



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 034 110** ⁽¹³⁾ **C1**
(51) МПК⁶ **E 01 D 1/00**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 5039251/33, 22.04.1992

(46) Дата публикации: 30.04.1995

(56) Ссылки: 1. Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов. М.: Стройиздат, 1973, с.20.2. Новые методы исследования состава, строения и свойств мерзлых грунтов./ Под ред. С.Е.Гречищева, М.: Недра, 1983, с.18.3. Авторское свидетельство СССР N 968163, кл. E 02D 1/00, 1982.

(71) Заявитель:

Печорский государственный
научно-исследовательский и проектный
институт нефтяной промышленности
"Печорнипинефть"

(72) Изобретатель: Деманов В.Э.

(73) Патентообладатель:

Печорский государственный
научно-исследовательский и проектный
институт нефтяной промышленности
"Печорнипинефть"

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА НЕЗАМЕРЗШЕЙ ВОДЫ В МЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

(57) Реферат:

Использование: строительство на мерзлых грунтах. В способе определения количества незамерзшей воды в мерзлых грунтах, включающем оттаивание предварительно замороженного образца грунта, непрерывное измерение температуры образца при оттаивании с последующим определением количества незамерзшей воды по результатам измерений, охлаждение образца грунта до температуры ниже установленной температуры начала его оттаивания,

регистрацию одновременно температуры образца и время, затем строят график изменения во времени логарифма избыточной температуры, по которому фиксируют время и температуру оттаивания, и график изменения температуры образца во времени, по которому определяют время и температуру окончания оттаивания, а искомое количество незамерзшей воды устанавливают из соотношения, приведенного в описании изобретения. 1 ил.

RU
2 0 3 4 1 1 0
C 1

RU
2 0 3 4 1 1 0
C 1



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 034 110** ⁽¹³⁾ **C1**
(51) Int. Cl.⁶ **E 01 D 1/00**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 5039251/33, 22.04.1992

(46) Date of publication: 30.04.1995

(71) Applicant:
Pechorskij gosudarstvennyj
nauchno-issledovatel'skij i proektnyj
institut nefljanoy promyshlennosti "Pechornipineft"

(72) Inventor: Demanov V.Eh.

(73) Proprietor:
Pechorskij gosudarstvennyj
nauchno-issledovatel'skij i proektnyj
institut nefljanoy promyshlennosti "Pechornipineft"

(54) **METHOD FOR DETERMINATION OF AMOUNT OF NONFROZEN WATER IN FROZEN GROUNDS**

(57) Abstract:

FIELD: construction on frozen grounds.
SUBSTANCE: method for determination of amount of nonfrozen water in frozen grounds includes thawing of preliminarily frozen ground sample, continuous measurement of sample temperature during thawing with subsequent determination of amount of nonfrozen water by results of measurement, cooling of ground sample down to temperature

below that of its start of thawing, simultaneous registration of sample temperature and time, and construction of graph of variation in time of logarithm of excessive temperature which is used to determine time and temperature of thawing end, and sought amount of nonfrozen water is determined by relation given in invention description. EFFECT: higher efficiency. 1 dwg

RU 2 034 110 C 1

RU 2 034 110 C 1

Изобретение относится к строительству на мерзлых грунтах, а именно к определению несущей способности оснований.

Известен способ определения количества незамерзшей воды в мерзлых грунтах, основанный на измерении теплового эффекта при оттаивании образцов мерзлого грунта в калорифере [1]. Способ реализуют следующим образом. Приготовленный образец замораживают в холодильной камере и переносят в калорифер. После чего производят отсчет температуры через равные промежутки времени до полного оттаивания образца. Затем производят обработку данных измерения и вычисляют количество незамерзшей воды. Выполнение способа требует знания множества промежуточных параметров, значительной трудоемкости при измерении и обработке результатов.

