 1959, № 3.
24. Игнатова О.И. Корректировка значений модулей деформации глинистых грунтов пластичной консистенции, определённых на компрессионных приборах // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1968. № 2. С. 8 – 10.
25. Окулова М.Н., Балюра М.В., Ширяев В.Ф., Пономарева И.С. Анализ сжимаемости и несущей способности грунтовых оснований по данным лабораторных и полевых испытаний // Основания и фундаменты зданий в условиях строительства Томска. Томск: Изд-во ТГУ, 1977 С. 41 – 47.
26. О полевых испытаниях грунтов и режимных термометрических наблюдениях на объектах обустройства Бованенковского газового месторождения. Научно-технический отчет № 17644. М.: Фундаментпроект, 1990. 36 с.
27. Полищук А.И., Балюра М.В., Фурсов В.В. Оценка сжимаемости грунтов Томска по результатам штамповых и компрессионных испытаний // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2003. № 1. С. 179 – 186.
28. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83) / НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. М.: Стройиздат, 1986. 415 с.
29. Справочник по строительству на вечномёрзлых грунтах / Под ред. Велли Ю.Я., Докучаева В.И., Фёдорова Н.Ф. Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1977. 552 с.
30. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. М.: Высшая школа, 1973. 448 с.
31. Черняк Э.Р., Чумаченко А.Н. К исследованию просадочности лессовых грунтов штампом // Полевые методы исследования грунтов: Материалы к Всесоюзному совещанию в г. Рязани 14 – 17 октября 1969 г. М.: ЦНИИС, 1969.
32. Kuppusamy T., Buslov A. "Elastic-Creep Analysis of Laterally Loaded Piles." *J. Geotech. Eng.* 113.4 (April 1987): 351 – 365.
33. Eckardt H. "Creep Tests with Frozen Soils Under Uniaxial Tension and Uniaxial Compression," *Proc. 4th Can. Permafrost Conf.* 1982, pp. 394 – 405.
34. Lee M.Y., Fossum A., Costin L.S., Bronowski D. *Frozen Soil Material Testing and Constitutive Modeling. Sandia Report SAND2002-0524.* Sandia National Laboratories, 2002. Web. <<http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/2002/020524.pdf>>.

**АКСЁНОВ В.И. КОЭФФИЦИЕНТЫ ДЛЯ КОРРЕКТИРОВКИ ЗНАЧЕНИЙ МОДУЛЕЙ ДЕФОРМАЦИИ,
ПОЛУЧЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ КОМПРЕССИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ МЁРЗЛЫХ ГРУНТОВ**

35. Lo K.Y. "Secondary Compression of Clays." *J. Soil Mech. and Found. Div., ASCE* 87.SM4 (1961): 61 – 87.
36. Mitchell J.K. "Temperature Effects on the Engineering Properties and Behaviour of Soils." *Proc. of Int. Conference on Effects of Temperature and Heat on Engineering Behavior of Soil*. Washington, 1969, pp. 9 – 28.
37. Mitchell J.K., *Fundamentals of Soil Behavior*. New York: John Wiley & Sons Inc, 1993, 2nd edition.
38. Pantelidis L. "Determining of the Soil Strength Characteristics through the Plate Bearing Test". *Foundations of Civil and Environmental Engineering (FCEE)* 11 (2008): 55 – 65.
39. Parameswaran V.R., Jones S.J. "Triaxial Testing of Frozen Sand." *J. Glaciol.* 27.95 (1981): 147 – 155.
40. Qina Y., Zhanga J., Zhenga B., Maa X. "Experimental Study for the Compressible Behavior of Warm and Ice-rich Frozen Soil Under the Embankment of Qinghai-Tibet Railroad." *Cold Regions Science and Technology* 57.2-3 (July 2009): 148 – 153
41. Sorokin V.A., Fedoseev Yu.G. "Correlation of Results of Plate and Compression Tests on Frozen Soils Under Thawing." *Soil Mechanics and Foundation Engineering* 26.4 (1989): 160 – 161.
42. Terzaghi K. "Evaluation of Coefficients of Subgrade Reaction." *Geotechnique* 5.SM4 (1955): 297 – 326.
43. Zhao S.P., Zhu Y.L., He P. "Recent Progress in Research on the Dynamic Response of Frozen Soil." *Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost*. Eds. M. Philips, S.M. Springman & L.U.Arenson. Zurich, 2003, pp. 1301 – 1306.

