

Двтор еор.

Л 24

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Лапардин Николай Иннокентьевич

ЛАПАРДИН Николай Иннокентьевич

УДК 532.133 + 533.16

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ ФРЕОНОВ - 152А И 218

01.04.14 - теплофизика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1983

Работа выполнена на кафедре теплохладотехники Одесского технологического института пищевой промышленности им. М. В. Ломоносова

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор ЧАЙКОВСКИЙ В. Ф.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор СОЛОВЬЕВ А. Н.
кандидат технических наук,
доцент КАМЕНЕЦКИЙ В. Р.

Ведущая организация - Государственный научно-исследовательский проектный институт азотной промышленности и продуктов органического синтеза (ГИАП)

Защита состоится "24" апреля 1983 г. в 10³⁰ час.
на заседании специализированного совета К 068.35.04 в Одесском технологическом институте пищевой промышленности имени М. В. Ломоносова, 270039, Одесса-39, ул. Свердлова, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского технологического института пищевой промышленности им. М. В. Ломоносова.

Автореферат разослан "21" марта 1983 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук,
доцент

ЗАЛКИН Г. И.

02.07.12
Исследование вязкост



v014242

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Интерес к изучению вязкости жидкостей и газов во многом определяется перспективами развития кинетической теории процессов переноса. К сожалению, уровень развития этой теории для сжатых газов и жидкостей не позволяет дать конкретную методику определения коэффициентов переноса, в частности, вязкости с достаточной точностью, в связи с чем большое значение приобретают исследования экспериментальными методами, в ряду которых особое место занимает метод капилляра. Разработки методического характера для капиллярных вискозиметров отвечают программе получения прецизионных данных о теплофизических свойствах технически важных веществ.

Фреоны 152А и 218, выбранные в качестве объектов исследования, кроме традиционной области применения – холодильной техники, используются в электротехнике, авиационной, химической и других отраслях промышленности. Таким образом, исследование вязкости этих веществ необходимо и с прикладной точки зрения.

Следует отметить, что при существующих темпах использования в технике новых рабочих тел эксперимент, часто дорогостоящий, не в состоянии удовлетворить потребности науки и техники в данных о вязкости газов и жидкостей. Поэтому существует насущная проблема создания методов расчета свойств веществ по минимальной исходной информации. Такие методы могут быть основаны на теории подобия.

Настоящая работа выполнена в соответствии с координационными планами научно-исследовательских работ по комплексным проблемам "Теплофизика" АН СССР и "Разработка достоверных данных и создание массива стандартных справочных данных о теплофизических свойствах технически важных газов и жидкостей", проводимых вузами страны в 1981...1985 г.г. (приказ Минвуза СССР №1022 от

V 014242

Одесский технологический
институт пищевой промыш-
ности им. В. Ломоносова

28.10.1977 г.).

Цель работы:

1. Изучение влияния скорости течения вещества на результаты измерения динамической вязкости методом капилляра. Исследования зависимости коэффициента Хагенбаха от режима течения в широком диапазоне изменения чисел Рейнольдса.
2. Экспериментальные исследования динамической вязкости фреона-152А и фреона-218 в широком диапазоне параметров состояния, обобщение полученных данных и составление подробных таблиц справочных данных.
3. Создание на основе аппарата теории подобия свойств веществ метода расчета коэффициентов вязкости фреонов в газообразном состоянии, а также вязкости жидкости вблизи линии насыщения (то есть в областях, первостепенно интересующих холодильную технику) при использовании минимальной исходной информации.

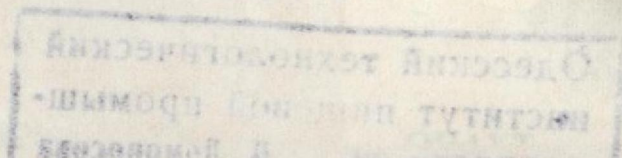
Научная новизна. Впервые на экспериментальной установке для определения вязкости капиллярным методом с постоянным перепадом давлений на концах капилляра изучено влияние скорости течения вещества на результаты измерения вязкости при неизменных параметрах состояния.

Впервые получены экспериментальные данные о вязкости фреона-152А в жидкой и газовой фазах в диапазоне температур 160...430 К и давлений 0,1...50 МПа и фреона-218 при температурах выше 340 К и тех же давлениях.

Предложен метод расчета вязкости газа при атмосферном давлении и жидкости в состоянии насыщения для фреонов и алканов, требующий минимальной исходной информации.

