

Об определении теплофизических свойств многолетнемерзлых грунтов

В.С. Зайцев, К.Т.Н.,

И.А. Жолобов

(ОАО «Гипротюменнефтегаз»,
Группа ГМС)

Адреса для связи: ZholobovIgor@yandex.ru,
gtng@gtng.ru

Ключевые слова: многолетнемерзлый грунт, коэффициент теплопроводности, теплоемкость, прямые измерения, теплофизические свойства грунтов.

В настоящее время стратегия развития России прочно связана с освоением территорий Крайнего севера, где сосредоточены огромные запасы углеводородного сырья. Однако с освоением новых территорий возникают новые проблемы, связанные со строительством сооружений на многолетнемерзлых грунтах.

Правильное проектирование объектов в районах Крайнего Севера во многом обеспечивается качественными геологическими изысканиями, по результатам которых проводят разносторонние исследования образцов грунта и определяют их основные физико-механические и теплофизические свойства. Например, такие теплофизические характеристики грунта, как коэффициент теплопроводности и теплоемкость, могут быть приняты согласно СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах». Однако, поскольку значения этих характеристик в документе являются приближенными, в последующих тепловых расчетах, уже на начальном этапе проектирования могут быть заложены неверные данные, что в итоге может привести к непредсказуемым последствиям, в частности к просадке грунта с последующими деформациями сооружений.

В СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть IV. Правила производства работ в районах распространения многолетнемерзлых грунтов» имеется указание о том, что при проектировании сооружений I и II уровней ответственности, к которым относится подавляющее большинство объектов нефтегазовой отрасли, необходимо проводить «прямые определения прочностных, деформационных и теплофизических свойств грунтов (пункт 7.16 СП 11-105-97)». К последним, в частности,

On the determination of thermal characteristic permafrost soil

V.S. Zaitsev, I.A. Zholobov
(Giprotyumenneftegaz OAO, HMS Group, RF, Tyumen)

E-mail: ZholobovIgor@yandex.ru, gtng@gtng.ru

Key words: permafrost soil, coefficient of heat conduction, heat capacity, direct measurements, thermal characteristic soil.

The thermal characteristic materials depend from many factors. Geological engineering survey tests result in important thermal characteristic, such coefficient of heat conduction and heat capacity. For construction I and II level of responsibility coefficient of heat conduction and heat capacity have to be defined direct measurements as they provide more objective information, than value accepted on Set of Rules 25.13330.2012. But in certain cases, it may identify dependent thermal characteristic of soils.

относятся теплоемкость и теплопроводность грунта в талом и мерзлом состояниях. Особенно важным является прямое определение коэффициента теплопроводности, значение которого не является функцией только влажности, плотности и типа грунта.

Отдельно следует отметить, что в СП 25.13330.2012 в приложении Б «Физические и теплофизические характеристики многолетнемерзлых грунтов» приводятся значения теплопроводности в зависимости от плотности сухого грунта, суммарной влажности и степени засоленности. В то же время многолетний опыт измерений показывает, что не всегда измеренные значения теплопроводности грунтов совпадают с принятыми в СП 25.13330.2012 [1]. Отдельные образцы обладают влажностью, плотностью или двумя характеристиками одновременно, превышающими значения, указанные в приложении Б, и что предпринимать в таком случае в СП 25.13330.2012 не указано.

На теплопроводность грунта влияет множество факторов: генезис, включения и структура льда, размеры и конфигурация частиц грунта и др. [2] Поэтому прямое определение данного параметра крайне важно для правильного проектирования ответственных сооружений. В тех случаях, когда прямые измерения невозможны или необходимо приближенно оценить значения теплопроводности и теплоемкости, возможно построение зависимостей, для чего необходимо выполнение следующих условий.

1. Выборка не менее чем из 100 однотипных грунтов с данного строительного объекта для каждого типа проб.

2. Должны быть известны теплофизические и физико-механические свойства грунтов выборки (проведены все необходимые прямые измерения)

3. Должны быть известны физико-механические свойства грунтов, теплофизические свойства которых требуется приблизительно оценить.

Рассмотрим первое условие. Для каждого из определяемых типов грунтов (песок, супесь, суглинки, глина и др.) должна быть подготовлена выборка, состоящая из 100 образцов и более, с уже измеренными физико-механическими и теплофизическими свойствами. На основании этой выборки возможно установление зависимостей теплопроводности и теплоемкости от различных параметров для определенной строительной площадки.

