

# Теплопроводность жидких гидрофторхлорпроизводных олефинов. Корреляции и априорные оценки

Д-р техн. наук **О. Б. ЦВЕТКОВ**<sup>1</sup>, канд. техн. наук **В. В. МИТРОПОВ**<sup>2</sup>,  
канд. техн. наук **Ю. А. ЛАПТЕВ**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>tsvetkov@itmo.ru, <sup>2</sup>v\_mit@mail.ru, <sup>3</sup>laptev\_yua@mail.ru

Университет ИТМО

*Олефиновые углеводороды, одни из перспективных продуктов нефтехимической промышленности для синтеза пластмасс, волокон, синтетических смазочных масел, в XXI веке стремительно вошли в технику низких температур в качестве рабочих веществ, поскольку гидрофторолефины (ГФО) и гидрохлорфторолефины (ГХФО), благодаря двойной связи C=C, обладают исключительно низкими потенциалами глобального потепления. В центре внимания — важнейшее свойство рабочих веществ — коэффициент теплопроводности, как величина, существенным образом, определяемая характером теплового движения и необходимая в расчетах процессов теплообмена. Сегодня возрастающие потребности науки и техники в рабочих веществах опережают возможности их экспериментального сопровождения. Сочетание экспериментального подхода с организуемым началом теоретических исследований рассмотрено для теплопроводности жидких галогенопроизводных олефинов на линии фазового равновесия. На основе анализа экспериментального материала и предположения о справедливости для жидкостей механизма переноса тепла посредством гипер акустических волн рассмотрены корреляции для описания и априорных оценок теплопроводности, параметры которых получены из доступной эмпирической информации. Проведено сопоставление расчетных значений с данными экспериментов.*

**Ключевые слова:** гидрофторхлоролефины, теплопроводность, насыщенная жидкость, методы корреляции.

## Информация о статье:

Поступила в редакцию 01.03.2021, принята к печати 20.05.2021

DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-3-75-80

Язык статьи — русский

## Для цитирования:

Цветков О. Б., Митропов В. В., Лаптев Ю. А. Теплопроводность жидких гидрофторхлорпроизводных олефинов. Корреляции и априорные оценки // Вестник Международной академии холода. 2021. № 3. С. 75–80.

DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-3-75-80

## Thermal conductivity of liquid hydrofluorochloroderivatives of olefins. Correlations and a priori estimates

D. Sc. **O. B. TSVETKOV**<sup>1</sup>, Ph. D. **V. V. MITROPOV**<sup>2</sup>, Ph. D. **Yu. A. LAPTEV**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>tsvetkov@itmo.ru, <sup>2</sup>v\_mit@mail.ru, <sup>3</sup>laptev\_yua@mail.ru

ITMO University

*Hydrofluoro- and hydrochlorofluoroolefins are characterized by the presence of a C=C double bond in the molecule and have an extremely low potential for global warming. Olefin hydrocarbons, one of the promising products of petrochemical industry for the synthesis of plastic, fibers, and synthetic lubricating oils, has found an increased application as refrigerants in cryogenics in the XXI century. The article concentrates on the heat-transfer coefficient as the most important characteristic of refrigerants, which depends heavily on the nature of thermal motion and is necessary for the calculation of heat exchange processes. Currently, an increasing demand of science and engineering for refrigerants exceeds the experimental data available. A combination of experimental approach and theoretical research is considered for heat conductivity of liquid hydrofluorochloroderivatives of olefins along saturation line. The correlations for a priori evaluations of heat conductivity, the parameters of which are drawn from empirical data available, are analyzed. The foundation of the analysis is the heat-transfer mechanism by hyperacoustic waves, which is supposed to be true for liquids. Conclusions are drawn regarding the comparison between measurements and calculated thermal conductivity.*

**Keywords:** hydrofluorochloroolefins, thermal conductivity, liquid state, predictive methods.

**Article info:**

Received 01/05/2021, accepted 20/05/2021

DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-3-75-80

Article in Russian

**For citation:**

Tsvetkov O. B., Mitropov V. V., Laptev Yu. A. Thermal conductivity of liquid hydrofluorochloroderivatives of olefins. Correlations and a priori estimates. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2021. No 3. p. 75–80  
DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-3-75-80

