

УДК 556.113

Расчетно-экспериментальный способ определения удельной теплоемкости дисперсного грунта и связанной воды

*Д-р техн. наук А. М. ТИМОФЕЕВ¹, канд. техн. наук О. Н. КРАВЦОВА²,
Н. И. ТАППЫРОВА³, д-р техн. наук В. А. ИВАНОВ⁴,*

канд. физ.-мат. наук Н. А. ПРОТОДЬЯКОНОВА⁵

¹a.m.timofeev@iptpn.ysn.ru, ²o.n.kravtsova@iptpn.ysn.ru,

³nadejda.tappyrova@yandex.ru, ⁴v.ivanov49@mail.ru, ⁵pnadya.iptpn@mail.ru

Институт физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова СО РАН

При расчете температурного режима грунтов, применяемых в качестве оснований зданий и инженерных сооружений необходимо учитывать удельную теплоемкость. Удельная теплоемкость грунтов является величиной аддитивной и определяется не только теплоемкостью скелета грунта, но и теплоемкостью воды. Связанная вода в дисперсном грунте значительно влияет как на многие свойства этих грунтов, так и на процессы тепло-массопереноса, происходящие в них. Это влияние наиболее сильно проявляется у дисперсных грунтов, таких как глинистые. Поэтому, исследование свойств связанной воды остается актуальным и на сегодняшний день. В статье приведены экспериментальные данные по определению сорбционной влажности, нижнего и верхнего пределов пластичности и удельной теплоемкости глинистого грунта. Образцы грунта взяты из карьера Амгинского месторождения Республики Саха (Якутия). Измерения удельной теплоемкости проводили на двух видах образцов глинистого грунта: взятых из карьера и образцах этого же грунта, но предварительно очищенного от примесей методом отмучивания. Значения удельной теплоемкости глинистого грунта получены на дифференциальном сканирующем калориметре Sensys Evo TG-DSC. На основании этих данных сделан расчет удельной теплоемкости связанной воды в глинистом грунте. Приведены графики изменения удельной теплоемкости глинистого грунта и связанной воды от влажности для двух видов грунта. Сделаны выводы о том, что для глинистого грунта зависимость удельной теплоемкости от влажности носит не монотонный характер, также как и удельная теплоемкость связанной воды.

Ключевые слова: глинистый грунт, удельная теплоемкость, связанная вода, дифференциально-сканирующий калориметр, сорбционная влажность, нижний и верхний пределы пластичности.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 27.09.2019, принята к печати 22.11.2019

DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-4-92-97

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Тимофеев А. М., Кравцова О. Н., Таппырова Н. И., Иванов В. А., Протодьяконова Н. А. Расчетно-экспериментальный способ определения удельной теплоемкости дисперсного грунта и связанной воды // Вестник Международной академии холода. 2019. № 4. С. 92–97.

Computational and experimental method for determining the specific heat capacity of dispersed soil and bound water

D. Sc. A. M. TIMOFEEV¹, Ph. D. O. N. KRAVTSOVA², N. I. TAPPYROVA³,

D. Sc. V. A. IVANOV⁴, Ph. D. N. A. PROTODYAKONOVA⁵

¹a.m.timofeev@iptpn.ysn.ru, ²o.n.kravtsova@iptpn.ysn.ru, ³nadejda.tappyrova@yandex.ru,

⁴v.ivanov49@mail.ru, ⁵pnadya.iptpn@mail.ru

V. P. Larionov Institute of Physical-Technical Problems of the North Siberian Branch of the Russian Academy of Science

When calculating the temperature regime of soils used as bases of buildings and engineering structures, it is necessary to take into account the specific heat capacity. The specific heat capacity of soils is an additive value and is determined not only by the heat capacity of the soil skeleton, but also by the heat capacity of water. Bound water in dispersed soil significantly affects numerous properties of these soils as well as the processes of heat and mass transfer in them. This effect is most pronounced in dispersed soils such as clay. Therefore, the study of the properties of bound water remains relevant today. The article presents experimental data on the determination of sorption humidity, lower and upper limits of plasticity, and specific heat capacity of clay soil. Soil samples were taken from the Amginsky Deposit of the Republic of Sakha (Yakutia). Measurements of specific heat capacity were carried out on samples of clay soil taken directly from the field and samples

of the same soil, but pre-cleaned from impurities by the elutriation method. The values of the specific heat capacity of clay soil were obtained on the Sensys Evo TG-DSC differential scanning calorimeter. On the basis of these data, the calculation of specific heat capacity of the bound water in clay soil is made. Curves of changes in specific heat capacity of clay soil and bound water depending on humidity for two types of soil are given. It is concluded that for clay soil the dependence of specific heat capacity on humidity is not monotonous, as well as the specific heat capacity of bound water.