В качестве примера приведем выборку грунтов для площадки одного из месторождений Ямала. В достаточном количестве оказались лишь два типа грунтов: суглинки и пески. Для них выполнена статистическая обработка теплофизических параметров: теплопроводности и теплоемкости. Поскольку для определения зависимости между теплофизическими и механическими свойствами грунтов необходимо учесть как минимум влажность и плотность, необходимо использовать такой параметр, который учитывает оба этих свойства. В рассматриваемом случае для выявления зависимости подходит плотность сухого грунта

$$\rho_{с.г} = \frac{\rho}{1+W}, \quad (1)$$

где ρ – плотность грунта, г/см³; W – суммарная влажность грунта, д.ед.

Зависимости теплопроводности и теплоемкости для талого и мерзлого состояний грунта от плотности сухого грунта приведены на рис. 1, а, б.

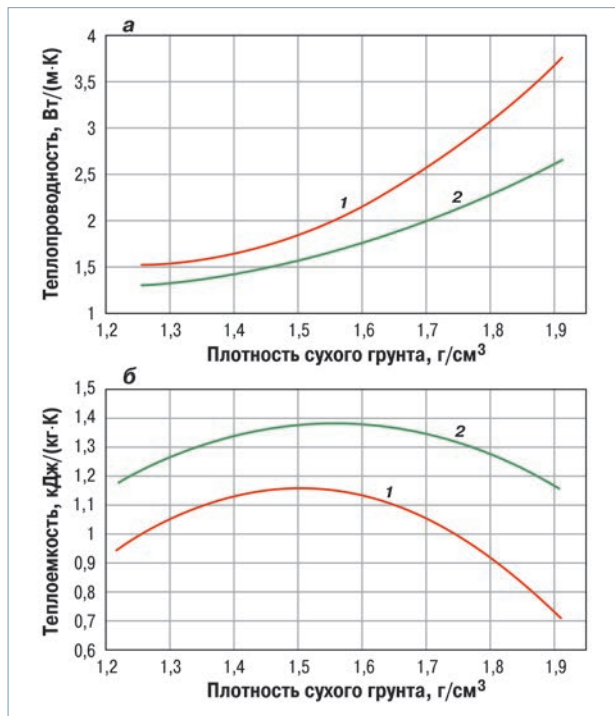


Рис. 1. Зависимость теплопроводности (а) и теплоемкости (б) мерзлого (1) и талого (2) суглинки от плотности сухого грунта

Аналогичным образом строится зависимость для песка (рис. 2, а, б).

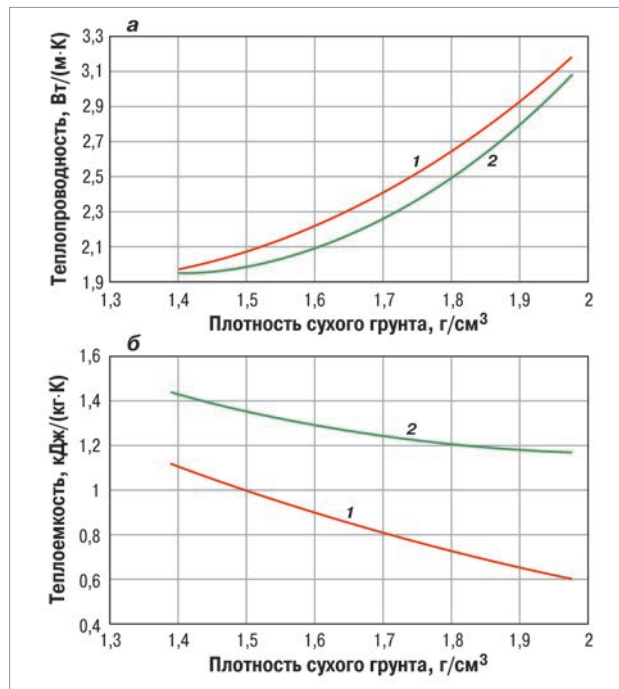


Рис. 2. Зависимость теплопроводности (а) и теплоемкости (б) мерзлого (1) и талого (2) песка от плотности сухого грунта

На основе полученных зависимостей возможно установление приближенных значений теплопроводности и теплоемкости грунтов для определенной строительной площадки. В частности, теплопроводность суглинков в мерзлом состоянии находится по формуле

$$\lambda_{суг} = 5,0681 \cdot \left(\frac{\rho}{1+W}\right)^2 - 12,654 \cdot \left(\frac{\rho}{1+W}\right) + 9,422. \quad (2)$$

Достоверность аппроксимации $R^2 = 0,70$.

