

## ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТАЛЫХ И МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ (г. Кызыл)

Майны Ш.Б.

Тувинский государственный университет

## STUDYING OF PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF THAWED AND FROZEN SOIL (Kyzyl)

Mayny Sh.B.

*Изучение физико-механических свойств мерзлых и талых грунтов, обусловленных сезонными процессами промерзания – оттаивания, в значительной мере влияет на их физико-механические свойства и являются количественными характеристиками, определяющими силовое воздействие грунтов на подземный трубопровод.*

**Ключевые слова:** сезонное промерзание грунта, инженерные изыскания.

*Studying of physicomachanical properties of the frozen and thawed soil, caused by seasonal processes of promerzaniye – thawing, considerably, influences their physicomachanical properties, and are the quantitative characteristics defining power influence of soil on the underground pipeline.*

**Key words:** seasonal is freezing a ground, engineering researches.

На территории Республики Тыва распространены грунты с глубоким сезонным промерзанием, которые также имеют «криогенную» специфику: глубина сезонного промерзания достигает 3-4 м и более, активно проявляется ряд криогенных процессов (морозное пучение грунтов, наледообразование, морозобойное растрескивание грунта и др.). Ежегодный ущерб народному хозяйству от вредного воздействия сил морозного пучения грунтов начисляется несколькими десятками миллионов рублей [1].

Тепловой режим мерзлых и талых грунтов, обусловленный сезонными процессами промерзания – оттаивания, в значительной мере влияет на их физико-механические свойства, которые, в свою очередь, являются количественными характеристиками, определяющими силовое воздействие грунтов на подземный трубопровод.

Эти характеристики определяются на основе инженерных изысканий трассы и прогноза возможных изменений грунтовых условий во времени, связанных со строительством и дальнейшей эксплуатацией трубопровода [1].

Под инженерными изысканиями понимается комплексный производственный процесс, обеспечивающий строительное проектирование исходными данными о природно-климатических и инженерно-геологических условиях трасс сооружаемого

трубопровода. Учитывая ограниченность данных о грунтах по длине трубопровода, желательно их уточнение во время проведения земляных работ при его строительстве.

При проведении инженерных изысканий и прогнозировании необходимо учитывать конструктивное решение трубопровода, технологические параметры – массовый расход транспортируемого продукта, его температуру и давление, а также возможные способы стабилизации высотно-планового положения трубопровода – анкера, пригрузки, компенсаторы и т.д.

На основании инженерных изысканий и в соответствии с ГОСТом [3] на классификацию грунтов по комплексу признаков устанавливаются классы, группы, подгруппы, типы, виды и разновидности грунтов.

В список физических характеристик грунтов, определяемых ГОСТом [3], входят плотность грунта  $\rho_{gp}$ , плотность скелета  $\rho_d$ , плотность минеральных частиц  $\rho_s$ , удельный вес грунта  $\gamma_{gp}$ , пористость  $n$ , коэффициент пористости  $e$  и т.д.

Основным параметрами механических свойств талых грунтов, определяющих их силовое взаимодействие с трубопроводом и уровень напряженно-деформированного состояния последнего, являются: угол внутреннего трения  $\varphi_{gp}$ , удельное сцепление  $c_{gp}$ , модуль деформации  $E_{gp}$ , пределы

прочности на сжатие  $R_0$  и сдвиг  $\tau_{zp}$ , коэффициент Пуассона  $V_{zp}$  и т.д.

Одним из важных факторов, от которых зависят физико-механические и теплофизические характеристики грунтов, является влажность грунта  $w$ . Именно наличие влаги в порах грунтов подразделяет их на талые и мерзлые, определяя далее их свойства.

Все расчеты трубопроводов на прочность и устойчивость должны выполняться с использованием расчетных значений характеристик:  $E, c, \varphi, \rho$ , которые равны соответствующим значениям нормативных характеристик, деленным на коэффициент надежности по грунту  $n_{zp}$  [1].