**Введение**

Гидрофтор- и гидрофторхлоролефины в технике низких температур появились в начале XXI века. Их предшественники — галогенопроизводные углеводородов (ГХФУ, ХФУ, ГФУ), известные в индустрии холода более ста лет, должны, согласно Киотского протокола 2016 г. и постановления Правительства РФ от 25.03.2020 г., практически быть полностью исключены из обращения до 2031 г. Всего лишь через десять лет хлорфторуглероды, гидрофторхлоруглероды, гидрофторуглероды уйдут в прошлое. Их место займут гидрофторолефины (НФО) и гидрохлорфторолефины (НСФО). Эти синтетические хладагенты срочно востребованы, поскольку обладают на два — три порядка более низкими потенциалами глобального потепления в сравнении с галогенопроизводными предельных углеводородов [1]–[4].

Для создания новых технологий, машин и аппаратов техники низких температур необходимы данные по теплофизическим свойствам. Необходимым элементом этих исследований является изучение макроскопических параметров, отражающих проявление теплового движения в жидкостях, и, в первую очередь, исследования теплопроводности, существенным образом определяемой характером теплового движения. Теплопроводность жидкостей на линии фазового равновесия входит в определяющие критериальные зависимости для расчетов процессов теплообмена, имеет большое прикладное значение.

Образовалась серьезная диспропорция, поскольку среди десятков новых альтернативных хладагентов — галоолефинов: метенов, этенов, пропеннов, бутенов только для пропеннов R1234yf, R1234ze(E), R1233zd (E) и R1224yd(Z) теплопроводность исследована экспериментально.

Как известно, надежный эксперимент является приоритетным источником теплофизической информации, однако даже эти, появившиеся в мировой литературе, немногочисленные данные существенно противоречивы: расхождения между ними на порядок превышают заявленную авторами погрешность опытных данных. Изучение теплопроводности жидкостей является одним из наиболее сложных экспериментов, обремененных переносом теплоты свободной конвекцией и излучением, поэтому по масштабам экспериментальные исследования теплопроводности газов и жидкостей значительно уступают исследованиям равновесных и ряда кинетических свойств.

Несмотря на успехи, теория жидкого состояния не позволяет получить широкий ассортимент свойств вследствие сложности строения и характера теплового движения в многоатомных флюидах. Недостаток четких теоретических представлений о механизме теплопроводности в жидких средах способствовал появлению многочисленных эмпирических расчетных схем. Подобные

зависимости (а их только в работе [5] упоминается 26) имеют большой практический интерес, хотя их обоснование и надежность часто недостаточны.

Более плодотворный путь предполагает сочетание преимуществ эмпирических методов исследования с организуемым началом теоретических подходов. Познавательную эвристическую роль для решения подобных практических и научных задач несет использование представлений о процессе теплопереноса посредством гипер акустических волновых движений среды — фононов с учетом их поглощения и рассеяния на флуктуациях плотности [6, 7].

**Цели и задачи исследования**

Целью настоящей публикации являлись систематизация и критическая оценка опубликованных экспериментальных данных, выбор модели оптимальной аппроксимирующей зависимости, обзор имеющихся формул для прогноза теплопроводности и разработка корреляций для априорных оценок теплопроводности галоолефинов в состоянии насыщенной жидкости.

**Обзор проблем и подходов**

В природе жидкостей проявляются черты, свойственные газам, и черты, присущие твердым кристаллическим телам.

Развитие Филипповым Л. П. подобных теоретических представлений о переносе теплоты в жидкости посредством гипер акустических волновых движений с учетом поглощения и рассеяния их на флуктуациях плотности привело к соотношению [5]

$$\lambda = \psi U (c_p \rho)^{\frac{2}{3}} K^{\frac{1}{3}}, \quad (1)$$

где  $U$  — скорость гиперзвука,  $K$  — постоянная Больцмана,  $\psi$  — безразмерный параметр,  $c_p$  — изобарная теплоемкость,  $\rho$  — плотность.

