

- судостроения в России – 2019 год, июнь 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/docs/Minpromtorg-2020.pdf>. (дата обращения: 10.10.2021).
2. Распоряжение Правительства РФ от 28.10.2019 N 2553-р «Об утверждении Стратегии развития судостроительной промышленности на период до 2035 года». [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_336470/. (дата обращения: 10.10.2021).
 3. Вестник Морского совета при Правительстве Санкт-Петербурга. – ID ООО «ПремиумПресс», № 1 (64) апрель 2021. – 24 с.
 4. ВЦИОМ. [Электронный ресурс]. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/sudostroenie-v-rossii-perspektivy-razvitiya>. (дата обращения: 10.10.2021).
 1. Analiticheskij otchet dlya Minproma Rossii Port N'yus ««Razvitie grazhdanskogo sudostroeniya v Rossii – 2019 god, iyun' 2020. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/docs/Minpromtorg-2020.pdf>. (data obrashcheniya: 10.10.2021).
 2. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 28.10.2019 N 2553-r «Ob utverzhdenii Strategii razvitiya sudostroitel'noj promyshlennosti na period do 2035 goda». [Elektronnyj resurs]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_336470/. (data obrashcheniya: 10.10.2021).
 3. Vestnik Morskogo soveta pri Pravitel'stve Sankt-Peterburga. – ID ООО «PremiumPress», № 1 (64) aprel' 2021. – 24 s.
 4. VCIOM. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/sudostroenie-v-rossii-perspektivy-razvitiya>. (data obrashcheniya: 10.10.2021).

References:

УДК 536.2

DOI: 10.34046/aumsuomt101/21

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ И РАБОЧИХ ТЕЛ

*Ю.Г. Косолап, кандидат технических наук, доцент
И.М. Данцевич, кандидат технических наук, доцент*

Цель экспериментальных исследований показали, что теплопроводность бинарных и смешанных растворов электролитов позволяют провести анализ соответствующих температурных, барических и концентрационных зависимостей теплопроводности. Научный интерес заключается в разработке методики расчета теплопроводности водных бинарных и смешанных растворов неорганических веществ и прогнозирования коэффициента теплопроводности неисследованных систем. Обоснован метод исследования теплопроводности водных растворов теплоносителей и рабочих тел в широкой области параметров состояния.

Ключевые слова: теплонапряженность, теплопроводность электролитов, температура, давление, рабочее тело.

EXPERIMENTAL STUDY OF HEAT-CONDUCTIVE WATER SOLUTIONS OF HEAT CARRIERS AND WORKING BODIES

Yu. G. Kosolap, I.M. Dantsevich

The purpose of the experimental studies showed that the thermal conductivity of binary and mixed electrolyte solutions allows for the analysis of the corresponding temperature, baric and concentration-on thermal conductivity relationships. Scientific interest lies in the development of a method for calculating the thermal conductivity of aqueous binary and mixed solutions of inorganic substances and predicting the thermal conductivity coefficient of unexplored systems. The method of studies of thermal conductivity of aqueous solutions of heat carriers and working bodies in a wide area of state parameters is justified.

Keywords: heat stress, thermal conductivity of electrolytes, temperature, release, working medium.

Введение. Увеличение теплонапряженности элементов судовой энергетической установки тесно связано с использованием широкого ассортимента теплоносителей и рабочих тел. Среди них важное место занимают водные растворы электролитов. Эффективное использование вод-

ных растворов электролитов во многом определяется точностью сведений по их теплофизическим свойствам и, в частности по теплопроводности широком диапазоне параметров состояния. Надежные данные по теплопроводности водных растворов при проектировании элементов судо-

вой энергетической установки способствуют повышению эффективности производства снижению материальных затрат, а в ряде случаев обеспечивает безаварийную работу энергетических установок.

