

5. Харо, О. Использование отходов переработки горных пород при производстве нерудных строительных материалов / О. Харо, Н. Левкова, М. Лопатников, Т. Горностаева // Строительные материалы. – 2003. – № 9. – С. 18–19.

Максимов Сергей Валентинович, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Стро-

ительное производство и материалы» УлГТУ. Имеет монографии, учебные пособия и статьи, изобретения и патенты в области строительных материалов.

Дербакова Екатерина Александровна, ассистент кафедры «Строительное производство и материалы» УлГТУ.

УДК 624.139

С. В. МАКСИМОВ, В. С. ИВКИН, С. А. ТОПТЫГИН

РЫХЛЕНИЕ МЁРЗЛЫХ ГРУНТОВ

Прочностные и деформационные свойства мёрзлых грунтов зависят от: пористости грунта, его отрицательной температуры, общего содержания и расположения льдоцементных связей (льди-стости). Для замера прочности грунта в лабораторных и полевых условиях используют динамический плотномер ДорНИИ. Процесс разработки мёрзлых грунтов рекомендуется вести таким рабочим органом, таким способом, при котором в мёрзлом грунте будут преобладать деформация разрыва (растяжения), так как сопротивление мёрзлого грунта резанию в 9 раз, а статическому вдавливанию в 21 раз больше, чем сопротивление грунта разрыву. Разработана новая конструкция газодинамического рыхлителя.

Ключевые слова: мёрзлый грунт, пористость, льдоцементные связи, плотномер, прочность, механическое воздействие, газодинамическое воздействие.

Мёрзлый грунт представляет собой сложное четырёхфазное природное образование состоящее из:

- 1) твёрдых минеральных частиц;
- 2) льда – цемента, кристаллизующегося в порах и пустотах грунта;
- 3) незамерзшей и прочносвязной воды;
- 4) газообразных компонентов (пары, газы), находящиеся в порах и пустотах грунта.

Твёрдые минеральные частицы и мелкие обломки горных пород образуют минеральный скелет грунта, они неодинаковы по крупности, имеют различные размеры по разным направлениям и при одной и той же плотности грунта могут быть по разному в нём распределены и по разному ориентированы.

Частицы, составляющие минеральный скелет грунта, делятся по размеру на:

- глинистые (менее 0,005) мм;
- пылеватые (0,05÷0,005) мм;
- песчаные (2÷0,05) мм;
- гравий (20÷2) мм;
- галька и щебень – более 20 мм.

Кроме глин, песков, пылеватых грунтов, имеются грунты смешанного происхождения, которые именуются супесями (супесками), суглинками с гравелистыми и каменистыми частицами.

Пористость – характерное свойство всех грунтов, значительно влияющее на закономерности их сопротивления механическому воздействию. Вследствие неправильной формы и неодинаковых размеров минеральные частицы грунта прилегают неплотно, образуя промежутки – поры, повышающие деформативность грунтов. При сложении грунтов из частиц различной крупности пористость уменьшается в результате заполнения крупных пор мелкими минеральными частицами.

Основным признаком замерзания грунтов являются кристаллизация в их порах и пустотах льда. Процесс кристаллизации льда в порах грунта сопровождается смерзанием минеральных частиц грунта. Эти явления формируют новые свойства замерзших грунтов, отличные от свойств немёрзлых, причём первостепенную роль играет процесс цементации (спаянности) минеральных частиц льдом. Грунт превращается в сплошной и прочный монолит. Однако при повышении и понижении их температуры (даже в

© С. В. Максимов, В. С. Ивкин,
С. А. Топтыгин, 2007

области отрицательных температур) происходят существенные изменения прочностных свойств грунтов.

Помимо льда в мёрзлых грунтах присутствуют минералы, которые существуют только при отрицательных температурах:

- 1 углекислый натрий Na_2CO_3 – с температурой замерзания $-2,1^\circ\text{C}$;
- 2 хлористый магний MgCl_2 – с температурой замерзания $-3,9^\circ\text{C}$.

При замерзании влажные грунты увеличиваются в объёме. Увеличение объёма грунтов при замерзании обуславливается переходом содержащейся в грунте воды из жидкого в твёрдое состояние. Объём воды при замерзании даёт 1,091 объёма льда, то есть происходит увеличение объёма на 9,1%. По мнению Н. А. Цытовича [1], вода в жидкой фазе (незамёрзшая вода) всегда содержится в мёрзлых грунтах.

Основное положение теории Н. А. Цытовича, названное «основным принципом механики мёрзлых грунтов или принципом равновесного состояния воды в мёрзлых грунтах», заключается в том, что в мёрзлом грунте в природных условиях всегда содержится некоторое количество воды в жидкой фазе.