Обобщение данных согласно модели Филиппова о механизме переноса теплоты постулирует введение критериальной единицы теплопроводности [5]–[7]

$$\lambda^* = \left( \frac{RT_{кр}}{M} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{V_{кр}}{N} \right)^{-\frac{2}{3}} \quad (2)$$

и соответственно форму обобщения в виде

$$\frac{\lambda}{\lambda^*} = f(\tau). \quad (3)$$

Здесь  $\tau = \frac{T}{T_{кр}}$ ,  $T_{кр}$ ,  $V_{кр}$  — критическая температура и мольный объем;  $R$  — универсальная газовая постоянная,  $N$  — число Авогадро;  $M$  — молекулярная масса.

В работах Тейя и Райса комплекс  $\lambda^*$  трансформирован как [6]

$$\lambda^* = \frac{1}{\frac{T_{кр}^2}{1} \frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{M^2 V_{кр}^3} \quad (4)$$

Латини использовал соотношения

$$\lambda^* = 0,85 T_{кр}^{\frac{3}{4}} M^{-\frac{3}{4}} \quad (5)$$

для серии галогенопроизводных метана и этана [8] и

$$\lambda^* = 0,92 T_{кр}^{\frac{3}{4}} M^{-\frac{3}{4}} \quad (6)$$

для производных пропана [9].

### Алгоритмы расчетов

Эвристической основой использованного в работе похода явились представления о механизме переноса энергии коллективного движения среды гипер акустическими волнами, ранее апробированного при описании теплопроводности жидких галогенопроизводных предельных углеводородов ряда метана, этана, пропана и их смесей на линии насыщения [10, 11].

Использованы зависимости

$$\lambda^* = \frac{1}{\xi Gu^4}, \quad (7)$$

$$\xi = \frac{M^2 T_{кр}^6}{2 P_{кр}^3}, \quad (8)$$

$$Gu = \frac{T_{кр}}{T_0}. \quad (9)$$

Здесь  $Gu$  — число Гульберга,  $T_0$  — температура кипения при нормальном давлении, К.

Значения этих величин приведены в табл. 1 для пропен, теплопроводность которых исследована экспериментально [12]–[18].

Таблица 1

Значения  $\xi$ ,  $Gu$ ,  $\lambda^*$  пропен

Table 1

Values  $\xi$ ,  $Gu$ ,  $\lambda^*$  for propenes

Хладагент	$\xi$	$Gu$	$\lambda^*$ , Вт/(м·К)
R1234yf	2,7328	1,5090	0,0706
R1234ze(E)	2,6221	1,5050	0,0743
R1234zd(E)	2,8767	1,5085	0,0671
R1224yd(Z)	3,2015	1,4946	0,0626

Опытные данные [12]–[18], согласно (3), представлены на рис. 1. Рассматриваемое соотношение носит характер корреляционной зависимости, причем корреляция оказывается довольно тесной. Обстоятельство, на которое обращает внимание рис. 1 — расхождения опытных данных до 20%. С точки зрения механизма переноса энергии эти расхождения в поведении теплопроводности можно объяснить различными значениями скорости гиперзвука для алкенов, т. е. дисперсией гиперзвука. Эта сторона присуща тепловому движению молекул и в определенном смысле позволяет скорее интерпретировать результаты эксперимента, чем предсказывать их.

Расхождения в опытных данных [12], [16], [18] может быть связано и с реализацией методики измерения теплопроводности. Авторы [12, 14–18] использовали нестационарный метод нагреваемой нити. Реализация подобного метода имеет ряд особенностей, в 90-е годы ставших причиной значительных отклонений опытных данных, полученных, в частности, по теплопроводности гидрофторуглерода ГФУ-134а (R134а) [19].