Экспериментальные данные по теплопроводности бинарных и смешанных растворов электролитов, кроме практического значения, представляют и научный интерес. Изучение теплопроводности бинарных и смешанных растворов электролитов позволяет провести анализ соответствующих температурных, барических и концентрационных зависимостей теплопроводности. Они могут быть использованы для проверки основных положений теории переноса тепла в жидкостях. Научный интерес заключается в разработке методики расчета теплопроводности водных бинарных и смешанных растворов неорганических веществ и прогнозировании коэффициента теплопроводности неисследованных систем.

Методы и материалы. На экспериментальных установках [1,2] были исследованы коэффициенты теплопроводности воды и водных растворов солей KF, KCl, KBr, KI.

Таблица 1 -Область исследований коэффициента теплопроводности бинарных растворов электролитов

Второй компонент раствора	Содержание электролита		Область изменения параметров состояния	
	Массовые доли	Мольные доли	Температура Т°К	Давление РМПа
KI	0,0689	0,0080	293-473	0,1-100
	0,1119	0,0135		
	0,1752	0,0225		
KBr	0,0439	0,0069	293-473	0,1-100
	0,0698	0,0112		
	0,1139	0,0191		
	0,1747	0,0310		
KCl	0,0506	0,0127	293-473	0,1-100
	0,1001	0,0262		
KF	0,0477	0,0150	293-473	0,1-100
	0,1313	0,0441		
	0,1992	0,0705		
KBr	0,1162	0,0195	293-503	0,1-100
	0,2225	0,0415	293-503	0,1-100
	0,3062	0,0626		
KI	0,1150	0,0139	263-503	0,1-100

В таблице 2 размещены коэффициенты теплопроводности смешанных растворов электролитов.

Для измерительной ячейки [1, 2] в поперечном сечении нарушение однородности температурного поля выражено не так ярко, как в случае размещения нержавеющей чехлов термопар в коаксиальных цилиндрах, изготовленных из меди. Это обусловлено равенством коэффициентов теплопроводности материала гильз термопары и материала цилиндра. Однако вследствие шероховатости, вызванной при изготовлении коаксиальных

Метод исследований теплопроводности водных растворов теплоносителей и рабочих тел в широкой области параметров состояния основан на закономерностях стационарного теплового режима. Он базируется на гипотезе Фурье о пропорциональности теплового потока градиенту температур. Из стационарных методов применен метод коаксиальных цилиндров. Измерительная ячейка состоит из двух коаксиально расположенных цилиндров [1, 2]. Постоянная измерительной ячейки получена путем измерения емкости конденсатора, образованного коаксиальными цилиндрами.

Корректировка измеренного значения разности температур в измерительном зазоре производилась в соответствии с расчетным распределением температур по длине цилиндра. Вводилась поправка на неизотермичность по длине внутреннего цилиндра. Для измерительной ячейки, изготовленной из нержавеющей стали, радиальным перепадом температур для элемента длины цилиндра dx пренебрегать нельзя. В таблице 1 приведены исследования компонентов раствора.

отверстий, контакт между гильзой и поверхностью сверления нельзя считать идеальным. В данном случае искажение температурного поля вызвано наличием цилиндрического включения, ориентированного нормально к направлению теплового потока. При экспериментальном исследовании теплопроводности учитывалось распределение температуры в поперечном сечении измерительной ячейки, и рассчитывалась поправка на установку термопар.

Таблица 2 - Область исследований коэффициента теплопроводности смешанных растворов электролитов