Цитирование по ГОСТ Р 7.0.11–2011:

Аксёнов, В. И. Коэффициенты для корректировки значений модулей деформации, полученных в результате компрессионных испытаний мёрзлых грунтов [Электронный ресурс] / В.И. Аксёнов // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. — 2013. — Т. 4. — Вып. 1: Система планета Земля — Стационарный сетевой адрес: 2227-9490e-aprov_r_e-ast4-1.2013.73

CORRECTIVE COEFFICIENTS FOR THE FROZEN SOILS DEFORMATION MODULES DETERMINED BY THE COMPRESSION TESTS

Viktor I. Aksenov, Eng.D. Chief Researcher, OJSC "Fundamentproect"

E-mail: aksenov-v-i@mail.ru

Future of cold regions development is due to relevant cold regions engineering. Adequate knowledge of permafrost conditions presuppose to clarify certain frozen soils characteristics and parameters that are contained in building codes, in rule-books on design and construction, and in State Standards on ones.

In Russian geocryology, a long ago formed opinion is the idea of greater reliability of soils deformation modules obtained by plate-bearing (stamp) tests, than by compression ones.

There were carried out a significant amount of frozen soil compression tests in Russia and abroad in the last few years. As a result, certain researchers suggested that it is necessary to introduce correction factor by the compressibility coefficients and deformation modulus obtained in laboratory conditions, similarly to case of thawed soils.

In order to verify possibility of correcting coefficients introducing I have carried out a series of frozen soils plate-bearing tests ($T -0.5...-4.2^{\circ}\text{C}$, $P 0.1...1.0\text{ MPa}$, plate area $F 40...600\text{ cm}^2$). In this article I summarized some previous, modern and my own experimental data and had deduced coefficients for correction the values of the frozen soil deformation modulus obtained by compression tests. I have shown that the correction coefficient takes values ranging from 2 to 7 depending on the kind of frozen soil, its temperature, and other characteristics. The conclusion of these studies is the fact that one of the most promising approaches is the implementation of stabilometric (triaxial) tests for the correction factor to frozen soils.

Keywords: soil deformation modulus, compression testing, plate-bearing test, frozen ground, correction coefficients.

References:

1. Abelev M.Yu. "Comparison of the Results of Field and Laboratory Studies of Weak Water-saturated Clay's Compressibility." *Materialy III Vsesoyuznogo soveshchaniya 'Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov' [Proceedings of the III All-Union Conference 'Bases. Foundations and Soil Mechanics']*. Kiev: Budivel'nik, 1971, pp. 70 – 73. (In Russian).
2. Agishev A.I. "Relationship Between the Porosity and Deformation Modulus Established by Field Testing of Clay

**АКСЁНОВ В.И. КОЭФФИЦИЕНТЫ ДЛЯ КОРРЕКТИРОВКИ ЗНАЧЕНИЙ МОДУЛЕЙ ДЕФОРМАЦИИ,
ПОЛУЧЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ КОМПРЕССИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ МЁРЗЛЫХ ГРУНТОВ**