В работах [12], [16], [18] не представлена очень важная информация об апробации ячеек проводимости на веществах, для которых существуют международные стандартные справочные данные по теплопроводности. Опытные данные работ [14, 15] получены на апробированных стендах, использованных ранее для измерения теплопроводности хладагентов классов ГХФУ и ГФУ. Экспериментальные значения теплопроводности в [13], [17] по-

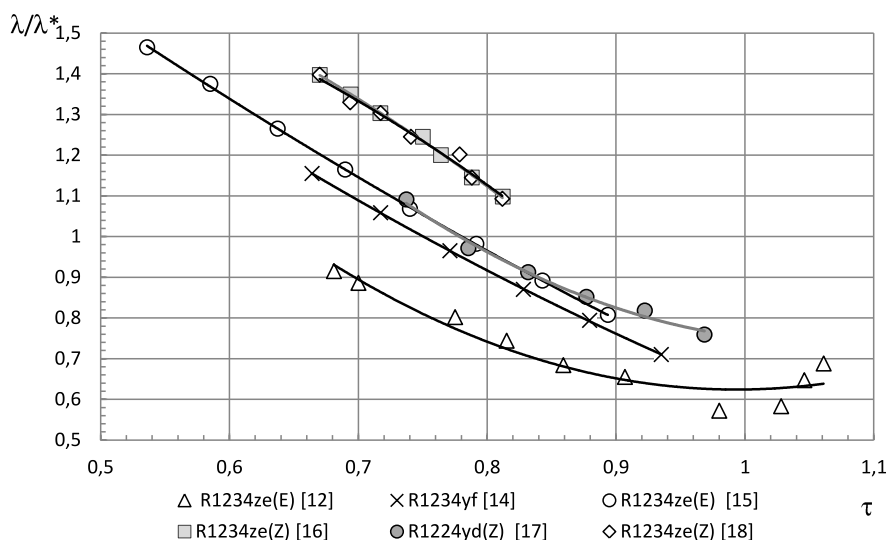


Рис. 1. Экспериментальные данные [12, 14–18]

лучены в разных странах, но согласуются в пределах погрешности, заявленной авторами.

В последующих расчетах с учетом указанных выше моментов использованы результаты работ [13]–[15] и [17].

По аналогии с критерием Гульберга предложена корреляция вида

$$\frac{\lambda}{\lambda^*} = a + b\tau_0. \quad (10)$$

$$\text{Здесь } \tau_0 = \frac{T}{T_0}.$$

Значения коэффициентов  $a$  и  $b$  приведены в табл. 2.

Отклонения расчетных значений теплопроводности от результатов опытов для R1233zd(E), R1234yf и R1234ze(E) лежат в пределах  $\pm 1,5\%$ . Отклонения порядка  $\pm 3\%$  получены для R1224yd(Z).

Обобщение данных для этих пропеннов единой зависимостью дало значения:  $a=2,3307$  и  $b=-1,1279$ . Расчетные значения отличаются, естественно, существеннее от данных эксперимента: для трех пропеннов — до  $6\%$ , для R1224yd(Z) — до  $8\%$ .

Таблица 2

Коэффициенты  $a$  и  $b$  уравнения (10)

Table 2

Coefficients  $a$  and  $b$  of the equation (10)

Хладагент	Коэффициенты		Интервал $\tau_0$
	$a$	$b$	
R1233zd(E)	2,3722	-1,1351	1,08–1,42
R1234yf	2,2339	-1,0850	1,00–1,41
R1224yd(Z)	2,0574	-0,9066	1,10–1,45
R1234ze(E)	2,4503	-1,2306	0,80–1,35

Расхождения в  $6-8\%$  превышают погрешность экспериментальных данных, однако, с точки зрения существующих оценок методов прогноза [6], [8], не выходят за пределы допускаемых максимальных погрешностей.

Были проанализированы коррелятивные особенности зависимости вида

$$\tau_0 = a_0 + b_0 \frac{\lambda}{\lambda^*}. \quad (11)$$

Коэффициенты  $a_0$  и  $b_0$  уравнения (11) для галогенопроизводных олефинов приведены в табл. 3. Погрешности описания для всех пропеннов меньше.