Наименование раствора	Количество электролита в растворе, г		Общая массовая концентрация солей М, %	Область изменения	
				Температура Т° К	Давление МПа
H ₂ O- KI- KF	KI	KF		301,7-471,3	0,1-100
	29,700	60,421	18,36		
	84,460	20,015	20,70		
	50,420	60,452	21,67		
	84,460	60,446	26,59		
H ₂ O- KBr- KI	84,460	99,389	31,49	299,7-471,3	0,1-100
	KBr	KI			
	17,800	29,870	10,66		
	29,860	50,430	16,51		
	18,270	84,530	20,43		
	84,510	29,780	22,26		
	84,490	50,430	25,26		
H ₂ O- KCl- KI	51,770	84,470	25,69	301,3-471,3	0,1-100
	84,480	84,450	29,73		
	KCl	KI			
H ₂ O- KCl- KBr	44,480	50,440	19,18	299,6-471,3	0,1-100
	44,480	84,530	24,39		
	KCl	KBr			
H ₂ O- KF- NaF	44,480	51,700	19,38	302,6-471,2	0,1-100
	44,480	84,500	24,38		
	KF-	NaF			
	20,010	4,720	4,86		
	20,015	9,800	5,80		

Методом электротепловых аналогий исследовано температурное поле нагревателя измерительной ячейки. Количественная оценка показала, на расстоянии равном трем диаметрам провода нагревателя, изотермы вырождаются в прямые линии, параллельные оси нагревателя. Данная конструкция нагревателя позволяет создать равномерный тепловой поток во внутреннем цилиндре.

Значение коэффициента теплопроводности для всех исследованных жидкостей не зависит от толщины слоя исследованного вещества. Следовательно, для исследованных жидкостей влияние радиационной составляющей теплового потока незначительно и лежит в пределах эксперимента. При экспериментальном исследовании теплопроводности водных растворов теплоносителей и рабочих тел, которые являются сильно поглощающими жидкостями, поправки на излучение к измеренному значению коэффициента теплопроводности не вводилась.

Результаты и их обсуждение. Оценка точности является неотъемлемой частью любого эксперимента. Коэффициент теплопроводности определяется на основании результатов косвенных измерений [1, 2] и поэтому его погрешность зависит от точности величин, измеряемыми методами. При анализе суммарной погрешности коэффициента теплопроводности необходимо различать случайную, и неисключенную систематическую погрешность [3,4]. При расчете погрешности коэффициента теплопроводности принимались следующие допущения:

1. неисключенные систематические погрешности измерения распределены равномерно;

2. случайные погрешности единичного измерения распределены по закону Стьюдента.

3. доверительная вероятность 0,95.

Каждый из контрольных опытов представлен усредненным результатом 4-6 параллельных измерений:

- падения напряжения в цепи нагревателя;
- падения напряжения на образцовом сопротивлении;
- э.д.с. абсолютной термопары;
- э.д.с. дифференциальной термопары при включенном нагревателе измерительной ячейки;
- э.д.с. дифференциальной термопары.
- поправки на «неизотермичность» поверхностей коаксиальных цилиндров.

Вклад остальных слагаемых незначителен и не превышает 0,02-0,04 %.

Общая погрешность результата измерений коэффициента теплопроводности определяется композицией неисключенной систематической и случайной составляющих погрешности. Расчет систематических и случайных погрешностей измерения коэффициента теплопроводности

осуществлен для двух экспериментальных установок. Исходные данные для расчета, Результаты расчета- в таблицах 3, 4, 5, 6, где I-для установки №2, опыты со смешанным раствором $H_2O-KBr-KI$, а II- с водой. 1-для установки №1, опыты с бинарным раствором H_2O-KBr , II-с водой. Расчет для опыта III был произведен с целью выяснения температурной зависимости систематических и случайных погрешностей.

Анализ полученных результатов показывает, что доверительная граница общей погрешности результата измерений коэффициента теплопроводности смешанного раствора $H_2O-KBr-KI$ и воды в интервале температур 283-463 °K составляет: $\pm (1,23-1,3) \%$ при коэффициенте доверительной вероятности 0,95 (установка №2)

Граница общей погрешности результата измерений коэффициента теплопроводности бинарного раствора H_2O-KBr и воды в интервале температур 293-523 °K составляет: $\pm (1,6 - 1,9) \%$ при коэффициенте доверительной вероятности 0,95 (установка №1) [1].