- Soils." *Soil Mechanics and Foundation Engineering* 20 (1957): 3–6. (In Russian).
3. Aksenov V.I. *Mechanical Properties Investigation of Frozen Salinized Soils as Basis of Constructions (on Example of Arctic Coast's Soils)*. Synopsis of Sc.D. diss. Moscow: MISI Publisher, 1979. 18 p. (In Russian).
 4. Aksenov V.I. *Salinized Frozen Soils of the Arctic Coast as Basis of Constructions*. Moscow: Vse o mire stroitel'stva Publisher, 2008. 340 p. (In Russian).
 5. Aksenov V.I., Dokuchaev V.V. "Criteria of Plastic-frozen State of Salinized Soils." *Bases and Foundations of Residential and Public Buildings on Permafrost*. Leningrad: Stroyizdat Publisher, 1978. (In Russian).
 6. Amaryan L.S. *Properties of Soft Soils and Methods for Their Study*. M.: Nedra Publisher, 1990. 220 p. (In Russian).
 7. Balyura M.V., Okulova M.N. "Investigating Results of the Characteristics of Soils Lateral Deformability According to Plate-bearing Tests." *Bases and Foundations of Buildings in Construction Conditions at Tomsk*. Tomsk: TGU Publisher, 1977, pp. 31–35. (In Russian).
 8. Berezantsev V.G. "Soils Resistance to Local Load at Constant Negative Temperature." *Materials on Laboratory Investigation of Frozen Soils*. . Moscow: AN SSSR Publisher, 1953. pp. 86–117. (In Russian).
 9. Bezchinnyi N.P. "Compressibility of the Thorton-Sarmatian Ciscarpathians Clays According to the Field, Stabilometric and Compression Tests." *Materialy k Vsesoyuznomu soveshchaniyu "Polevye metody issledovaniya gruntov" (14–17 oktyabrya 1969 g., Ryazan')* [Materials for the All-Union Conference "Field Methods of Subsoils Investigation" (14–17 Oct. 1969, Ryazan')]. Moscow: TsNIIS Publisher, 1969. (In Russian).
 10. Brodskaya A.G. *Deformation of Frozen Soils Under Compression, and Uniaxial Squeeze*. Moscow: Institut merzlotovedeniya im. V.A. Obrucheva AN SSSR Publisher, 1960. 60 p. (In Russian).
 11. Brodskaya A.G. "On Deformation Mechanism of Frozen Soils During Compression." *Strength and Creeping of Frozen Soils*. Ed. K.F. Voitkovsky, Moscow: AN SSSR Publisher, 1963, pp. 140–156. (In Russian).
 12. Brodskaya A.G. *The Compressibility of Frozen Soils*. Moscow: AN SSSR Publisher, 1962. 83 p. (In Russian).
 13. Chernyak E.R., Chumachenko A.N. "To the Plate-bearing Testing of Loessial Subsoils' Subsidence." *Materialy k Vsesoyuznomu soveshchaniyu "Polevye metody issledovaniya gruntov" (14–17 oktyabrya 1969 g., Ryazan')* [Materials for the All-Union Conference "Field Methods of Subsoils Investigation" (14–17 Oct. 1969, Ryazan')]. Moscow: TsNIIS Publisher, 1969. (In Russian).
 14. Eckardt H. "Creep Tests with Frozen Soils Under Uniaxial Tension and Uniaxial Compression." *Proc. 4th Can. Permafrost Conf.* 1982, pp. 394–405.
 15. Euro-Asian Council for Standardization, Metrology and Certification (EASC). *Interstate Standard. GOST 12248-2010. Soils. Laboratory Methods for Determining the Strength and Deformability*. Moscow: MNTKS Publisher, 2011. 156 p. (In Russian).
 16. Gavelis L.P., Maksimov G.N. "Analysis of the Norilsk Area's Soils Under Proof Load." *Soil Mechanics and Foundation Engineering* 3 (1959): N.p. (In Russian).
 17. Ignatova O.I. "Adjustment to Values of Deformation Modulus of Plastic-consistency Clay Soils Defined in the Compression Devices." *Soil Mechanics and Foundation Engineering* 2 (1968): 8–10. (In Russian).
 18. Kuppusamy T., Buslov A. "Elastic-Creep Analysis of Laterally Loaded Piles." *J. Geotech. Eng.* 113.4 (April 1987): 351–365.
 19. Lee M.Y., Fossum A., Costin L.S., Bronowski D. *Frozen Soil Material Testing and Constitutive Modeling*. Sandia Report SAND2002-0524. Sandia National Laboratories, 2002. Web. <<http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/2002/020524.pdf>>.
 20. Lo K.Y. "Secondary Compression of Clays." *J. Soil Mech. and Found. Div. ASCE* 87.SM4 (1961): 61–87.
 21. Mitchell J.K. "Temperature Effects on the Engineering Properties and Behaviour of Soils." *Proc. of Int. Conference on Effects of Temperature and Heat on Engineering Behavior of Soil*. Washington, 1969, pp. 9–28.
 22. Mitchell J.K., *Fundamentals of Soil Behavior*. New York: John Wiley & Sons Inc, 1993, 2nd edition.
 23. N.M. Gersevanov Research, Planning and Surveying Design and Technological Institute of Bases and Underground Constructions. *Manual for the Design of Bases of Buildings and Facilities (to Building Code SNiP 2.02.01-83)*. Moscow: Stroyizdat Publisher, 1986. 415 p. (In Russian).
 24. OJSC Fundamentproekt. *Scientific and Technical Report no17644 'On Soils Field Testing and on Regime Thermometric Observations at the Facilities Equipping the Bovanenkovskoye Gas Field'*. Moscow: Fundamentproekt Publisher, 1990. 36 p. (In Russian).
 25. Okulova M.N., Balyura M.V., Shiryaev V.F., Ponomareva I.S. "Analysis of Soil Bases Compressibility and Bearing Capacity According to Laboratory and Field Tests." *Bases and Foundations of Buildings in Construction Conditions at Tomsk*. Tomsk: TGU Publisher, 1977, pp. 41–47. (In Russian).
 26. Pantelidis L. "Determining of the Soil Strength Characteristics through the Plate Bearing Test". *Foundations of Civil and Environmental Engineering (FCEE)* 11 (2008): 55–65.
 27. Parameswaran V.R., Jones S.J. "Triaxial Testing of Frozen Sand." *J. Glaciol.* 27.95 (1981): 147–155.

