

НИИОСП им. Н. М. Герсевича. – М. – 1980. – 44 с.

2. Полищук, А.И. Экспериментальные исследования в натуральных условиях напряженно-деформированного состояния оснований под жесткими штампами: Автореферат диссертации на соиск. уч. степени канд. техн. наук. / А. И. Полищук. – М. – 1979. – 24 с.

3. Сидорчук, В.Ф. Основные метрологические требования при аттестации преобразователей давления грунта (ИДГ) / В. Ф. Сидорчук // «Исследования по строительным конструкциям и строительной механике». Труды у-та / ТГУ. – Томск, 1982. – С. 195-199.

УДК 624.139.2

*С.И. Васильев\*, С.П. Ереско*

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЗОННО-МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ СИБИРИ И СЕВЕРА

*Приводятся результаты экспериментальных исследований прочностных характеристик сезонно-мерзлых и вечно-мерзлых грунтов Сибири и Севера. Получены количественные характеристики грунтовых условий эксплуатации машин для всех административных единиц региона, что позволяет прогнозировать сопротивляемость грунтов разработке и оптимизировать состав технологических машин для разработки грунтов в зависимости от региона и климатических условий эксплуатации.*

**Ключевые слова:** грунт, прочность, гранулометрический состав, глубина залегания, промерзание, регион.

В зонах распространения сезонно-мерзлых и вечно-мерзлых грунтов планируется выполнить 13,7÷14,8 % региональных объемов земляных работ в период до 2020 года. В зоне Севера эти цифры равны 27,5÷30,2 %, в макроклиматическом районе «ХЛ» 28,2÷31,0 %.

На прочностные характеристики, определяющие сопротивляемость мерзлых грунтов разработке, влияют температура, гранулометрический состав и влажность. Исследования позволили получить коли-

чественные характеристики грунтовых условий эксплуатации машин для всех административных единиц региона. Результатом обработки массива экспериментальных исследований грунтов с каменными включениями [1] за период с 1984 по 1995 гг. явились уравнения аппроксимации распределения отрицательных температур и прочности грунта в зависимости от глубины залегания и режима промерзания ( $T_i$ ) в Красноярском крае, Республике Саха, Иркутской области и Республики Бурятия.

\* - автор, с которым следует вести переписку.

Вероятность распределения отрицательных температур и прочности мерзлых грунтов Восточной Сибири

Наименование исследуемой зоны	Температурный режим	Распределение отрицательных температур (t) по глубине (H)	Распределение прочности грунта (C) по глубине (H)
Красноярский край (Северная зона)	$T_2$	$t = -5,9 + 8,7H - 2,8H^2$	$C = 228 - 201H$
	$T_3$	$t = -10,8 + 10,5H - 2,6H^2$	$C = 276 - 119H$
	$T_4$	$t = -9,7 + 7,6H - 1,6H^2$	$C = 232 - 48H$
Республика Саха	$T_4$	$t = -12,5 + 10,1H - 2,1H^2$	$C = 277 - 57H$
Республика Бурятия	$T_2$	$t = -8,1 + 16,3H - 7,7H^2$	$C = 236 - 256H$
Иркутская обл.	$T_2$	$t = -8,7 + 18,1H - 8,5H^2$	$C = 268 - 322H$
	$T_3$	$t = -5,2 + 5,7H - 1,4H^2$	$C = 208 - 134H$
БАМ	$T_2$	$t = -6,3 + 8,9H - 3,2H^2$	$C = 235 - 198H$
	$T_3$	$t = -12,9 + 10,7H - 2,2H^2$	$C = 377 - 105H$
	$T_4$	$t = -11,5 + 11,3H - 1,8H^2$	$C = 285 - 65H$

Одним из основных факторов, влияющих на сопротивляемость мерзлых грунтов резанию, является влажность. На рис. 1 приведены графики зависимости среднемаксимальной касательной составляющей усилия резания от влажности грунтов, содержащих гравийно-галечниковые включения. При проведении экспериментальных исследований влажность грунтов изменялась от 5 до 28 %.