Таблица 3

## Коэффициенты уравнения (11)

Table 3

## Coefficients of the equation (11)

Хладагент	Коэффициенты		Относительные максимальные отклонения, %
	$a_0$	$b_0$	
R1233zd(E)	2,0873	-0,8783	$\pm 0,86$
R1234yf	2,0573	-0,9199	$\pm 0,70$
R1224yd(Z)	2,2346	-1,0645	$\pm 2,61$
R1234ze(E)	1,9899	-0,8115	$\pm 0,86$

В случае единой зависимости для всех четырех пропеннов R1233zd(E), R1234yf, R1224yd(Z), R1234ze(E) коэффициенты равны  $a_0=2,0396$  и  $b_0=-0,8577$ . Максимальная погрешность выше, но не превышала  $\pm 6\%$ , причем отклонения до  $6\%$  получены только для пропена R1234yd(Z).

Для пропеннов R1233zd(E), R1234yf и R1234ze(E) подобное обобщение дает значения  $a_0$  и  $b_0$  соответственно 2,0104 и  $-0,8316$ . Погрешность описания не выше  $\pm 3-4\%$ .

Оказалось, что химический состав молекулы пропеннов может коррелировать значения коэффициента  $a_0$ . Так, если взять за основу молекулу R1234yf, в правой части которой ( $\text{CF}_3\text{CF}=\text{CH}_2$ ) только атомы водорода и углерода, и принять  $a_0=1,96$ , замена водорода на фтор в правой части молекулы R1234ze(E) ( $\text{CF}_3\text{CH}=\text{CHF}$ ) снижает теплопроводность и, как следствие, значение  $a_0$  на 0,04. Замена фтора на водород в основной части молекулы R1234yf улучшает процесс теплопереноса и повышает значение  $a_0$  на 0,08. Таким образом, для всей молекулы пропена R1234ze(E) окончательно имеем  $a_0=1,96-0,04+0,08=2,00$ . Появление атома хлора вместо фтора в правой части молекулы R1233zd(Z) ( $\text{CF}_3\text{CH}=\text{CHCl}$ ) увеличивает коэффициент теплопроводности. Коэффициент  $a_0$  растет на 0,12, т. е. имеем  $a_0=1,96-0,04+0,12=2,04$ . Атом хлора в правой части молекулы  $\text{CF}_3\text{CF}=\text{CHCl}$  (R1234yd(Z)), увеличивает  $a_0$  на 0,12 в сравнении с  $a_0$  для молекулы  $\text{CF}_3\text{CF}=\text{CH}_2$  (R1234yf). В итоге для R1224yd(Z) получаем значение  $a_0=1,96+0,12=2,08$ .

Подобная структурная дифференциация  $a_0$  важна и может быть использована для априорных оценок теплопроводности жидкости на линии фазового равновесия еще не исследованных галоолефинов.

Итак, если для R1234yf ( $\text{CF}_3\text{CF}=\text{CH}_2$ ) оставляем значение  $a_0=1,96$ , то, соответственно, для R1234ze(E) имеем  $a_0=2,00$  ( $\text{CF}_3\text{CH}=\text{CHF}$ ) и для R1233zd(E)  $a_0=2,04$  ( $\text{CF}_3\text{CH}=\text{CHCl}$ ). Погрешность описания для этих пропеннов не превышает  $\pm 2\%$ .

Для R1224yd(Z) значение  $a_0$  в соответствии с рассмотренной парадигмой равно 2,08. Погрешность расчетных значений для R1224yd(Z) как всегда выше, но не превышала  $\pm 4\%$ .

Во всех расчетах значение коэффициента  $b_0$  не изменялось, т. е.  $b_0=-0,8316$ .

## Заключение

Рассмотрены корреляции для теплопроводности жидкости с использованием феноменологических представлений о механизме переноса теплоты посредством гипер акустических волн. Проведено сопоставление экспериментальных и расчетных значений теплопроводности жидкости на линии насыщения. Отмечены возможности априорных оценок температурной зависимости теплопроводности гидрофторхлоролефинов, в том числе с позиций химического строения молекул. Полученные результаты интересны с прогностических позиций, поскольку данных по теплопроводности многих галогенопроизводных олефинов практически нет.