Коэффициент надежности по грунту  $n_{zp}$  устанавливается в зависимости от изменчивости характеристик, числа определений и значений доверительной вероятности  $\alpha$ , которая принимается равной 0,95 для трубопроводов категории В, 0,9 – для категории I и II и 0,85 – для категории III и IV.

Прогностические характеристики талых грунтов обычно определяются для грунтов ненарушенной структуры. Для грунтов обратной засыпки расчетные значения модуля деформации  $E_0$ , удельного сцепления  $c_0$  и угла внутреннего трения  $\varphi_0$  принимаются равными:  $E_0 = \eta_{zp} E_{zp}$ ;  $c_0 = \eta_{zp} c_{zp}$ ;  $\varphi_0 = \eta_{zp} \varphi_{zp}$ , где  $E_{zp}$ ,  $c_{zp}$  и  $\varphi_{zp}$  – расчетные значения характеристик грунта природного сложения;  $\eta_{zp}$  – коэффициент, учитывающий снижение прочностных показателей, зависящий от вида грунта, его плотности, влажности и лежащий в диапазоне 0,4 – 0,8 [1].

По современным представлениям, в том числе по определением, принятым в нормативных документах, мерзлыми называются грунты, имеющие отрицательную температуру и содержащие лед [4].

Мерзлый грунт – сложное многофазное природное образование, состоящее из четырех основных компонентов: минеральных частиц, льда, незамерзающей воды и газообразных включений (пары, газы). Грунты всех видов относятся к мерзлым, если:

- имеют отрицательную температуру;
- содержат в своем составе лед.

При отсутствии льда скальные грунты с отрицательной температурой называются морозными.

Свойства мерзлых грунтов в значительной степени зависят от количества в них незамерзшей воды  $W_w$  (влажность грунта за счет незамерзшей воды), которое определяется экспериментально, а для технических расчетов может быть рассчитано по формуле:

$$W_w = k_w W_p, \quad (1)$$

где  $K_w$  – коэффициент, принимаемый по табл. СНиП 2.02.04-88 в зависимости от числа пластичности  $I_p$  и температуры грунта;  $w_p$  – влажность грунта на границе раскатывания, доли единицы.

Одним из основных классификационных показателей мерзлых грунтов является криогенная структура, определяемая характером расположения ледяных включений [4].

В зависимости от ориентировки, относительного расположения и распределения различных по форме и размерам ледяных включений и льда – цемента грунт имеет различную криогенную текстуру – массивную или слоисто-сетчатую. При массивной текстуре в мерзлом грунте содержится только поровый лед (лед-цемент), при слоисто-сетчатой, кроме того, лед в виде ледяных включений (линз, прослоек) (рис. 1).

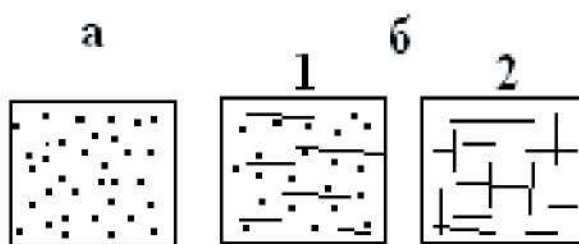


Рис. 1 Криогенные текстуры мерзлого грунта:  
а – массивная; б – слоисто-сетчатая (1 – параллельно-слоистая; 2 – сетчатая)

Мерзлые грунты массивной текстуры обладают наибольшим механическим сопротивлением в мерзлом состоянии и дают наименьшую осадку при оттаивании.

Важнейшими физическими характеристиками мерзлых грунтов являются суммарная влажность  $W_{tot}$  и льдистость  $i_l$ .

Суммарная влажность отражает отношение массы всех видов воды (в том числе включений льда), содержащейся в мерзлом грунте, к массе твердых частиц в том же объеме. Она может быть представлена в виде следующей суммы:

$$W_{tot} = W_{ie} + W_i + W_w, \quad (2)$$

где  $W_{ie}$ ,  $W_i$ ,  $W_w$  – влажность грунта за счет соответственно ледяных включений, порового льда и незамерзшей воды.