Зависимости показывают, что при небольшой влажности вмещающей среды усилия резания представляют собой небольшие величины и существенно возрастают при увеличении влажности.

Графические зависимости 1, 2, 3 получены для условий резания мерзлого грунта резцами, установленными под углом 80°; ширине резцов 35 мм и подаче 16 мм. Зависимость 1 соответствует усилию в условиях заблокированного резания, зависимость 2 – усилию на центральном резце, зависимость 3 – усилию на крайнем резце, зависимость 4 – усилию на центральном резце при прочих равных условиях и подаче 32 мм. Данные зависимости подтверждают, что образовавшегося при замерзании льда недостаточно для цементирования грунта в плотный монолит, в результате чего в грунте образуется так называемая «сухая» мерзлота, и усилия резания в этом случае в боль-

шой степени будут зависеть от размеров гравийно-галечниковых включений.

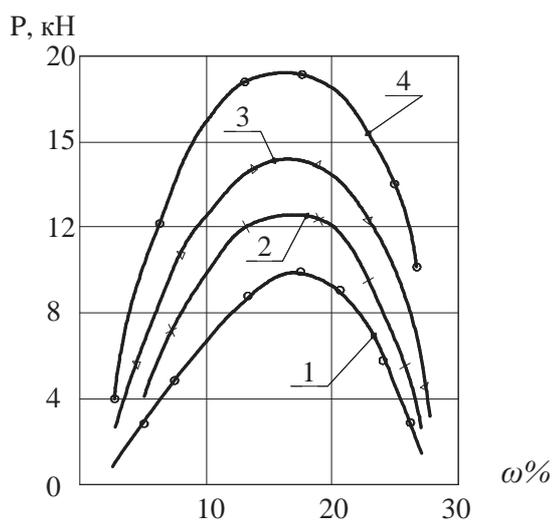


Рис. 1. Зависимость усилия резания от влажности

Разрушение грунта происходит в наиболее слабых местах – по плоскостям ледяных прослоек. По мере увеличения влажности усилия резания вначале возрастают до определенной величины, после чего наблюдается их спад. Для нашего случая эта влажность составляет 17-19 %. Избыток влаги при замерзании, освобождаясь, обволакивает отдельные включения водяной пленкой. С повышением влажности толщина пленки увеличивается, происходит раздвигание частиц грунта замерзающей водой и связь включения

Таблица 2

Виды и гранулометрические составы исследуемых грунтов с гравийно-галечниковыми включениями

Тип грунта	Гранулометрические составы грунтов									
	Содержание фракций, %									
	Размеры частиц, мм									
	<0.005	0.005–0.1	0.1–0.5	0.5–2.0	2.0–10.0	10.0–30.0	30.0–70.0	70.0–100	100–200	>200
Суглинок с гравием и галькой	14–16	13–16	14–27	12–15	17–19	17–20				
	10–13	29–43	25–27	9–12	6–8	7–11	6–8			
	11–14	29–53	18–20	10–13	5–7	6–8	14–16	1–2		
	11–14	10–14	6–25	10–13	16–20	14–17	11–13	1–2		
	12–13	9–12	19–34	7–9	14–17	12–15	7–9			
9–12	26–39	17–19	9–11	8–9	10–12					
Супесь с гравием и галькой	4–5	33–40	17–18	12–13	9–11	7–8	11–12			
	6–7	8–11	7–10	8–11	20–35	12–13	6–7	4–5	6–7	8–9
Песок с галечниковыми включениями										
		12–17 40–43	28–29 21–29 46–58	18–19 16–19 12–14	12–13 10–11 7–10	25–27 5–6 11–13	8–10	2–3	1–2	1–2
Гравелисто-галечниковый										
		5–8 7–10	23–24 15–17 22–37	10–11 11–13 11–14	18–19 15–16 15–18	25–26 27–28 18–21	16–17 16–17 15–18	6–7 2–3	1–2	1–2

с грунтом через образовавшуюся ледяную линзу. Временное сопротивление разрыву падает. Включение легче вырывается из массива при встрече с резцом.