**АКСЁНОВ В.И. КОЭФФИЦИЕНТЫ ДЛЯ КОРРЕКТИРОВКИ ЗНАЧЕНИЙ МОДУЛЕЙ ДЕФОРМАЦИИ,
ПОЛУЧЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ КОМПРЕССИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ МЁРЗЛЫХ ГРУНТОВ**

28. Polishchuk A.I., Balyura M.V., Fursov V.V. "Compressibility Evaluation of Soils at Tomsk on the Results of Plate-bearing and Compression Tests." *Herald of Tomsk State University of Architecture and Construction* 1 (2003): 179–186. (In Russian).
29. Qina Y., Zhanga J., Zhenga B., Maa X. "Experimental Study for the Compressible Behavior of Warm and Ice-rich Frozen Soil Under the Embankment of Qinghai-Tibet Railroad." *Cold Regions Science and Technology* 57.2–3 (July 2009): 148–153
30. Russian State Committee for Construction. *Building Code SNiP 2.02.01-83*. Bases and Foundations*. Moscow: GUP TsPP Publisher, 2002. 48 p. (In Russian).
31. Russian State Committee for Construction. *Building Code SNiP 2.02.04-88. Bases and Foundations on Permafrost*. Moscow: TsITP Gosstroya SSSR Publisher, 1990. 56 p. (In Russian).
32. Russian State Committee for Construction. *Rulebook on Design and Construction SP 50-101-2004: Development and Setting of Bases and Foundations of Buildings and Facilities*. Moscow: Gosstroy Rossii Publisher, 2005. 131 p. (In Russian).
33. Sorokin V.A., Fedoseev Yu.G. "Correlation of Results of Plate and Compression Tests on Frozen Soils Under Thawing." *Soil Mechanics and Foundation Engineering* 26.4 (1989): 160-161.
34. Terzaghi K. "Evaluation of Coefficients of Subgrade Reaction." *Geotechnique* 5.SM4 (1955): 297–326.
35. Tsytovich N.A. *Mechanics of Frozen Soils*. Moscow: Vysshaya shkola Publisher, 1973. 448 p. (In Russian).
36. Velli Yu.Ya. *Sustainability of Buildings and Facilities in the Arctic*. Leningrad: Strotizdat Publisher, 1973. 152 p. (In Russian).
37. Velli Yu.Ya., Dokuchaeva V.I., Fedorova N.F. eds. *Handbook of Construction on Permafrost*. Leningrad: Stroyizdat, Publisher, 1977. 552 p. (In Russian).
38. Velli Yu.Ya., Grishin P.A. "On the Bearing Capacity of Saline Permafrost Soils." *Proceedings of Comprehensive Planning and Surveying and Scientific Research Institute of Maritime Transport "Soyuzmorniproekt"*. Issue 3: *Bases and Foundations Under Permafrost*. Moscow: Soyuzmorniproekt Publisher, 1963. pp. 10–35. (In Russian).
39. Votyakov I.N. *Physical and Mechanical Properties of Central Yakutia Permafrost Soils*. Moscow: AN SSSR Publisher, 1961. 64 p. (In Russian).
40. Vyalov S.S. "Long-term Strength of Frozen Soils and Permissible Pressure on Ones." *Proceedings of the Igarka Scientific Research Permafrost Station*. Moscow: AN SSSR Publisher, 1954, issue 1, pp. 22–91. (In Russian).
41. Vyalov S.S. "Subsidence of the Experimental Stamp on Plastic Frozen Soils." *Soil Mechanics and Foundation Engineering* 5 (1978). (In Russian).
42. Vyalov S.S. *Rheological Properties and Bearing Capacity of Frozen Soils*. Moscow: Izd-vo AN SSSR Publisher, 1959. 191 p. (In Russian).
43. Zhao S.P., Zhu Y.L., He P. "Recent Progress in Research on the Dynamic Response of Frozen Soil." *Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost*. Eds. M. Philips, S.M. Springman, L.U. Arenson. Zurich, 2003, pp. 1301–1306.

Cite MLA 7:

Aksenov, V. I. "Corrective Coefficients for the Frozen Soils Deformation Modules Determined by the Compression Tests." *Elektronnoe nauchnoe izdanie Al'manakh Prostranstvo i Vremya, Spetsialny vypusk Sistema planeta Zemlya [Electronic Scientific Edition Almanac Space and Time. Special Issue 'The Earth Planet System']* 4.1 (2013). Web. <2227-9490e-apovr_e-ast4-1.2013.73>. (In Russian).