Для улучшения восприятия можно построить номограмму зависимости теплофизических параметров от плотности (рис. 3).

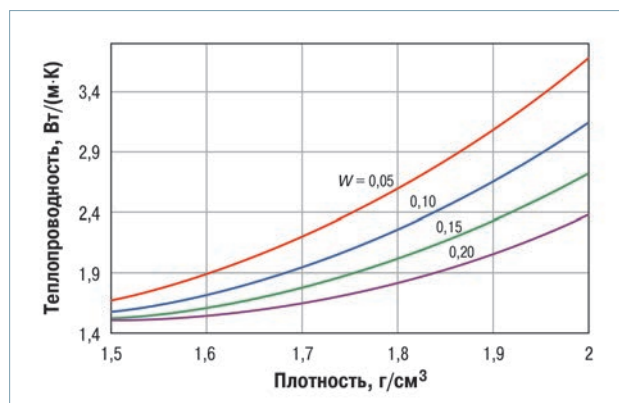


Рис. 3. Зависимость теплопроводности суглинки в мерзлом состоянии от плотности для различных значений влажности W

Полученные зависимости позволяют быстро оценить приближенные значения теплофизических параметров грунтов. Уравнения представляют собой полиномиальную линию тренда. Достоверность аппрокси-

магии $R^2 \geq 0,65$, что указывает на высокую степень сходимости значений полученной зависимости с реальными измеренными величинами. Области применения полученных уравнений ограничены максимальными и минимальными значениями параметров, по которым построены данные зависимости [3].

Анализ полученных зависимостей показывает рост теплопроводности при увеличении плотности и уменьшении влажности грунтов. Следует отметить, что для рассматриваемой выборки характерно повышенное (относительно СП 25.13330.2012) значение теплопроводности грунтов до $3,7 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. В то же время максимальное значение теплопроводности в приложении СП равно $3,05 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Принимая значения теплофизических свойств грунтов по СП 25.13330.2012 уже на этапе проектирования возможно внесение значительной погрешности во все дальнейшие теплотехнические расчеты. С целью минимизации погрешностей и оптимального расходования имеющихся ресурсов необходимо проводить прямые определения теплофизических свойств грунтов и в случае необходимости (значительные объемы образцов грунта) выявлять закономерности теплофизических параметров, присущие рассматриваемому строительному объекту.

Список литературы

1. Примаков С.С., Жолобов И.А. О необходимости лабораторных измерений теплофизических свойств многолетнемерзлых грунтов//Нефтяное хозяйство. – 2013. – №2. – С. 82-84.
2. Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс). 2-е изд., доп. – М.: Высшая школа, 1973. – 280 с.
3. Зайцев В.С., Еременко В.П., Даниэлян Ю.С. Теплопроводность грунтов Муравленковского месторождения//Изв. СО РАН. – 1989. – Вып. 5.

References

1. Primakov S.S., Zholobov I.A., *Neftyanoe khozyaystvo – Oil Industry*, 2013, no. 2, pp. 82-84.
2. Tsytoich N.A., *Mekhanika gruntov (kratkiy kurs)* (Soil Mechanics (short course)), 2nd ed., Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1973, 280 p.
3. Zaytsev V.S., Eremenko V.P., Danielyan Yu.S., *Izvestiya SO AN SSSR. Seriya tekhnicheskikh nauk*, 1989, V. 5.



Уважаемые коллеги!

Поздравляю коллектив Тюменского проектного и научно-исследовательского института нефтяной и газовой промышленности им. В.И. Муравленко – ОАО «Гипротюменнефтегаз» с юбилеем!

Вклад института в историю развития нефтегазовой отрасли действительно огромен. Сегодня институт является одним из лидеров на рынке проектно-изыскательских работ для предприятий ТЭК в России и СНГ.

Институт развивает и внедряет передовые технологии обустройства месторождений, активно взаимодействует с крупнейшими нефтяными и газовыми компаниями мира, готовится к выходу на Ямал и шельфы северных морей. По проектам института было обустроено большинство месторождений Западной Сибири, в последние годы ведется активная работа в зонах вечной мерзлоты.

50 лет – немалый срок, но для института, ведущего свою деятельность на острие технического прогресса, все, безусловно, только начинается.

Желаю вашему коллективу дальнейших успехов в работе, здоровья, удачи и процветания на долгие годы!

Президент, Председатель Правления
ОАО «НК «Роснефть»
Игорь Сечин