Литература

References

1. UNEP Amendment to the Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer (Kigali amendment) // *Int. Leg. Mater.* 2016.
2. McLinden M. O., Brown J. S., Brignoli R., Kazakov A. F., Domanski P. A. Limited options for low-global-warming — potential refrigerants // *Nat. Commun.* 2017. V. 8. P. 14476.
3. Bell I. H., Domanski P. A., McLinden M. O., Linteric G. T. The hunt for nonflammable refrigerant blends to replace R-134a// *Int. J. Refrig.* 2019. V. 104. P. 484–495.
4. AGC Chemicals, Ltd, 2016, AMOLEATM yd, A non-flammable, low GWP HCFO refrigerants, Catalog AMOLEA YD Eng. 09–2016.
5. Филиппов Л. П. Прогнозирование теплопроводности жидкостей // ИФЖ. 1987. Т. 53. № 2. С. 328–336.
6. Филиппов Л. П. Прогнозирование теплофизических свойств жидкостей и газов. М.: Энергоатомиздат, 1988. 168 с.
7. Филиппов Л. П. Подобие свойств веществ. М.: Изд. Московского ун-та, 1978. 256 с.
8. Latini G., Sotte M. Thermal conductivity of refrigerants in the liquid state: a comparison of estimation methods // *Int. J. Refrig.* 2012. V. 35. P. 1377–1383.
9. Nicola G. Di, Ciarrochi E., Coccia G., Pierantozzi M. Correlations of thermal conductivity for liquid refrigerants at atmospheric pressure or near saturation// *Int. J. Refrig.* 2014. V. 45. P. 168–176.
10. Цветков О. Б., Лантев Ю. А., Митропов В. В., Шарков А. В., Федоров А. В. Интерпретация фоновной модели теплопроводности транс-1-хлор-3,3,3-трифторпропена (HFO-1233zd(E)) на жидкостной ветви бинаодала // *Вестник Международной академии холода.* 2020. № 1. С. 103–107.
11. Цветков О. Б. Теплопроводность холодильных агентов. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1984. 230 с.
12. Grebenkov A. J., Hulse R., Pham H., Singh R. Physical properties and equation of state for trans-1,3,3,3-tetrafluoropropene// 3rd IIR conference on thermophysical properties and transfer processes of Refrigerants. 2009. P. 23–26.
13. Miyara A., Tsubaki K., Sato N., Fukuda R. Thermal conductivity of saturated liquid HFO-1234ze (E) and HFO-1234ze (E) +HFC-32 mixture. // 23rd IIR Intern. Congress of Refrigeration. 2011.
14. Perkins R. A., Huber M. L. Measurement and correlation of the thermal conductivity of 2,3,3,3-tetrafluoroprop-1-ene (R1234yf) and trans-1,3,3,3-tetrafluoropropene (R1234ze (E)) // *J. Chem. Eng. Data.* 2017.
15. Perkins R. A., Huber M. L., Assael M. J. Measurements and correlation of the thermal conductivity of trans-1-Chloro-3,3,3-trifluoropropene (R1233ze (E)) // *J. Chem. Eng. Data.* 2017. V. 62. P. 2659–2665.
16. Alam M. J., Islam M. A., Kariya K., Miryara M. Measurement of thermal conductivity and correlations at saturated state of refrigerant trans-1-chloro-3,3,3-trifluoropropene (R-1233zd (E)) // *Int. J. Refrig.* 2018. V. 90. P. 174–180.
17. Alam M. J., Yamaguchi K., Hori Y., Kariya K., Miyara A. Measurement of thermal conductivity and viscosity of cis-1-chloro-2,3,3,3-tetrafluoropropene (R-1224yd (Z)) // *Int. J. Refrig.* 2019. V. 104. P. 221–228.
18. Ishida H., Mori S., Kariya K., Miyara A. Thermal conductivity measurements of low GWP refrigerants with hot-wire method// 24th Int. Congress of Refrigeration (ICR), Yokohama, August 16–22, 2015, Japan. 2015.
19. Richard R. G., Shankland I. R. A transient hot-wire method for measuring the thermal Conductivity of gases and liquids // *Int. J. Thermophysics.* 1989. V. 3. P. 673–686.
1. UNEP Amendment to the Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer (Kigali amendment). *Int. Leg. Mater.* 2016.