Keywords: clay soil, specific heat, bound water, differential scanning calorimeter, sorption humidity, lower and upper limits of plasticity.

Article info:

Received 27/05/2019, accepted 16/09/2019

DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-4-92-97

Article in Russian

For citation:

Timofeev A. M., Kravtsova O. N., Tappyrova N. I., Ivanov V. A., Protodyakonova N. A. Computational and experimental method for determining the specific heat capacity of dispersed soil and bound water. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2019. No 4. p. 92–97.

Введение

Интенсивное развитие строительства в районах Арктического побережья привело к необходимости изучения физико-механических свойств грунтов. При этом требуется тщательный технический расчет и математическое моделирование процессов теплообмена в грунтах и строительных материалах для длительной безаварийной эксплуатации зданий и инженерных сооружений.

Для этого необходимо знание совокупности теплофизических и массообменных характеристик грунтов.

Мониторинг изменений температурного режима грунтов является необходимой частью инженерно-геологического обоснования и проектирования инженерных сооружений в районах Арктики.

Для расчета температурного режима грунтов обычно используются такие теплофизические характеристики как теплоемкость и теплопроводность грунтов [1, 2]. Если теплопроводность различного вида грунтов является величиной известной и вполне определенной (известны зависимости теплопроводности от влажности, плотности, температуры), то иначе обстоит дело с удельной теплоемкостью грунтов [3, 4]. Удельная теплоемкость является аддитивной величиной [5], и при экспериментальных исследованиях теплоемкости грунта основной вклад вносит удельная теплоемкость порового раствора. Определение теплоемкости грунта — достаточно трудная задача, т. к. необходима высокая чувствительность прибора.

В работе [6] приводятся методы определения теплоемкости материалов в зависимости от теплового влияния: модуляционный, импульсный и монотонного разогрева.

Модуляционный метод — состоит в том, что в качестве нагревателя используется сам образец, через который пропускается электрический ток. Используя этот метод можно определить не только теплоемкость материала, но и теплопроводность, температуропроводность и др. Модуляционный метод используется в основном для определения теплоемкости сплавов и металлов [6], потому что он позволяет определять теплофизические характеристики материала в широком диапазоне температур.

Импульсный метод создан на применении линейных зон временного варьирования температуры в одномерной пластине. При этом изменение температуры создается с помощью ввода мощности в исследуемый материал

[6–8]. Импульсные методы в основном используются для определения теплофизических характеристик сплавов и металлов, особенно при высоких температурах (точка плавления, режим теплового удара). Погрешность определения составляет до 2% [6].

Метод монотонного разогрева основан на закономерностях разогрева исследуемого материала источником квазипостоянной мощности [6] и широко применяется в дифференциальных сканирующих калориметрах (ДСК). В дифференциальном сканирующем калориметре тепло определяется через тепловой поток. В свою очередь, тепловые потоки определяются через разности температур в двух точках измерительной системы в одинаковый момент времени. В современных оборудованьях можно задавать разные температурные режимы в широком диапазоне, при этом точность очень высокая [9–11]. Погрешность определения приблизительно равна 1%.

В настоящее время ДСК широко применяются в различных областях науки и техники, это обусловлено высокой информативностью и разрешающей способностью. Используя метод ДСК можно разом определить ряд характеристик (степень чистоты материала, теплоту физико-химического процесса, теплоемкость, кинетические характеристики) [6, 11].

Отметим, что в работе [12] авторами были получены значения удельной теплоемкости глинистого грунта и связанной воды в диапазоне сорбционной влажности.

Целью данной работы является исследование удельной теплоемкости глинистого грунта и удельной теплоемкости связанной воды в более широком диапазоне значений влажности от сорбционной до верхнего предела пластичности.