Известен также способ определения количества незамерзшей воды в мерзлых грунтах [2] который позволяет определить количество незамерзшей воды по температурам оттаивания предварительно замороженных образцов одного и того же грунта с различной исходной влажностью. Для определения количества незамерзшей воды приготавливают несколько образцов исходного грунта с различной влажностью, замораживают их, предварительно поместив в центр образца датчик температуры. После замораживания образец грунта с датчиком температуры помещают в среду с постоянной положительной температурой и производят оттаивание образца, регистрируя его температуру через равные промежутки времени. После завершения оттаивания строят график изменения температуры образца во времени и определяют точку перегиба графика, свидетельствующую об окончании процесса оттаивания порового льда в образце грунта. Количество незамерзшей воды в этот момент будет равно влажности образца, а температура, соответствующая этой точке, будет температурой оттаивания образца. Произведя оттаивание всех замороженных образцов, построив графики изменения температуры и определив температуры оттаивания всех образцов, строят графическую зависимость температур оттаивания образцов данного грунта от их влажности. Данная зависимость представляет искомую зависимость количества незамерзшей воды от температуры.

Недостатком способа является низкая производительность. Для определения температурной зависимости содержания незамерзшей воды только одной разновидности грунта необходимо приготовить несколько образцов с различной влажностью, заморозить их и произвести последующее оттаивание каждого образца для определения температуры оттаивания. Количество определений должно быть не менее пяти. Кроме того слабая интенсивность фазовых переходов при низкой температуре влияет на точность определения температуры оттаивания образцов с незначительной влажностью и, соответственно, на точность определения количества незамерзшей воды.

Наиболее близким к предлагаемому является способ определения количества незамерзшей воды в мерзлых грунтах в течение одного эксперимента, основанный на

измерении количества тепла, идущего на нагрев оттаивающего образца и плавление льда [3]. Для осуществления способа образец грунта замораживают, выдерживают при отрицательной температуре, а затем производят оттаивание, непрерывно регистрируя температуру образца и количество тепла, затраченного на его нагрев и плавление льда. На основе полученных данных определяют графическую зависимость количества тепла от температуры, а количество незамерзшей воды определяют по формуле

$$W_H(t)$$

$$e^{-aT} \left[W_0 + bQe^{aT} - \int_0^T (abQ + d)e^{aT} dT \right], \quad (1) \text{ где } a$$

$$\frac{C_B - C_L}{V}$$

$$\times \left[b \frac{1}{V \times \rho} \right];$$

$$d \frac{C_{гр} - C_L}{V} W_0;$$

25 T температура, °C;

W₀ суммарная влажность образца, доли ед.

Q количество тепла, затраченного на нагревание системы грунт-вода-лед и фазовый переход влаги, Дж;

30 C_B удельная теплоемкость воды, Дж/кг · град;

C_{гр} удельная теплоемкость сухого грунта, Дж/кг · град;

35 C_L удельная теплоемкость льда, Дж/кг · град;

x скрытая теплота плавления льда, Дж/кг;

V объем образца, м³;

ρ объемная масса скелета грунта, кг/м³.

40 Осуществление этого способа требует знания большого числа исходных параметров грунта (объем образца, влажность, теплофизические свойства), которые необходимо определить до начала эксперимента. Большое число параметров грунта и членов расчетной формулы снижают точность определения количества незамерзшей воды. Недостатком способа также являются значительные затраты времени на вычислительные операции ввиду сложности расчетной формулы. Для измерения количества тепла, идущего на нагрев образца, необходимо, чтобы это тепло проходило только через датчики теплового потока, что требует изготовления специальной измерительной ячейки, наличия двух довольно дорогостоящих и редких датчиков теплового потока и измерительного прибора.

55 Предлагаемый способ позволит снизить трудоемкость его осуществления при одновременном повышении точности определения количества незамерзшей воды в мерзлых грунтах.