2. McLinden M. O., Brown J. S., Brignoli R., Kazakov A. F., Domanski P. A. Limited options for low-global-warming — potential refrigerants. *Nat. Commun.* 2017. V. 8. P. 14476.
3. Bell I. H., Domanski P. A., McLinden M. O., Linteric G. T. The hunt for nonflammable refrigerant blends to replace R-134a. *Int. J. Refrig.* 2019. V. 104. P. 484–495.
4. AGC Chemicals, Ltd, 2016, AMOLEATM yd, A non-flammable, low GWP HCFO refrigerants, Catalog AMOLEA YD Eng. 09–2016.
5. Filippov L. P. Predicting the thermal conductivity of liquids. *Engineering and Physical Journal*, 1987, vol. 53, no. 2, pp. 328–336. (in Russian)
6. Filippov L. P. Forecasting of thermophysical properties of liquids and gases. Moscow: Energoatomizdat, 1988. 168 p. (in Russian)
7. Filippov L. P. Similarity of properties of substances. Moscow: Publishing house of the Moscow University, 1978. 256 p. (in Russian)
8. Latini G., Sotte M. Thermal conductivity of refrigerants in the liquid state: a comparison of estimation methods. *Int. J. Refrig.* 2012. V. 35. P. 1377–1383.
9. Nicola G. Di, Ciarrochi E., Coccia G., Pierantozzi M. Correlations of thermal conductivity for liquid refrigerants at atmospheric pressure or near saturation. *Int. J. Refrig.* 2014. V. 45. P. 168–176.
10. Tsvetkov O. B., Laptev Yu. A., Mitropov V. V., Sharkov A. V., Fedorov A. V. Interpretation of photonic model for trans-1-chloro-3,3,3-trifluoropropene (HFO-1233zd (E)) thermal conductivity for the liquid branch of the bimodal. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda.* 2020. No 1. p. 103–107. (in Russian)
11. Tsvetkov O. B. Thermal conductivity of refrigerating agents. L.: Leningrad University Publishing House, 1984. 230 p. (in Russian)
12. Grebenkov A. J., Hulse R., Pham H., Singh R. Physical properties and equation of state for trans-1,3,3,3-tetrafluoropropene. *3rd IIR conference on thermophysical properties and transfer processes of Refrigerants.* 2009. P. 23–26.
13. Miyara A., Tsubaki K., Sato N., Fukuda R. Thermal conductivity of saturated liquid HFO-1234ze (E) and HFO-1234ze (E) +HFC-32 mixture. *23rd IIR Intern. Congress of Refrigeration.* 2011.
14. Perkins R. A., Huber M. L. Measurement and correlation of the thermal conductivity of 2,3,3,3-tetrafluoroprop-1-ene (R1234yf) and trans-1,3,3,3-tetrafluoropropene (R1234ze (E)). *J. Chem. Eng. Data.* 2017.
15. Perkins R. A., Huber M. L., Assael M. J. Measurements and correlation of the thermal conductivity of trans-1-Chloro-3,3,3-trifluoropropene (R1233ze (E)). *J. Chem. Eng. Data.* 2017. V. 62. P. 2659–2665.
16. Alam M. J., Islam M. A., Kariya K., Miryara M. Measurement of thermal conductivity and correlations at saturated state of refrigerant trans-1-chloro-3,3,3-trifluoropropene (R-1233zd (E)). *Int. J. Refrig.* 2018. V. 90. P. 174–180.
17. Alam M. J., Yamaguchi K., Hori Y., Kariya K., Miyara A. Measurement of thermal conductivity and viscosity of cis-1-chloro-2,3,3,3-tetrafluoropropene (R-1224yd (Z)). *Int. J. Refrig.* 2019. V. 104. P. 221–228.
18. Ishida H., Mori S., Kariya K., Miyara A. Thermal conductivity measurements of low GWP refrigerants with hot-wire method. *24th Int. Congress of Refrigeration (ICR), Yokohama, August 16–22, 2015, Japan.* 2015.
19. Richard R. G., Shankland I. R. A transient hot-wire method for measuring the thermal Conductivity of gases and liquids. *Int. J. Thermophysics.* 1989. V. 3. P. 673–686.