Существование в мёрзлом грунте воды в жидкой фазе Н. А. Цытович объясняет тем, что под действием огромных электромолекулярных сил притяжения поверхности минеральных частиц прочносвязанная вода не может перейти в кристаллическую решётку льда, даже при температурах ниже -70°C [1]. Замерзает только рыхлосвязанная вода.

Количество незамёрзшей воды в мёрзлых грунтах уменьшается с понижением отрицательной температуры грунта. Определение содержания незамёрзшей воды в мёрзлых грунтах производится с помощью чувствительного калориметра [1]. Только замёрзшая вода (лед) при таянии выделяет скрытую теплоту льдообразования (80 кал/г). Незамёрзшая вода скрытой теплоты таяния не имеет.

Газообразными компонентами мёрзлых грунтов будут являться пары воды и воздух. При частичном заполнении пор и пустот грунта незамёрзшей водой и льдом их остальной объём занимают воздух и пары воды.

Льдоцементные связи являются главными связями, которые обуславливают прочностные и деформационные свойства мёрзлых грунтов. Они зависят от очень многих факторов: величины отрицательной температуры мёрзлого грунта, общего содержания льда в мёрзлых грунтах (льди-стости), строения и крупности ледяных включений, их положения по отношению к направлению

действующих усилий, содержания во льду незамёрзшей воды, включений газов и пустот.

Учитывая, что сопротивление разрушению мёрзлого грунта изменяется в зависимости от отрицательной температуры, влажности, пористости и других физических параметров грунта, исследователи обратились к оценке его прочности с помощью экспресс-метода по числу С динамического плотномера ДорНИИ [2.3]. Динамический плотномер, более известный под названием «ударник ДорНИИ», получил применение в дорожном строительстве для оценки несущей способности дорог. Прибор представляет собой цилиндрический стержень сечением 1 см^2 , на который надета гиря массой 2,5 кг. Падая с высоты 0,4 м, гиря ударяется об упорную шайбу на стержне, заставляя его внедряться в грунт. Работа за каждый удар равна 10 Дж. Работа, необходимая для внедрения в грунт наконечника плотномера на глубину $h=10\text{ см}$, и является условным критерием прочности грунта.

Разрушаемость мёрзлых грунтов во многом зависит от их прочности. Различают сопротивляемость мёрзлых грунтов разрушению при различных видах деформации: разрыва, сжатия, резания, вдавливания.

При механических способах разрушения мёрзлых грунтов следует применять такие методы разрушения и такие рабочие органы, при которых основной деформацией является разрыв, то есть отрыв мёрзлого грунта от массива, так как сопротивление мёрзлого грунта резанию в 9 раз, а статическому вдавливанию в 21 раз больше, чем сопротивление грунта разрыву [2].

Среди многочисленных способов разрушения мёрзлых грунтов в последнее время получили наибольшее распространение методы, основанные на динамическом воздействии на грунт разрушающей нагрузки, что позволяет развивать импульсы огромной мощности и разрушать мёрзлые грунты практически любой прочности. Высокая эффективность разрушения достигается за счёт того, что при высоких скоростях нагружения массива последний разрушается хрупко с доминирующим процессом трещинообразования. При этом рабочее тело, которое может быть как твёрдым (клин), так и газообразным (газ высокого давления), действует на берега лидирующих трещин, способствуя росту последних. Поскольку наиболее энергоёмкой фазой процесса является начальный момент взаимодействия рабочего органа с грунтом, соответствующий зарождению и страгиванию трещин, а поддержание развития трещин требует меньшего усилия, то расширение сжатого газа приводит к расклиниванию трещин, интенсивному процессу тре-

щинообразования, определяя тем самым низкую удельную энергоёмкость процесса разрушения [4, 5, 6, 7, 8].

При рыхлении грунта газодинамическими рыхлителями можно выделить два характерных этапа работы:

первый этап — завинчивание рыхлителя на расчётную глубину рыхления с одновременным заполнением рабочей камеры сжатым воздухом высокого давления;

второй этап — рыхление грунта сжатым воздухом.

Завинчивание рабочего оборудования на заданную глубину рыхления основано на использовании псевдопластических свойств мёрзлых грунтов, которые при приложении нагрузки способны уплотняться за счёт ликвидации объёма пустот между минеральными частицами и разрушения льда-цемента. При этом дробление и транспортирование вытесненного объёма грунта на поверхность не происходит. В мёрзлом грунте рабочим органом нарезается винтовая линия:

грунт уплотняется и отжимается в ненарушенный массив.

Рабочий орган плотно обжимается раздвигающимся в процессе завинчивания грунтом, что позволяет создать при разрядке рабочей камеры в мёрзлом грунте давление, достаточное для его эффективного разрушения. Эффективность разрушения достигается за счёт комбинированного воздействия на среду: механического — заключающегося в создании напряжённого состояния и образования начальных трещин в зоне выхлопных отверстий, возникающих при завинчивании рыхлителя в грунт, и пневматического — в результате поршневого действия газов, истекающих из выхлопных отверстий рыхлителя, которые проникают в начальные трещины, расклинивают их, способствуя отделению грунта от массива [4, 5, 6, 7, 8].