Удельная теплоемкость глинистого грунта

Для исследований использовался образец грунта из карьера Амгинского месторождения, которое находится в Амгинском районе Республики Саха (Якутия). Фракционный состав данного образца представлен в табл. 1.

Измерения удельной теплоемкости проводили на двух образцах глинистого грунта:

- полученных непосредственно из карьера;
- полученных из карьера, после очищения от примесей методом отмучивания.

Таблица 1
Фракционный состав грунта

Table 1

Fractional composition of soil

Размер фракции, мм	Содержание, %
0,25–0,01	79,1
0,01–0,005	8,0
0,005–0,001	11,3
Меньше 0,0001	1,0

Измерения удельной теплоемкости проводили при трех различных температурах (20, 30, 40 °C) и интервале влажности от сорбционной до верхнего предела пластичности.

Сорбционная влажность определялась по ГОСТу 24816–81 [13]. На рис. 1 представлены значения сорбционных влажностей для двух видов исследуемых грунтов.

Сорбционная влажность при заданной относительной влажности воздуха ϕ определялась с погрешностью до 0,1% как среднее арифметическое результатов испытания 3 образцов.

Пределы пластичности определяли по ГОСТу 5180-2015 [14] по трем параллельным испытаниям, расхождение в результатах не превышало 0,02%. Нижний и верхний пределы пластичности для очищенного глинистого грунта соответственно равны 16,73% и 38,77%, а для неочищенного глинистого грунта – 20,15% и 37,91%, соответственно.

Удельную теплоемкость двух видов глинистого грунта определяли на дифференциальном сканирующем калориметре SENSYS EVO TG-DSC (рис. 2). Вследствие того, что для измерений используются миллиграммовые количества грунта, необходимо убедиться, что используемая проба исследуемого материала однородна.

Результаты и обсуждение

Измерения проводили при изменении температуры нагревателя от 20 до 40 °C. Для достоверности полученных значений удельной теплоемкости выполняли не менее 3 независимых измерений. Погрешность определения удельной теплоемкости влажных глинистых грунтов составляла 6–10%. Результаты измерений удельной теплоемкости показаны на рис. 3, 4.

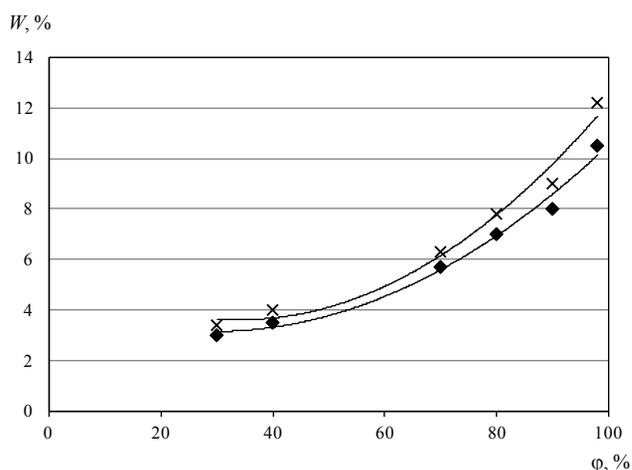


Рис. 1. Сорбционная влажность глинистых грунтов:

- × – очищенный глинистый грунт;
 - ◆ – неочищенный глинистый грунт
- Fig. 1. Sorption humidity of clay soils:
× – purified clay soil; ◆ – untreated clay soil



Рис. 2. Измерительная установка SENSYS EVO TG-DSC

Fig. 2. SENSYS EVO TG-DSC measuring equipment

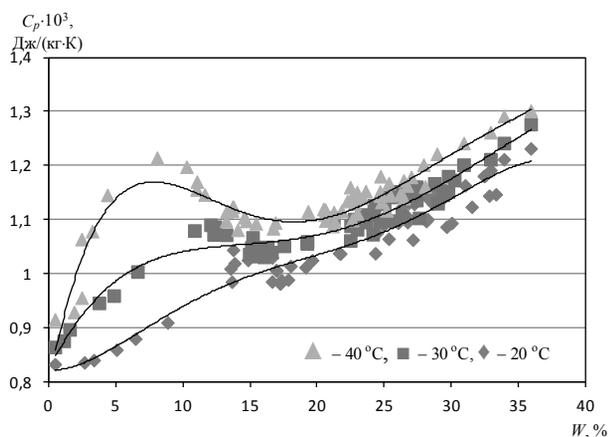


Рис. 3. Удельная теплоемкость в зависимости от влажности (очищенный глинистый грунт)