В соответствии с указанными принципами построения классификации и ранее проведенными исследованиями условий эксплуатации землеройных машин в районах Сибири и Севера, в том числе в Красноярском крае, Республике Саха, Республике Бурятия и Иркутской области [2], выделены группы типовых грунтовых условий, с соответствующими интервалами значений физико-механических свойств.

Из всего многообразия однородных грунтов региона выбрано 10 видов, разделенных в табл. 2 по гранулометрическому составу в соответствии с классификацией В.В. Охотина.

Одной из комплексных оценок эффективности разработки землеройными машинами сезонно-мерзлого грунта является коэффициент трудности разработки

[Домбровский]. Приведенные в работе [Недорезов] соотношения между значениями коэффициента трудности разработки грунта и числом ударов динамического плотнера и указанные диапазоны изменения коэффициента трудности разработки грунта для различных категорий грунта позволяют существенно повысить достоверность оценки состояния грунта.

Результатом обобщения массива экспериментальных исследований грунтов с каменистыми включениями стали зависимости коэффициента трудности разработки  $K_T$  от основных физико-механических характеристик мерзлого грунта. Следует отметить, что зависимости даны в двух вариантах: от числа ударов  $C$  и температуры грунта, что позволяет произвести пересчет коэффициента трудности  $K_T$  при появлении новых методов оценки состояния грунта.

Для однородных грунтов данная зависимость имеет следующий вид:

$$K_T = 3,324 \cdot (1,038 - 0,0227C + 0,00015C^2) \times \\ \times (-0,436 + 1,157H - 0,146H^2) \times \\ \times (1,975 - 0,159J_p + 0,00412J_p^2);$$

$$K_T = 3,206 \cdot (0,202 + 0,210t + 0,002t^2) \times \\ \times (-0,509 + 1,258H - 0,1380H^2) \times \\ \times (1,026 + 0,0181\omega - 0,00082\omega^2) \times \\ \times (1,615 - 0,115J_p + 0,00345J_p^2)$$

Зависимости, характеризующиеся числом ударов  $C \geq 75$ , действительны для сезонно-мерзлых грунтов при глубине разработки от 0,4 до 4,5 м.

Для сезонно-мерзлых грунтов с гравийно-галечниковыми включениями при глубине разработки от 0,5 до 2,5 м, процентном содержании включений  $\xi_1$  от 9% до 30%,  $\xi_2$  до 18%,  $\xi_3$  до 6%, числе ударов  $C \geq 75$  и температуре грунта  $t \leq$  минус  $3^{\circ}\text{C}$  зависимость коэффициента трудности разработки грунта имеет вид:

$$K_T = 5,841 \cdot (11,922 - 0,310C + 0,00203C^2) \times \\ \times (-0,912 + 3,106H - 0,405H^2) \times \\ \times (0,264 + 0,0375\xi_1 + 0,00044\xi_1^2) \times \\ \times (0,696 + 0,0828\xi_2 - 0,00388\xi_2^2) \times \\ \times (0,687 + 0,199\xi_3 - 0,0943\xi_3^2) \times \\ \times (1,158 + 0,0987J_p - 0,0184J_p^2)$$