Результаты расчетов систематической и случайной компонент погрешности измерения коэффициента теплопроводности на экспериментальной установке приведен в таблице 3.

Результат расчетов доверительных границ общей погрешности результата измерений коэффициента теплопроводности и его составляющих на экспериментальной установке, приведен в таблице 4.

Таблица 3 -Результаты расчетов систематической и случайной компонент погрешности

Наименование погрешности	Величина	
	I	II
Неисключенная систематическая погрешность Θ		
Количества тепла, выделяемого нагревателем измерительной ячейки, Вт	0,0125	0,0121
Поправки на падение напряжения в токоподводящих проводах нагревателя, Вт	0,2465	0,2379
Постоянной измерительной ячейки, м	0,0560	0,0611
Перепада температур в слое исследуемого вещества, °K	0,0028	0,0024
Поправки на установку термопары, °K	4,749	4,764
Поправки на «неизотермичность» поверхностей коаксиальных цилиндров, %	0,0061	0,0093
Температуры опыта, °K	0,0128	0,0201
Теплопроводности исследуемого вещества, %	0,722	0,458
Концентрации раствора, %	0,232	-
Оценка среднего квадратического отклонения $\hat{S}$		
Количества тепла, выделяемого нагревателем измерительной ячейки, Вт	0,0024	0,0022
Поправки на падение напряжения в токоподводящих проводах нагревателя, Вт	0,062	0,059
Постоянной измерительной ячейки, м	0,2561	0,2578
Перепада температур в слое исследуемого вещества, °K	0,1512	0,1496
Поправки на установку термопары, °K	0,7941	0,7632
Поправки на «неизотермичность» поверхностей коаксиальных цилиндров, %	0,193	0,229
Температуры опыта, °K	0,1801	0,4321
Теплопроводности исследуемого вещества, %	0,134	0,114
Концентрации раствора, %	0,232	-

Таблица 4-Результат расчетов доверительных границ

Наименование погрешности	Величина	
	I	II
Проверка выполнения неравенств $\Theta_{\lambda}: \hat{S}_{\lambda} \geq 8$ и $\Theta_{\lambda}: \hat{S}_{\lambda} \leq 0,8$	$0,8 < 8,97 > 8$	$0,8 < 9,27 > 8$
Коэффициент функции распределения композиции случайной и неисключенной систематической составляющих соответствующий доверительной вероятности	1,83	1,99
Оценка среднего квадратического отклонения	0,67	0,65
Доверительные границы погрешности результата измерений коэффициента теплопроводности. %	1,23	1,29

Результаты расчетов систематической и случайной компонент погрешности измерения коэффициента теплопроводности на экспериментальной установке, приведены в таблице 5.

Результат расчетов доверительных границ общей погрешности результата измерений коэффициента теплопроводности и его составляющих на установке приведен в таблице 6.

Таблица 5 -Результаты расчетов систематической и случайной компонент погрешности измерения коэффициента теплопроводности

Наименование погрешности	Величина		
	ППП		
Неисключенная систематическая погрешность Θ			
Количества тепла, выделяемого нагревателем измерительной ячейки, Вт	0,0134	0,0131	0,0132
Поправки на падение напряжения в токоподводящих проводах нагревателя, Вт	0,3861	0,3041	0,4242
Постоянной измерительной ячейки, м	0,1030	0,1246	0,1324
Перепада температур в слое исследуемого вещества ,°К	0,0038	0,0041	0,0106
Поправки на установку термопары, °К	0,0113	0,0102	0,0126
Поправки на «неизотермичность» поверхностей коаксиальных цилиндров, %	14,389	15,724	15,841
Температуры опыта, °К	0,0156	0,0286	0,0341
Теплопроводности исследуемого вещества, %	0,01269	0,101	0,186
Концентрации раствора, %	0,115	-	-
Оценка среднего квадратического отклонения $\hat{S}$			
Количества тепла, выделяемого нагревателем измерительной ячейки, Вт	0,0024	0,0342	0,0334
Поправки на падение напряжения в токоподводящих проводах нагревателя, Вт	0,062	1,0967	1,1021
Постоянной измерительной ячейки, м	0,2561	0,2668	0,2674
Перепада температур в слое исследуемого вещества ,°К	0,1512	0,2084	0,1964
Поправки на установку термопары, °К	0,7941	1,3348	1,3544
Поправки на «неизотермичность» поверхностей коаксиальных цилиндров, %	0,193	0,198	0,250
Температуры опыта, °К	0,1801	0,4443	0,5096
Теплопроводности исследуемого вещества, %	0,134	0,139	0,134
Концентрации раствора, %	0,232	-	-