Fig. 3. Specific heat of bound water depending on humidity (pre-cleaned clay soil)

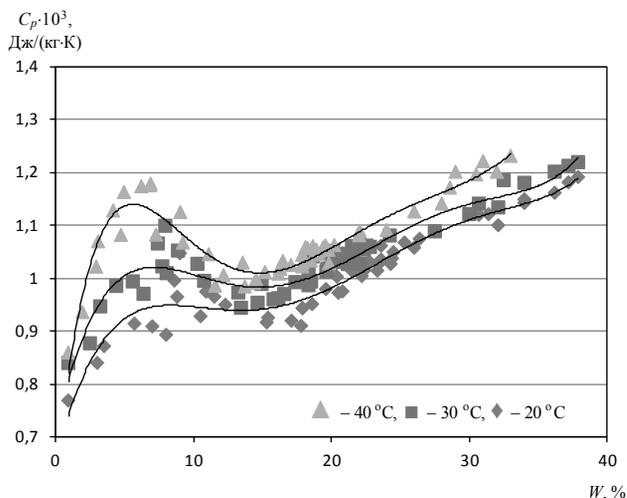


Рис. 4. Удельная теплоемкость в зависимости от влажности (неочищенный глинистый грунт)

Fig. 4. Specific heat depending on humidity (uncleaned clay soil)

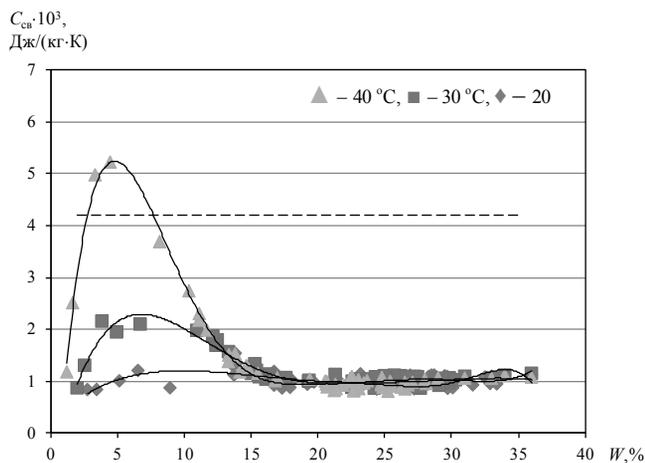


Рис. 5. Удельная теплоемкость связанной воды от влажности (очищенный глинистый грунт)

Fig. 5. Specific heat depending on humidity (uncleaned clay soil)

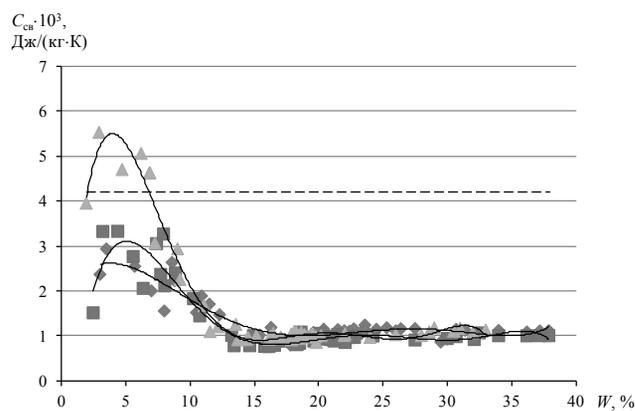


Рис. 6. Удельная теплоемкость связанной воды от влажности (неочищенный глинистый грунт)

Fig. 6. Specific heat of bound water depending on humidity (pre-cleaned clay soil)

В пределах сорбционной влажности, для двух видов глинистого грунта, значения удельной теплоемкости имеют максимум, затем до нижнего предела пластичности происходит уменьшение значений. А начиная с нижнего предела пластичности, с увеличением влажности и температуры, значения удельной теплоемкости возрастают. Значения удельной теплоемкости очищенного глинистого грунта больше, чем для неочищенного (присутствуют песчаные частицы и т. д.). Обычно величина удельной теплоемкости грунта возрастает с увеличением глинистой составляющей [12, 15, 16].