Суммарная влажность значительно влияет на прочностные и теплофизические свойства мерзлых грунтов. Наибольшую прочность мерзлые грунты имеют при некоторой «оптимальной» влажности. С увеличением суммарной влажности объемная теплоемкость и теплопроводность мерзлого грунта также увеличиваются. Заметим, что для немерзлых грунтов существует обратная зависимость. При одной и той же влажности теплоемкость мерзлого грунта меньше, а теплопроводность, наоборот, больше чем того же самого грунта, находящегося в талом состоянии.

По физическому состоянию мерзлые грунты разделяются на две категории:

- твердомерзлые и малосжимаемые с большим модулем упругости, частицы, которых прочно сцементированы льдом;
- пластичномерзлые, содержащие большое количество незамерзшей воды, в результате чего в них при наличии механических напряжений появляются необратимые пластические деформации.

Твердомерзлое состояние грунтов обычно достигается с понижением температуры, когда большая часть содержащейся в них воды замерзает.

В районах г. Кызыла инженерно-геологические условия территории в пределах поймы, первой и второй надпойменных террас долины р. Енисей (на

которых располагается город) неравнозначны в отношении освоения под строительство.

Пойменная часть характеризуется более сложными инженерно-геологическими условиями. Хотя по составу аллювий пойменных отложений относительно однороден и отмечается вполне удовлетворительными расчетными характеристиками, но в пределах поймы следует учитывать наличие площадей занятых болотами, затопляемость высокими паводковыми водами, а также подтопление ее в паводки.

Грунтами оснований в пределах поймы будут служить песчано-гравийные осадки, супеси, реже пески и суглинки. Расчетное давление на грунты при глубине заложения фундаментов 1,5-2,0 м: на супеси – 1,0 кг/см<sup>2</sup>, на пески – до 2,0 кг/см<sup>2</sup>, на галечники до 5 кг/см<sup>2</sup>.

Глубина заложения фундаментов при условии наличия оснований из супесей и песков зависит от глубины промерзания и должна быть не менее расчетной глубины промерзания.

Грунтовые воды залегают на глубине 1,0-2,5 м. Амплитуда колебаний грунтовых вод составляет 1,5-2,0 м во время весенних и осенних паводков. Грунтовые воды гидравлически связаны с р. Енисей. По своим физико-химическим свойствам являются неагрессивными по отношению к бетону на обычном портландцементе.

Строительство возможно на обычных ленточных фундаментах. На отдельных участках, в местах с мощными отложениями супесей и суглинков рекомендуется применить свайные основания.

Инженерно-геологические условия первой надпойменной террасы неравноценны, т. к. западная часть вместе с прилегающими с юга болотами, находится в зоне более значительного воздействия паводковых вод, чем восточная, где влияние паводковых вод почти не сказывается. Некоторое различие наблюдается и в геологическом строении обеих территорий. На возвышенных участках кроме типичного аллювия развиты покровные суглинки, мощностью до 1,5-2,0 м. На пониженных участках среди аллювиальных отложений часто встречаются торфяники и прослойки песков в плавунном состоянии. На глубине 3-5 м состав аллювия более однороден.

Нормативное давление на заторфованные и иловатые грунты менее  $1 \text{ кг/см}^2$ . При освоении территорий с мощным слоем заторфованных грунтов необходимо применение свайных фундаментов, а при незначительной мощности они подлежат удалению.

Коэффициент просадочности суглинков изменяется от 0,005 до  $0,032 \text{ см}^2/\text{кг}$ . Так как мощность просадочной толщи невелика, поэтому при освоении и проектировании просадочные свойства грунтов не должны учитываться.