60 Данный результат достигается тем, что в способе определения количества незамерзшей воды в мерзлых грунтах, включающем оттаивание предварительно замороженного образца, непрерывное измерение температуры образца при

оттаивании с последующим определением количества незамерзшей воды по результатам измерений одного эксперимента, образец охлаждают до температуры ниже установленной температуры начала оттаивания для данного типа грунта. При последующем оттаивании при постоянной температуре среды производят одновременную регистрацию температуры образца и времени, после чего строят график изменения во времени логарифма избыточной температуры, определяемой как разность между температурой образца и температурой среды. По построенному графику определяют температуру и время начала оттаивания. Затем строят график изменения температуры образца во времени, по которому определяют температуру и время окончания оттаивания. Искомое количество незамерзшей воды устанавливают из соотношения

$$W_H(t) = \frac{\tau - \tau_H}{\tau_{от} - \tau_H} (W_e - W_{мг}) + W_{мг}, \quad (2)$$

где τ текущая координата времени, соответствующая температуре t ;
 τ_H момент времени начала фазовых переходов в образце мерзлого грунта;
 $\tau_{от}$ момент времени полного оттаивания образца мерзлого грунта;
 W_e естественная влажность образца мерзлого грунта;
 $W_{мг}$ максимальная гигроскопическая влажность образца мерзлого грунта.

Определение количества незамерзшей воды производится в диапазоне от температуры начала фазовых переходов (начала оттаивания) до температуры окончания фазовых потоков (окончания оттаивания). По результатам одного эксперимента получают любое количество определений содержания незамерзшей воды в образце мерзлого грунта при конкретных значениях температуры в этом температурном диапазоне.

На чертеже показан график, изменения во времени логарифма избыточной температуры образца θ ($\theta = t - t_{ср}$, где $t_{ср}$ постоянная температуры среды) и изменения во времени температуры образца t .

Поскольку образец грунта охлажден ниже температуры начала фазовых переходов (t_H), оттаивание образца начинается в момент времени τ_H , когда температура образца в процессе теплообмена с окружающей средой достигнет значения t_H . Определить момент времени τ_H и температуру t_H начала фазовых переходов можно с помощью графика $\ln|\theta| f(\tau)$. В начальный этап изменения температуры образца, когда отсутствуют фазовые переходы, вся грунтовая влага находится в твердом состоянии за исключением наиболее прочносвязанной электростатическими силами поверхности грунтовых частиц гигроскопической (адсорбированной) категории грунтовой влаги (1-3% от общего количества влаги в грунте), которая замерзает при очень низких температурах до минус 80-100°C. В реальных условиях эта категория грунтовой влаги в фазовых переходах не участвует. При отсутствии внутреннего источника тепла (фазовых переходов) график изменения

логарифма избыточной температуры образца ($\ln|\theta|$) во времени имеет прямолинейную зависимость. Начало таяния грунтового льда, протекающее с поглощением тепла, вносит искажение в график зависимости $\ln|\theta| f(\tau)$, что отмечается отклонением линии графика от прямолинейной зависимости. Начало отклонения линии графика от прямолинейного направления соответствует моменту времени τ_H началу фазовых переходов в образце грунта. Количество незамерзшей воды при температуре t_H в момент времени τ_H соответствует величине максимальной гигроскопической влажности. При постепенном повышении температуры образца выше t_H в процессе теплообмена образца с окружающей средой грунтовой лед, содержащийся в образце грунта, постепенно переходит в жидкое состояние, увеличивая содержание незамерзшей воды, вплоть до температуры $t_{от}$ в момент времени $\tau_{от}$, когда весь лед в образце растает, а содержание незамерзшей воды будет равно естественной влажности грунта. Окончание оттаивания отмечается резким перегибом графика изменения температуры во времени. В интервале температур от t_H до $t_{от}$ каждому значению температуры образца t (и, следовательно, каждому моменту времени τ) будет соответствовать определенное количество незамерзшей воды в образце грунта. При любой заданной температуре t в интервале фазовых переходов грунтовой влаги от t_H до $t_{от}$ количество незамерзшей воды находят по формуле

$$W_H(t) = \frac{\tau - \tau_H}{\tau_{от} - \tau_H} (W_e - W_{мг}) + W_{мг}, \quad \text{где } \tau \text{ текущая}$$

координата времени, соответствующая температуре;
 τ_H момент времени начала фазовых переходов в образце мерзлого грунта;
 $\tau_{от}$ момент времени полного оттаивания образца мерзлого грунта;
 W_e естественная влажность образца мерзлого грунта;
 $W_{мг}$ максимальная гигроскопическая влажность образца мерзлого грунта.