Расчет теплоемкости связанной воды

Используя вышеприведенные значения удельной теплоемкости глинистых грунтов и аддитивность теплоемкости, удельную теплоемкость связанной воды определяли по формуле [5]:

$$C = C_{ск} + C_{в}W, \quad (1)$$

где C — удельная теплоемкость исследуемого глинистого грунта, Дж/(кг·К); $C_{ск}$ — удельная теплоемкость скелета исследуемого образца, Дж/(кг·К); $C_{в}$ — удельная теплоемкость связанной воды, Дж/(кг·К); W — влажность исследуемого материала в долях.

Литература

1. Дерягин Б. В., Чураев Н. В., Овчаренко Ф. Д. и др. Вода в дисперсных системах. — М.: Химия, 1989. 288 с.
2. Etzler F. M., Conners J. J. Temperature dependence of the heat capacity of water in small pores // IPST techn. pap. ser. 1990. No. 348. p. 28.
3. Старостин Е. Г., Лебедев М. П. Свойства связанной воды в дисперсных породах. Часть 1. Вязкость, диэлектрическая проницаемость, плотность, теплоемкость, поверхностное натяжение // Криосфера Земли. 2014. т. XVIII, № 3. С. 46–54.
4. Злочевская Р. И. Связанная вода в глинистых грунтах. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1969. 176 с.
5. Гаврильев Р. И. Теплофизические свойства горных пород и напочвенных покровов криолитозоны. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1998. 280 с.

Результаты расчетов представлены на рис. 5, 6.

Из графиков, представленных на рис. 5 и 6, видно, что зависимость удельной теплоемкости связанной воды от влажности носит не монотонный характер, а имеет максимум. При температуре 40 °С в нижней части сорбционных влажностей удельная теплоемкость связанной воды выше удельной теплоемкости свободной воды, а при температурах 20 °С и 30 °С ниже [12].

В пределах пластичности удельная теплоемкость связанной воды практически не меняется и равна $1,0 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К) (ниже чем у свободной воды).

Выводы

Таким образом, исследование впервые показало в каких диапазонах изменения влажности удельная теплоемкость связанной воды выше или ниже удельной теплоемкости свободной воды. Эти данные согласуются с данными других авторов [4, 5, 16], которые получали значения удельной теплоемкости связанной воды? сопоставимые с удельной теплоемкостью свободной воды и выше.

Результаты получены на оборудовании федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН»

References

1. Deryagin B. V., Churaev N. V., Ovcharenko F. D. et al. Water in dispersed systems. Moscow, Himiya, 1989. 288 P. (in Russian)
2. Etzler F. M., Conners J. J. Temperature dependence of the heat capacity of water in small pores // IPST techn. pap. ser. 1990. No. 348. 28 P.
3. Starostin E. G., Lebedev M. P. Properties of bound water in dispersed rocks. Part 1. Viscosity, permittivity, density, heat capacity, surface tension. *Kriosfera Zemli*. 2014. Vol. XVIII, No 3. p. 46–54. (in Russian)
4. Zlochevskaya R. I. Bound water in clay soils. Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta, 1969. 176 P. (in Russian)
5. Gavril'ev R. I. Thermophysical properties of rocks and ground covers of the cryolithozone. Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, 1998. 280P. (in Russian)