Таблица 6 - Результат расчетов доверительных границ общей погрешности результата измерений коэффициента теплопроводности

Наименование погрешности	Величина		
	I	II	III
Проверка выполнения неравенств $\Theta_k : \hat{S}_k \geq 8$ и $\Theta_k : \hat{S}_k \leq 0,8$	0,8 <5,88>	0,8 <7,08>8	0,8 <6,4>8
Коэффициент функции распределения композиции случайной и неисключенной систематической составляющих соответствующий доверительной вероятности	1,90	1,86	1,88
Оценка среднего квадратического отклонения	0,65	0,67	0,68
Доверительные границы погрешности результата измерений коэффициента теплопроводности. %	1,23	1,25	1,28

Вывод. Обоснован метод исследований теплопроводности водных растворов теплоносителей и рабочих тел в широкой области параметров состояния.

Литература

1. Косолап Ю.Г. Теплопроводность бинарных и смешанных растворов электролитов: дис... канд. техн. наук: 05.14.05.– Баку, 1990.– 194 с.
2. Лыков А.В. Теория теплопроводности.– М.: Высшая школа, 1967.– 599 с.
3. Цедерберг И.В. Теплопроводность газов и жидкостей.– М.: Наука, 1963.– 409 с.
4. Кондратьев Г.М. Приложение теории регулярного охлаждения двухсоставного пара к определению теплопроводности плохих проводников тепла // Изв. АН СССР. Технические науки. – 1950. – №4. – С. 536.
5. Голубев И.Ф. Бикалориметр для определения теплопроводности газов и жидкостей при высоких давлениях и различных температурах // Теплоэнергетика. – 1963. – №12. – С. 78-82.
6. Мустафаев Р.А. Теплофизические свойства углеводородов при высоких параметрах состояния.– М.: Энергия, 1980.– 296 с.
7. Michels A. Sengers I. V. and Van der Culir P.S. The Thermal Conductivity of carbon dioxide in the critical Region // Physica, 1962, №3, P. 1201-1205.
8. Амирханов Х.И., Адамов А.П. Теплопроводность двуокиси углерода вдоль пограничной кривой и в области критического состояния // Теплоэнергетика. – 1963. – №7. – С. 77-81.
9. Филиппов Л.П. Исследование теплопроводности жидкостей. –М.: Изд-во МГУ, 1970.– 239 с.
10. Сафронов Г.А.Теплопроводность водных растворов электролитов: дис...канд. техн. наук. – Баку, 1985.– 220 с.