П р и м е р. Из монолита грунта с ненарушенной структурой и естественной влажностью вырезают образец грунта весом 15-30 г по форме и размерам, соответствующий металлической тонкостенной бюкс. Одновременно из монолита отбирают пробы грунта весом 30-40 г для определения по стандартным методикам естественной влажности и максимальной гигроскопической влажности. Образец грунта помещают в бюкс, закрывают крышкой и герметизируют. Через отверстие в крышке в образец вводят датчик температуры (термопару) и бюкс с грунтом помещают в холодильную камеру с температурой на 5-10 °C ниже t_H . Величина t_H имеет значения порядка минус 1 минус 5°C для песков, минус 10 минус 15°C для суглинков, минус 20 25°C для глин. Образец выдерживают в холодильной камере после заморозания не менее 3 ч. Затем бюкс с грунтом помещают в среду с положительной температурой порядка 2-3 °C. Подключив к датчику температуры измерительный прибор

(милливольтметр), производят измерение температуры через равные промежутки времени (1-2 мин). После полного оттаивания образца грунта строят графики изменения во времени логарифма избыточной температуры образца и изменения во времени температуры образца. Из окончания прямолинейного участка графика изменения избыточной температуры опускают перпендикуляр до пересечения с осью времени, определив момент времени начала фазовых переходов (τ_n). Опустив перпендикуляр из этой точки графика на ось $\ln|\theta|$ определяют значение натурального логарифма избыточной температуры, соответствующее моменту начала оттаивания ($\ln|\theta_n|$). По значению логарифма избыточной температуры ($\ln|\theta_n|$) вычисляют значение температуры начала оттаивания образца t_n . Определить величину t_n можно, продолжив перпендикуляр, приведенной к оси τ до пересечения с линией графика $t f(\tau)$, а из точки пересечения опустив перпендикуляр на ось t . Количество незамерзшей воды при температуре t_n в момент времени τ_n будет соответствовать максимальной гигроскопической влажности образца грунта. Из точки графика $t f(\tau)$, характеризующей окончание оттаивания, опускают перпендикуляры на оси температуры и времени, определив температуру $t_{от}$ и время окончания оттаивания образца $\tau_{от}$. Количество незамерзшей воды при температуре $t_{от}$ в момент времени $\tau_{от}$ максимально и соответствует естественной влажности грунта. Промежуточные значения количества незамерзшей воды в диапазоне от $W_{мг}$ до W_e определяют по формуле, подставив в нее определенные предварительно по стандартным методикам величины максимальной гигроскопической и естественной влажности, а также значения $\tau_{от}$, τ_n и текущей координаты времени τ , соответствующей температуре t , для которой необходимо выполнить определение количества незамерзшей воды. Для построения графика зависимости $W_n f(t)$ необходимо произвести не менее пяти определений W_n . Произведя необходимое число определений количества незамерзшей воды, строят графическую зависимость количества незамерзшей воды от температуры для данного типа грунта. Использование предлагаемого способа определения количества незамерзшей воды в

мерзлых грунтах снижает трудоемкость определения за счет снижения затрат времени на вычислительные операции ввиду упрощения расчетной формулы и определения меньшего числа исходных параметров грунта, входящих в расчетную формулу; повышает точность определения за счет уменьшения количества определяемых параметров грунта и уменьшения числа членов расчетной формулы; обеспечивает возможность определения количества незамерзшей воды во всем интервале температур фазовых переходов от начала оттаивания до окончания оттаивания образца грунта; упрощается процесс измерения, так как в ходе эксперимента регистрируется изменение только одного параметра грунта температуры. Измерение температуры образца проще, дешевле и точнее, чем измерение количества тепла.