Грунтовые воды в пределах первой надпойменной террасы залегают на глубине ниже 3 м. Амплитуда колебаний уровня грунтовых вод составляет 1-1,5 м.

Кроме основного грунтового потока в пределах первой надпойменной террасы встречается грунтовая вода типа «верховодка», залегающая линзами на участках развития мерзлых грунтов. Глубина ее залегания от 0,5 до 1,5 м. Наличие «верховодки» часто придает песчаным грунтам свойства плавун.

Для первой надпойменной террасы характерно развитие среди аллювиальных отложений мерзлых грунтов. Поэтому при проектировании зданий на суглинках и супесях необходимо учитывать глубину промерзания грунтов (максимальная около 3,0 м). Во избежание деформаций зданий и сооружений, фундаменты следует закладывать ниже глубины промерзания. При частичном оттаивании мерзлого грунта в летнее время может наблюдаться подтопление подвальных помещений, в связи, с чем необходима гидроизоляция заглубленных частей зданий и сооружений.

Для второй надпойменной террасы и склонов водоразделов характерно однообразие геологического строения и относительно глубокое залегание уровня грунтовых вод.

Участки второй надпойменной террасы и склонов водоразделов сложены, в основном, скальными породами песчаниками и конгломератами юры, выходящими иногда на поверхность. На второй надпойменной террасе коренные породы прикрыты крупнообломочными хорошо сцементированными материалами древнего аллювия мощностью до 5 м. Эти покровные отложения почти лишены почвенно-растительного слоя, в связи, с чем в пределах II надпойменной террасы очень мало растительности.

Несущими грунтами оснований будут являться валунно-галечные и коренные отложения с допустимым расчетным давлением  $4-5 \text{ кг/см}^2$ .

Грунтовые воды залегают на большой глубине и препятствием к строительству являться не будут. Грунтовые воды по условиям залегания и качественным показателям близки к грунтовым водам первой надпойменной террасы.

Вдоль уступа второй надпойменной террасы в южной части планируемой территории (староречье р. Малый Енисей) наблюдается заболоченность, что связано с выходом грунтовых вод в основании террасы.

Перед освоением этой территории под строительство необходимо осуществить мероприятия по понижению уровня грунтовых вод и предусмотреть упорядочение поверхностного стока. При выявлении слабых грунтов рекомендуется применение свайных фундаментов.

Физико-механические свойства грунтов являющихся грунтами основания на территории г. Кызыла (данные ТИСИЗа, г. Красноярск): приведены в таблице 1.

Таблица 1

## Физико-механические свойства грунтов

Наименование грунтов	Консистенция	Объемн. вес, г/см <sup>3</sup>	Кэф. пористости	Пористость, %	Удельное сцепление, кг/см <sup>2</sup>	Угол внутр. трения, градус	Комп-ресс. модуль деформации	Расчетное давление кг/см <sup>2</sup>
Супесь	0	1,58-1,71	0,84	45,4	0,015	28	8,0	2,5
Песок пылеватый	-	1,79	-	0,77	0,011	33	7,2	1,5-2,0
Песок мелкий	-	1,43	0,87	0,80	-	30	13	2,0
Песок средней Крупности	-	1,46-1,55	0,75	0,75	0,008	37	13	3,0
Суглинок	0	1,65-1,7	0,35	0,35	0,04	22	3,3	2,5-3,0
Гравийно-галечный грунт		-	-	-	-	-	-	3,5-5,0

## Литература:

1. Орлов В.О., Дубнов Ю.Д., Меренков Н.Д. Пучение промерзающих грунтов и его влияние на фундаменты сооружений. – Л.: Стройиздат, 1977. – 184 с.

2. Агапкин В.М., Борисов С.Н., Кривошеин Б.Л. Справочное руководство по расчетам трубопроводов. – М.: Недра, 1987. – 191 с.

3. ГОСТ 251100-95 – «Грунты. Классификация».

4. Роман Л.Т. Механика мерзлых грунтов. - М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2002. - 426 с.