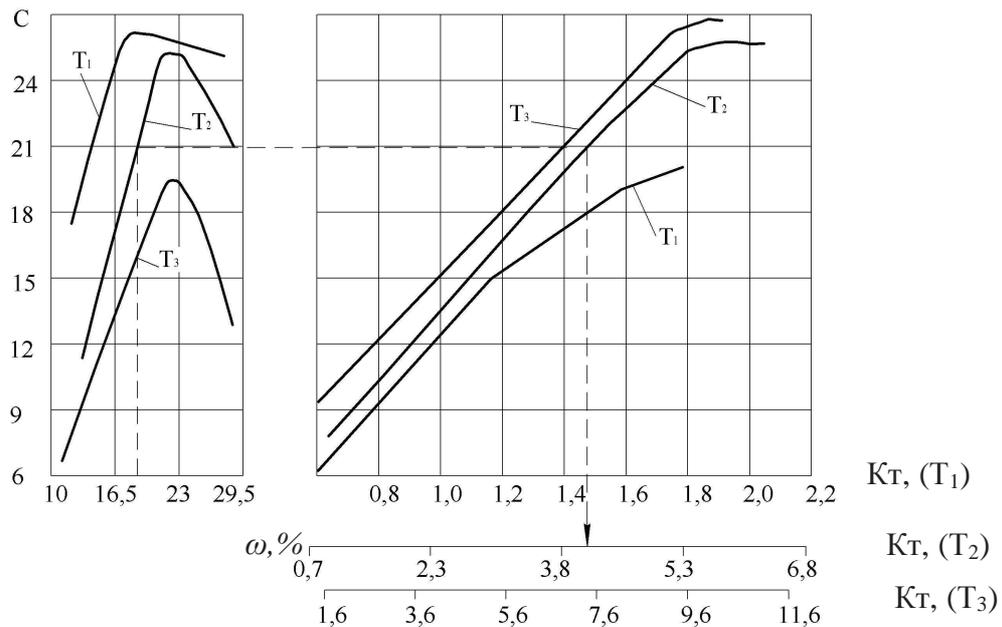
$$K_T = 5,836 \cdot (0,354 + 0,240t + 0,0385t^2) \times \\ \times (1,005 - 0,00448H + 0,00097H^2) \times \\ \times (0,741 - 0,0332\xi_1 + 0,00265\xi_1^2) \times \\ \times (0,685 + 0,0609\xi_2 - 0,00210\xi_2^2) \times \\ \times (0,638 + 0,172\xi_3 - 0,00627\xi_3^2) \times \\ \times (1,090 + 0,199J_p - 0,0301J_p^2),$$

где  $C$  – число ударов плотномера ДорНИИ;  $H$  – глубина промерзания, м;  $J_p$  – число пластичности;  $t$  – отрицательная температура грунта,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\omega$  – влажность грунта, %;  $\xi_1$  – процентное содержание гравийно-галечниковых включений размером от 10 до 30 мм;  $\xi_2$  – то же, от 30 до 70 мм;  $\xi_3$  – то же, свыше 70 мм.

Представленные математические зависимости, определяющие влияние физико-механических свойств мерзлого грунта на показатель трудности разработки, неудобны для практического использования в связи со сложным влиянием каждого задающего фактора. Гораздо большую наглядность и меньшую трудоемкость при определении коэффициента трудности разработки мерзлых грунтов представляют собой номограммы наиболее вероятного распределения температур грунта по его видам.

На рис. 2 приведена номограмма определения трудности разработки мерзлого однородного грунта, полученная при использовании его паспортных характеристик его профиля промерзания  $T_1$ . Левая часть номограммы отражает зависимость числа ударов плотномера ДорНИИ от влажности  $\omega$  (%) и температуры  $T$ . Вид грунта при этом задан числом пластичности  $J_p$ , а температура – наиболее вероятным для рассматриваемого случая профилем промерзания  $T_1$ :

$T_1$  – глубина промерзания 1 м, температура на поверхности минус  $5^{\circ}\text{C}$ ;



**Рис. 2. Номограмма определения коэффициента трудности разработки однородных мерзлых грунтов.**

$T_2$  – глубина промерзания грунта находится в диапазоне от 1 до 2 м, температура на поверхности от минус  $5^{\circ}\text{C}$  до минус  $10^{\circ}\text{C}$ ;  $T_3$  – глубина промерзания больше 2 м, температура на поверхности менее минус  $10^{\circ}\text{C}$ .

В правой части номограммы показано изменение коэффициента трудности разработки грунта в функции числа ударов ударника  $C$  и профиля промерзания  $T_1$ .