6. Походун А. И., Шарков А. В. Экспериментальные методы исследований. Измерения теплофизических величин. — СПб: СПб ГУ ИТМО, 2006. 87 с.
7. Каркашадзе Г. Г., Шергин Д. В., Луныков В. А., Банников Д. О. Методика определения удельной теплоемкости и коэффициента температуропроводности горных пород методом импульсного нагрева в лабораторных условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 9. С. 137–140.
8. ГОСТ 25493–82. Метод определения удельной теплоемкости и коэффициента температуропроводности. — М., 1982.
9. Bowers S. A., Hanks R. J. Specific heat capacity of soils and minerals as determined with a radiation calorimeter // *Soil Science*. 1962. Vol. 94. No. 6. p. 392–396.
10. Емелина А. Л. Дифференциальная сканирующая калориметрия. — М.: МГУ, 2009. 42 с.
11. Kucerik J., Siewert C. Practical application of thermogravimetry in soil science. Part 2: Modeling and prediction of soil respiration using thermal mass losses // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2014. Vol. 116. No 2, p. 563–570.
12. Старостин Е. Г., Тимофеев А. М., Кравцова О. Н., Таппырова Н. И. Удельная теплоемкость связанной воды в глинистых грунтах в пределах сорбционной влажности // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016. № 11 (53). Ч. 4 С. 112–116.
13. ГОСТ 24816–81. Материалы строительные. Метод Определения сорбционной влажности. Переиздание. — М.: Издво стандартов, 1988.
14. ГОСТ 5180–2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Переиздание. — М.: Стандартинформ, 2019.
15. Wanga Y., Lua Y., Horton R., Ren T. Specific heat capacity of soil solids: Influences of clay content, organic matter, and tightly bound water // *Science Society of America Journal*. 2019. Vol. 83. No 4. p. 1062–1066.
16. Wang Y., Lu S., Ren T., Li B. Bound water content of air-dry soils measured by thermal analysis // *Soil Science Society of America Journal*. 2011. Vol. 75. No 2. p. 481–487.
6. Pohodun A. I., Sharkov A. V. Experimental research methods. Measurements of thermophysical quantities. Textbook. Saint-Petersburg, SPb GU ITMO, 2006. 87 P. (in Russian)
7. Karkashadze G. G., Shergin D. V., Lunyakov V. A., Bannikov D. O. Methods for determining the specific heat capacity and thermal conductivity of rocks by pulsed heating in the laboratory. *Gornyy informacionno-analiticheskiy byulleten*. 2011. No 9. p. 137–140. (in Russian)
8. State standard 25493–82. Method for determination of specific heat capacity and thermal conductivity. Moscow. 1982. (in Russian)
9. Bowers S. A.; Hanks R. J. Specific heat capacity of soils and minerals as determined with a radiation calorimeter. *Soil Science*. 1962. Vol 94. No 6. p. 392–396.
10. Emelina A. L. Differential scanning calorimetry. Moscow, MGU, 2009. 42 P. (in Russian)
11. Kucerik J., Siewert C. Practical application of thermogravimetry in soil science. Part 2: Modeling and prediction of soil respiration using thermal mass losses. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2014. Vol. 116. No 2, p. 563–570.
12. Starostin E. G., Timofeev A. M., Kravczova O. N., Tappyrova N. I. Specific heat capacity of bound water in clay soils within sorption humidity. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*. 2016. No 11 (53). Part 4. p. 112–116. (in Russian)
13. State standard 24816–81. Construction materials. Determination method of sorption humidity. Moscow. 1988. (in Russian)
14. State standard 5180–2015. Soils. Methods of laboratory determination of physical characteristics. Moscow. 2019. (in Russian)
15. Wanga Y., Lua Y., Horton R., Ren T. Specific heat capacity of soil solids: Influences of clay content, organic matter, and tightly bound water. *Science Society of America Journal*. 2019. Vol. 83. No 4. p. 1062–1066.
16. Wang Y., Lu S., Ren T., Li B. Bound water content of air-dry soils measured by thermal analysis. *Soil Science Society of America Journal*. 2011. Vol. 75. No 2. p. 481–487.

Сведения об авторах

Тимофеев Анатолий Михайлович

д. т. н., главный научный сотрудник отдела теплообменных процессов Института физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова СО РАН, 677000, г. Якутск, ул. Октябрьская 1, a.m.timofeev@iptpn.yasn.ru

Кравцова Ольга Николаевна

к. т. н., старший научный сотрудник отдела теплообменных процессов Института физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова СО РАН, 677000, Якутск, ул. Октябрьская 1, o.n.kravtsova@iptpn.yasn.ru

Таппырова Надежда Ивановна

ведущий инженер отдела теплообменных процессов Института физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова СО РАН, 677000, Якутск, ул. Октябрьская 1, nadejda.tappyrova@yandex.ru