References

1. Kosolap YU.G. Teploprovodnost' binarnykh i smeshannykh rastvorov elektrolitov: dis...kand. tekhn. nauk: 05.14.05 - Baku, 1990. - 194s.
2. Lykov A.V. Teoriya teploprovodnosti. -M.: Vysshaya shkola, -1967.-599s.
3. Cederberg I.V. Teploprovodnost' gazov i zhidkostej. -M.: Nauka, -1963.-409s
4. Kondrat'ev G.M. Prilozhenie teorii regul'yarnogo ohlazhdeniya dvuhsostavnogo shara k opredeleniyu teploprovodnosti plohih provodnikov tepla // Izv. AN SSSR. Tekhnicheskie nauki. - 1950. - №4. - s.536.
5. Golubev I.F. Bikalorimetr dlya opredeleniya teploprovodnosti gazov i zhidkostej pri vysokikh davleniyah i razlichnykh temperaturah // Teploenergetika. - 1963. - №12. - s. 78-82.
6. Mustafaev R.A. Teplofizicheskie svoystva uglevodородов privysokikh parametrov sostoyaniya. -M.; Energiya, 1980. -296s.
7. Michels A. Sengers I. V. and Van der Culir P.S, The Thermal Conductivity of carbon dioxide in the critical Region // Physica, 1962, №3, R. 1201-1205.
8. Amirhanov H.I., Adamov A.P. Teploprovodnost' dvuokisi ugleroda vdol' pograničnoj krivoj i v oblasti kriticheskogo sostoyaniya // Teploenergetika. - 1963. - №7. -s. - 77-81.
9. Filippov L.P. Issledovanie teploprovodnosti zhidkostej. -M.: Izd-vo MGU, 1970.-239s.
10. Safronov G.A. Teploprovodnost' vodnykh rastvorov elektrolitov. Dis...kand. tekhn. nauk. - Baku, 1985.-220s.

УДК 53.091; 62-93

DOI: 10.34046/aumsuomt101/22

ДИФРАКТОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА СУДОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

*Е.Н. Сюсюка, кандидат технических наук, доцент
М.М. Савченко, курсант*

В статье рассмотрены вопросы применения дифрактометрических методов анализа поверхностей деталей судовых технических средств, проведен сравнительный анализ стационарных и настольных дифрактометров и областей их применения.

Ключевые слова: рентгеновская дифрактометрия, нарушения кристаллической структуры, дислокации, микротрещины, точечные дефекты, характеристики дифрактометров, прочность деталей.

DIFFRACTOMETRIC METHODS OF ANALYSIS OF SHIP TECHNICAL MEANS

E.N. Syusyuka, M.M. Savchenko

The article deals with the application of diffractometric methods for analyzing the surfaces of parts of marine equipment, a comparative analysis of stationary and desktop diffractometers and their applications is carried out.

Keywords: X-ray diffractometry, violations of the crystal structure, dislocations, microcracks, point defects, characteristics of diffractometers, strength of parts.

Дифрактометрические методы анализа строятся на применении дифракции рентгеновских лучей на кристаллической решётке. Рентгеновские методы определяют фазовый состав, параметры решётки, особенности кристаллического строения, плотность дислокаций, включения, фрагменты, ансамбли дислокаций, микротрещины, группы точечных дефектов порядка $10^{-4} - 10^{-6}$ м.

Алгоритм исследований:

- 1) Рентгеновский луч направляется на кристалл;
- 2) Кристаллическая решётка рассеивает луч по определённым направлениям;
- 3) Закреплённый на гониометре кристалл вращается вдоль своих осей симметрии;
- 4) Специальное устройство – дифрактометр, считывает отразившиеся лучи, и формирует дифракционную картину;

- 5) С помощью математических преобразований компьютер превращает дифракционные картины в трёхмерную карту плотности электронов, результат выводится на экран.

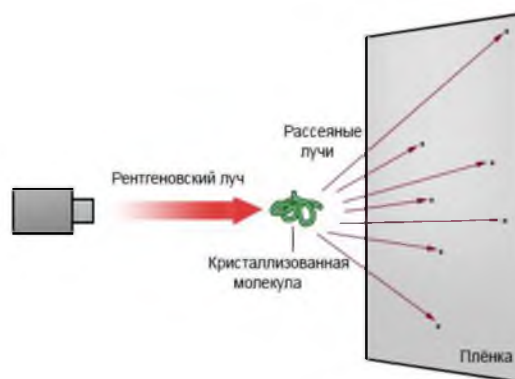


Рисунок 1 – Схема рассеивания рентгеновских лучей на кристалле