Например, разрабатываемая супесь имеет число пластичности  $J_p=2,0$  влажности  $\omega(\%)=18,0$ , а температура поверхностного слоя составляет минус  $5,5^{\circ}\text{C}$  при глубине сезонного промерзания до 1,5 м.

Значения температуры грунта  $T=$  минус  $5,5^{\circ}\text{C}$  и глубины промерзания позволяют отнести условия промерзания грунта ко второму профилю ( $T_2$ ). Значения  $\omega(\%)$  откладываем на графике зависимости  $C=f(\omega\%,T_1)$ . Из полученной точки пересечения с графиком  $T_2$  проводим горизонтальную линию до пересечения с графиком  $K_T=f(C,T,J_H)$  правой части номограммы. На шкале абсцисс, соответствующей режиму промерзания  $T_2$ , получаем величину  $K_T=4,49$ .

Доля однородных сезонно-мерзлых грунтов в общем объеме разрабатываемых

грунтов Восточной Сибири относительно невелика. В этой связи целесообразно рассмотреть возможность применения графического метода для определения коэффициента трудности разработки сезонно-мерзлых грунтов с гравийно-галечниковыми включениями.

Рассмотрим графический метод определения коэффициента трудности разработки сезонно-мерзлого грунта с включениями на примере суглинка.

Наиболее вероятными профилями промерзания неоднородного суглинка являются профили  $T_1, T_2, T_3$ .

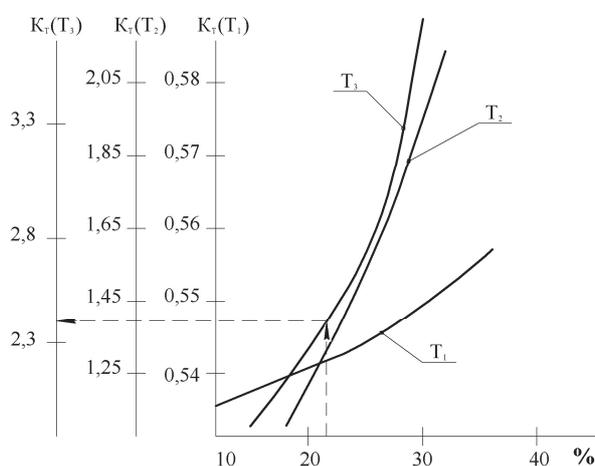
На рис. 3 приведены графики для определения коэффициентов трудности разработки сезонно-мерзлого суглинка с гравийно-галечниковыми включениями. Входными параметрами при этом являются суммарное содержание гравийно-галечниковых включений  $\xi$ , а также состояние грунта заполнителя.

На рис. 3 приведен график определения коэффициента трудности разработки суглинка влажностью до 35 %.

Используя паспортную характеристику суглинка ( $\omega\%$ ) и профиль промерзания

Пределы изменения показателя  $K_m$  по группам

Группы	1	2	3	4	5	6
Пределы изменения $K_T$	до 0,25	0,25-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	2,0-4,0	св. 4,0



**Рис. 3. Номограмма определения коэффициента трудности разработки мерзлого суглинка с включениями.**

( $T_1$ ), определим коэффициент трудности разработки.

Например, произведем экспрессную оценку коэффициента трудности суглинка с 22 % гравийно-галечниковых включений, имеющего влажность 13% и третий температурный профиль промерзания. Коэффициент трудности разработки грунта составляет 2,36 единиц.

Полученные значения коэффициентов трудности разработки грунтов сравним с допустимыми коэффициентами трудности разработки грунтов различными землеройно-транспортными машинами (табл. 3).

Мерзлый суглинок с 22 % гравийно-галечниковых включений и третьим температурным профилем относится к пятой группе сезонно-мерзлых грунтов.

Анализ полученных результатов показал, что для различных машин, но одинаковых сочетаний грунтовых условий, значения коэффициента трудности разработки грунтов  $K_{T1}$  достаточно близки. Общий диапазон изменения  $K_{T1}$  для различных грунтов составляет от 0,1 до 5,0.