Information about authors

Timofeev Anatoly Mihaylovich

D. Sc., Chief researcher of Department of the Heat and mass transfer processes of V. P. Larionov Institute of Physical-Technical Problems of the North Siberian Branch of the RAS, 677000, Russia, Yakutsk, str. October 1, a.m.timofeev@iptpn.yasn.ru

Kravtsova Olga Nikolaevna

Ph. D., Senior researcher of Department of the Heat and mass transfer processes of V. P. Larionov Institute of Physical-Technical Problems of the North Siberian Branch of the RAS, 677000, Russia, Yakutsk, str. October 1, o.n.kravtsova@iptpn.yasn.ru

Tappyrova Nadejda Ivanovna

Lead engineer of Department of the Heat and mass transfer processes of V. P. Larionov Institute of Physical-Technical Problems of the North Siberian Branch of the RAS, 677000, Russia, Yakutsk, str. October 1, nadejda.tappyrova@yandex.ru

Иванов Василий Алексеевич

д. т. н., отдел тепломассообменных процессов
Института физико-технических проблем Севера
им. В. П. Ларионова СО РАН, 677000, Якутск,
ул. Октябрьская 1, v. ivanov49@mail.ru

Протодияконова Надежда Анатольевна

к. ф.-м. н., старший научный сотрудник
отдела тепломассообменных процессов
Института физико-технических проблем Севера
им. В. П. Ларионова СО РАН,
677000, Якутск, ул. Октябрьская 1, pnadya.iptpn@mail.ru

Ivanov Vasily Alekseevich

D. Sc., Chief researcher of Department of the Heat and mass
transfer processes of V. P. Larionov Institute of Physical-Technical
Problems of the North Siberian Branch of the RAS, 677000,
Russia, Yakutsk, str. October 1, v. ivanov49@mail.ru

Protodyakonova Nadejda Anatolyevna

Ph. D., Senior researcher of Department of the Heat
and mass transfer processes of V. P. Larionov Institute of Physical-
Technical Problems of the North Siberian Branch of the RAS,
677000, Russia, Yakutsk, str. October 1,
pnadya.iptpn@mail.ru

Министерство образования и науки Российской Федерации
Национальный комитет по теплофизическим свойствам веществ РАН
Университет ИТМО
Международная академия холода
Рабочая группа ИС РАН «Свойства хладагентов и теплоносителей»

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

**«ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ – РЕАЛЬНЫЙ ВЫЗОВ
ДЛЯ ИНДУСТРИИ ХОЛОДА.
ПЕРСПЕКТИВЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ»**

29 января 2020 г.

Адрес проведения: Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, Университет ИТМО

ТЕМЫ, ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- актуальные проблемы энергетики и экологии, Парижский климатический саммит и 25-й Всемирный конгресс по холоду;
- устойчивые и экологически безопасные хладагенты, Кигалийская поправка, тренды глобального развития и стратегии потребления хладагентов, горючие хладагенты;
- арктический и антарктический спрос; арктические льды, их влияние на глобальное потепление;
- Север и глобальное потепление; замораживание и термостабилизация грунтов; деградация вечной мерзлоты;
- возобновляемые источники энергии, гибридные схемы, тепловые насосы, биоэнергетика;
- транскритические циклы на диоксиде углерода;
- устойчивые экологические решения для охлаждения центров обработки данных;
- тепловые трубы, области применения;
- энергоэффективные технологии получения высококачественного льда в крытых катках;
- когенерация и тригенерация;
- преимущества и трудности реализации аммиачных и углеводородных холодильных установок;
- материалы с магнитокалорическим эффектом;
- энергосберегающие низкотемпературные энергетические системы;
- традиционные и нетрадиционные проблемы теплофизики; свойства рабочих веществ; проблемы интенсификации теплообмена; наноструктурированные материалы;
- системы хладоснабжения, потребности «холодильной цепи», контейнерные хладоцентры, эко-трейлеры; морской рефрижераторный флот;
- абсорбционные холодильные машины;
- холодильные технологии для сохранения биоразнообразия фауны Земли.

Заявки на участие в конференции подавать до 15.01.2020 г. (с пометкой "Хладагенты")
на электронный адрес: laptev_yua@mail.ru
Тел./Факс: (812) 571-69-12, 571-56-89