При выборе источника получения сжатого газа предпочтение следует отдать компрессорным установкам, которые имеют небольшую массу, высокую степень надёжности и высокую производительность (таблица 1).

Таблица 1

Технические характеристики компрессоров высокого давления

Тип компрессора	Производительность по нагнетанию, л/мин	Давление нагнетания, МПа	Потреб. мощность, кВт·ч	Габаритные размеры, мм			Масса, кг
				длина	ширина	высота	
КВД-1,6	2,2	15,0	8,0	580	310	710	170
ДК-200	2,0	20,0	8,0	430	450	490	85
1К	8,0	20,0	26,0	885	825	1295	700
К-5	16,0	22,5	50,0	1200	1080	1820	1350
К-6	8,0	22,5	35,0	850	580	1355	600
К-7	6,5	22,5	26,0	832	585	1000	445
ДК-2	8,0	23,0	47,0	2200	890	860	820
ДК-10	9,0	40,0	96,0	2200	890	860	820
ЭК-15-1М	16,0	20,0	42,0	1185	860	1535	1200

Выбор рациональных режимов работы землеройных строительных машин связан с необходимостью определения сопротивлений мёрзлого грунта разрыву, сжатию.

В этой связи целесообразно использовать полученные В. П. Фомичевым [3] нелинейные зависимости между сопротивлениями грунтов разрыву σ_p , сжатию $\sigma_{сж}$ и числом ударов C плотномеров ДорНИИ:

$$\sigma_p = 0,04C + 0,0001C^2, \quad (1)$$

$$\sigma_{сж} = 0,2C + 0,0004C^2. \quad (2)$$

Между модулем упруго-пластических деформаций мёрзлого грунта, сопротивлением сжатию и числом ударов C плотномеров ДорНИИ В. П. Фомичевым так же установлены следующие нелинейные зависимости:

$$E_g = 50\sigma_{сж} + 0,25\sigma_{сж}^2, \quad (3)$$

$$E_g = 10C + 0,05C^2. \quad (4)$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цытович, Н. А. Механика мёрзлых грунтов : учебное пособие / Н. А. Цытович. — М. : Высшая школа, 1973. — 448 с.

2. Машины для земляных работ : учебное пособие для вузов / А. Н. Зеленин [и др.]; под ред. А. Н. Зеленина. — М. : Машиностроение, 1975. — 424 с.

3. О классификации грунтов по физико-механическим характеристикам / В. П. Фомичев // Строительные и дорожные машины. — 1971. — № 4. — С. 19.

4. А. с. 1421012 СССР, МКИ Е02 F5/32. Рыхлитель газодинамического действия / В. С. Ивкин. — №4095259/03; заявл. 16.07.86, опубл. 10.05.99, Бюл. №13. — 7 с.

5. Пат. №2209891 РФ, МПК⁷ Е 02 F 5/32 Газодинамический рыхлитель / В. С. Ивкин; заявитель и патентообладатель Ульянов. гос. техн. ун-т. — №2002110492/03; заявл. 19.04.02; опубл. 10.08.03, Бюл. №22. — 12 с.

6. Пат. №2231601 РФ, МПК⁷ Е 02 F 5/30 Газодинамический рыхлитель / В. С. Ивкин, В. С. Щеликалин; заявитель и патентообладатель Ульянов. гос. техн. ун-т. — №2003108241/03; заявл. 25.03.03; опубл. 27.06.04, Бюл. №18. — 16 с.

7. Пат. №2236514 РФ, МПК⁷ Е 02 F 5/32 Газодинамический рыхлитель / В. С. Ивкин, Е. К. Кузьмин; заявитель и патентообладатель Ульянов. гос. техн. ун-т. — №2003116529/03; заявл. 03.06.03; опубл. 20.09.04, Бюл. №26. — 15 с.

8. Пат. №2244784 РФ, МПК⁷ Е 02 F 5/32 Газодинамический рыхлитель / В. С. Ивкин Е. К. Кузьмин; заявитель и патентообладатель Ульянов. гос. техн. ун-т. — №2003130251/03; заявл. 10.10.03; опубл. 20.01.05, Бюл. №2. — 11 с.

.....

Максимов Сергей Валентинович, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Строительное производство и материалы» УлГТУ. Имеет монографии, учебник, учебные пособия и статьи, изобретения и патенты в области строительных материалов.

Ивкин Валерий Семёнович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции» УлГТУ. Имеет учебные пособия и статьи, изобретения и патенты в области механизации строительных работ.

Топтыгин Станислав Александрович, студент 5-го курса УлГТУ.