## Сведения об авторах

**Цветков Олег Борисович**

Д. т. н., профессор, доцент факультета энергетики и экотехнологий Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, tsvetkov@itmo.ru

**Митропов Владимир Викторович**

К. т. н., доцент факультета энергетики и экотехнологий Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, v\_mit@mail.ru

**Лаптев Юрий Александрович**

К. т. н., старший научный сотрудник, тьютор факультета энергетики и экотехнологий Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, laptev\_yua@mail.ru

## Information about authors

**Tsvetkov Oleg B.**

D. Sc., Professor, Associate professor of Faculty of Energy and Ecotechnology of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, tsvetkov@itmo.ru

**Mitropov Vladimir V.**

Ph. D., Associate professor of Faculty of Energy and Ecotechnology of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, v\_mit@mail.ru

**Laptev Yuri A.**

Ph. D., Senior researcher, Tutor of Faculty of Energy and Ecotechnology of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, laptev\_yua@mail.ru

## Поздравляем с юбилеем!

**В октябре 2021 г. отмечают 75-летние юбилеи академики Международной академии холода — Малышев Александр Александрович и Пронин Владимир Александрович.**



**Александр Александрович Малышев** родился в Ленинграде 1 октября 1946 г. После окончания в 1970 г. холодильного факультета Ленинградского технологического института холодильной промышленности (ЛТИХП) работал в оборонной промышленности. С 1973 г. Малышев А. А. трудится в вузе. С 1980 по 1983 гг. обучался в аспирантуре, в 1984 году защитил кандидатскую диссертацию.

А. А. Малышев занимал должности начальника НИСа, проректора по научной и инновационной деятельности Санкт-Петербургского университета низкотемпературных и пищевых технологий.

В 2008 г. он избран профессором, а с 2009 г. руководил кафедрой Холодильных машин и низкопотенциальной энергетики. А. А. Малышев имеет все виды педагогической нагрузки, руководит аспирантами, им опубликовано свыше 60 научных трудов.

Малышев А. А. является одним из организаторов Международной академии холода (МАХ). В 1993 г. он был избран главным научным секретарем академии, а с 1994 г. является ее генеральным директором и членом Президиума.

В настоящее время Малышев А. А. работает доцентом на факультете энергетики и экотехнологий, является членом Ученого совета МФ БТиНС, членом диссертационного совета Университета ИТМО.



**Пронин Владимир Александрович** родился 9 октября 1946 г. в Ленинграде. В 1970 г. окончил Ленинградский политехнический институт им. М. И. Калинина по специальности «Компрессорные машины и холодильные установки». С 1972 по 1974 гг. служил в Вооруженных силах СССР. В 1975 г. поступил в аспирантуру ЛТИХП, защитил кандидатскую диссертацию в 1978 г. С 1978 г. работал на кафедре деталей машин и основ инженерного проектирования в качестве ассистента, доцента. С 1993 г. Являлся заведующим этой же кафедрой. В 1998 г. защитил докторскую диссертацию.

Автор более 60 научных трудов и более 20 изобретений. Научные интересы — в области исследования винтовых компрессоров.

В настоящее время В. А. Пронин является профессором факультета энергетики и экотехнологий, руководителем научного содержания образовательной программы «Проектирование тепломассообменного оборудования и систем жизнеобеспечения», член Ученого совета МФ БТиНС, диссертационного совета Университета ИТМО.

Поздравляем юбиляров, желаем счастья, благополучия и дальнейших успехов в научных изысканиях и подготовке высококвалифицированных кадров!

Президиум Международной академии холода,  
коллектив сотрудников Университета ИТМО,  
редакция журнала «Вестник МАХ»