Приведенные на рис. 2, 3 номограммы определения коэффициента трудности

разработки сезонно-мерзлого грунта, как однородного, так и с гравийно-галечниковыми включениями, позволяют определить не только прочностные характеристики разрабатываемой среды, но и эффективность применения различных рабочих органов землеройных машин методом экспрессной оценки.

#### Литература

1. Осипенко Б.В. Исследование процесса разрушения мерзлых грунтов с гравийно-галечниковыми включениями резаками траншейных экскаваторов с дискофрезерным рабочим органом. Сб. Проблемы развития строительной и дорожной техники для работы в условиях Сибири и Севера / Б.В. Осипенко, Л.К. Соколов. – Красноярск. 1981. 76с.

2. Васильев С.И. Анализ показателей, определяющих эффективность разработки мерзлых грунтов рабочими органами землеройных машин / С.И. Васильев, С.П. Ереско, Б.В. Осипенко, В.Л. Шустов // Горные машины и автоматика. – М. Новые технологии. – 2003. – 22-26. №10.

3. Захаров, В.А. Исследование сопротивляемости мерзлых грунтов разрушению резанием: автореферат дисс. канд. технических наук / В.А. Захаров. – Тула, 1973.-25с.

4. Домбровский Н.Г., Картвелишвили Ю.Л., Гальперин М.И. Строительные машины. Ч. 1. М.: Машиностроение, 1976. 392 с.

5. Недорезов И.А. Прогнозирование трудности разработки грунтов землерой-

ными машинами // Строительные и дорожные машины. 2008г. №2. С. 43-44.

6. Васильев С.И., Жубрин В.Г., Ташпаева З.С. Принципы классификации мерзлых грунтов на основе использования коэффициента трудности разработки. Депонированная рукопись №39 СД90 от 16.05.1990, Москва ЦНИИТЭСтроймаш, 1988.

УДК 621

*О.В. Лебедев, В.А. Поскребышев\**

#### О ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ

*Рассмотрены модели, принципы и технологии получения наноматериалов, технологические процессы на основе методов интенсивных пластических деформаций и методов порошковой металлургии. Приведен детальный анализ связей между уровнями моделирования наноструктурных и нанокристаллических систем.*

**Ключевые слова:** наноматериалы, наноструктуры, системы, модели, реологические, энергия, кинетика, процессы.

К наноматериалам относят получаемые различными деформационными технологиями металлические, керамические, полимерные, сплошные, пористые и дисперсные материалы со структурными элементами, характерные размеры которых от 1 до 10 nm [1]. Говорят также о «наноструктурных» и «нанокристаллических» материалах. Первые получают методами интенсивных пластических деформаций (ИПД) [2], а вторые – методами порошковой металлургии (ПМ) или электроосаждением. Большинство методов ПМ и ИПД основаны на воздействии статических или динамических сил давления на исходный материал [3]. Такие воздействия часто сочетаются с термическими и физико-химическими. Все эти виды воздействий весьма важны и в процессах эксплуатации изделий из наноматериалов.

Методы ИПД (кручение под высоким давлением, угловое прессование, прокатка, всесторонняя ковка и т.п.) позволяют получать массивные наноматериалы с практически беспористой структурой в ультрамелкозернистом состоянии (размеры кристаллитов обычно меньше 100 nm) [2].

Методы ПМ позволяют получать материалы (изделия) с уникальными свойствами и широким спектром применения [2, 3, 8, 9]. Если для объектов первого типа характерны традиционные для металлообработки формы (лист, брусок, прутки и т. п.), то объекты второго типа могут иметь самую разнообразную форму.

Объединяя два вида материалов термином «наноматериалы», заметим, что они относятся к классу неоднородных (дисперсных). Это гетерофазные сплавы, композиты, горные породы, минералы.

\* - автор, с которым следует вести переписку.