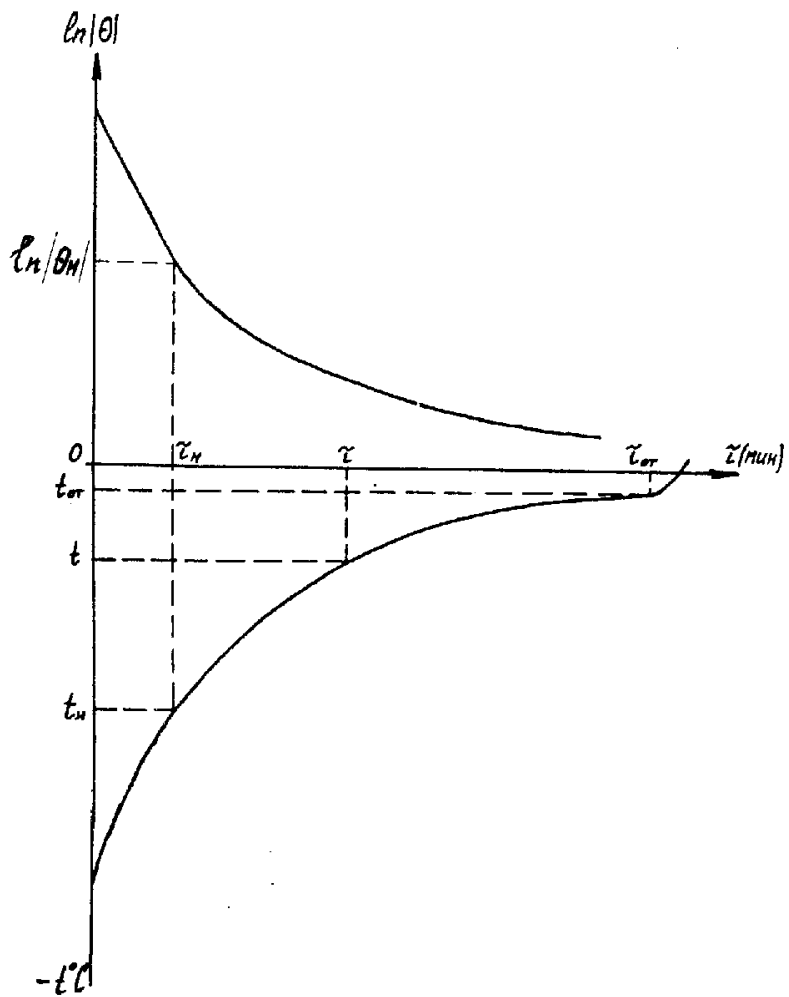
Формула изобретения:

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА НЕЗАМЕРЗШЕЙ ВОДЫ В МЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ, включающий оттаивание предварительно замороженного образца грунта, непрерывное измерение температуры образца при оттаивании с последующим определением количества незамерзшей воды по результатам измерений, отличающийся тем, что образец грунта охлаждают до температуры ниже установленной температуры начала его оттаивания, одновременно регистрируют температуру образца и время, строят график изменения во времени, логарифма избыточной температуры, определяемой как разность между температурой образца и температурой среды, по построенному графику фиксируют время и температуру начала оттаивания, строят график изменения температуры образца во времени, по которому определяют время и температуру окончания оттаивания, а искомое количество W_n незамерзшей воды устанавливают из соотношения

$$W_n(t) = \frac{\tau - \tau_n}{\tau_{от} - \tau_n} (W_e - W_{м.г}) + W_{м.г}$$

где τ текущая координата времени, соответствующая температуре образца; τ_n момент времени начала фазовых переходов в образце мерзлого грунта; $\tau_{от}$ момент времени полного оттаивания образца мерзлого грунта; W_e естественная влажность образца мерзлого грунта; $W_{м.г}$ максимальная гигроскопическая влажность образца мерзлого грунта.

RU 2034110 C1



RU 2034110 C1