Автор защищает:

- результаты экспериментального исследования вязкости фреонов-12 и 22 капиллярным методом при неизменных параметрах состоя-



- ния и различных режимах течения в диапазоне чисел Рейнольдса от 100 до 2800 ;
- аналитическую зависимость коэффициента Хагенбаха от критерия Рейнольдса ;
 - результаты измерения вязкости фреонов-152А и 218 в интервалах температур, соответственно, 160...430 К и 270...420 К при давлениях до 50 МПа ;
 - таблицы рекомендуемых справочных данных о вязкости фреонов 152А и 218 в широком диапазоне параметров состояния ;
 - метод расчета вязкости разреженного газа и жидкости на линии насыщения по минимальной исходной информации.

Практическая ценность. Полученная аналитическая зависимость коэффициентов Хагенбаха от числа Рейнольдса позволяет упростить проведение экспериментальных исследований вязкости капиллярным методом при одновременном повышении точности метода.

Данные о вязкости фреона-152А и фреона-218 рекомендуются в качестве справочных материалов, которые могут быть использованы при решении научно-исследовательских и проектно-конструкторских задач в холодильной технике.

Метод расчета вязкости разреженного газа и жидкости на линии насыщения, может быть использован при прогнозировании и определении свойств новых перспективных рабочих веществ.

Реализация результатов работы. Результаты исследований, представленные в виде таблиц и уравнений, использованы Советской комиссией по теплофизическим свойствам газов и жидкостей, Государственным институтом прикладной химии (ГИПХ, г. Ленинград) и другими организациями. Справки об использовании результатов работы прилагаются к диссертации.

Апробация работы. Основные результаты работы были представлены и обсуждались на научно-технических конференциях про-

фессорско-преподавательского состава и научных сотрудников ОТИШ им. М. В. Ломоносова (Одесса, 1976...1980 г.г.); на ХУШ, XIX, XX научно-технических конференциях молодых ученых и специалистов ЭНИИ (Москва, 1978...1980 г.г.); Республиканской конференции "Интенсификация и совершенствование технологических процессов на предприятиях общественного питания" (Харьков, 1979 г.); Республиканской конференции молодых ученых по вопросам пищевой промышленности (Тбилиси, 1980 г.); Всесоюзной научной конференции "Проблемы влияния тепловой обработки на пищевую ценность продуктов питания" (Харьков, 1981 г.); выездном заседании секции "Теплофизические свойства веществ" Научного совета АН СССР по комплексной проблеме "Теплофизика" (Одесса, 1981 г.).

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 161 странице машинописного текста и состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованных источников из 149 наименований и приложений. Работа содержит 33 таблицы и 25 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы исследования, определена цель работы, дана аннотация новых научных положений, которые защищает автор.

В первой главе проведен обзор опубликованных работ, посвященных методическим вопросам экспериментальных измерений с помощью капиллярных вискозиметров. Показано, что при реализации метода капилляра, перепад давлений на концах капилляра может быть представлен в виде суммы трех слагаемых. Первые два соответствуют силам трения и силам инерции, а третий член учитывает формирование профиля скоростей в реальных вискозиметрах и введен как инкремент кинетической энергии

$$\frac{dp}{dx} = \frac{\eta}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{\partial \omega_x}{\partial r} \right) + \rho \omega_x \frac{\partial \omega_x}{\partial x} + \alpha \rho \omega_x \frac{\partial \omega_x}{\partial x} \quad (1)$$

или

$$\frac{dp}{dx} = \frac{\eta}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{\partial \omega_x}{\partial r} \right) + \pi \rho \omega_x \frac{\partial \omega_x}{\partial x}, \quad (2)$$

где p - давление; η, ρ - динамическая вязкость и плотность вещества; ω_x - проекция скорости на ось Ox ; r - текущий радиус; π - коэффициент Хагенбаха.

Очевидно, что точность определения вязкости по расчетному уравнению для капиллярных вискозиметров, получаемому из уравнения (2), зависит от того, на сколько точно определен коэффициент Хагенбаха.

На основе анализа значений π , полученных многими авторами решением уравнений Навье-Стокса различными методами, показано, что величина его в значительной степени зависит от метода решения и изменяется в диапазоне от 1,0 до 1,4. Экспериментальные значения коэффициента π характеризуют каждую конкретную установку и какой-либо определенности не вносят.

С целью исследования влияния скорости течения вещества на результаты измерения вязкости была создана экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 1. В отличие от установок подобного типа расход вещества через капилляр на созданной нами установке варьировался в пределах от $3 \cdot 10^{-9}$ до $50 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3/\text{с}$ при неизменных параметрах опыта.

Измерительные капилляры, изготовленные из стекла марки "супромакс", размещались в капиллярной ячейке, система термостабилизации которой позволяла поддерживать температуру с отклонениями $0,02 \dots 0,03 \text{ К}$. Температура капиллярной ячейки измерялась с погрешностью $0,02 \text{ К}$ образцовым платиновым термометром сопротивления типа ТСН-1, изготовленным и проградуированным во

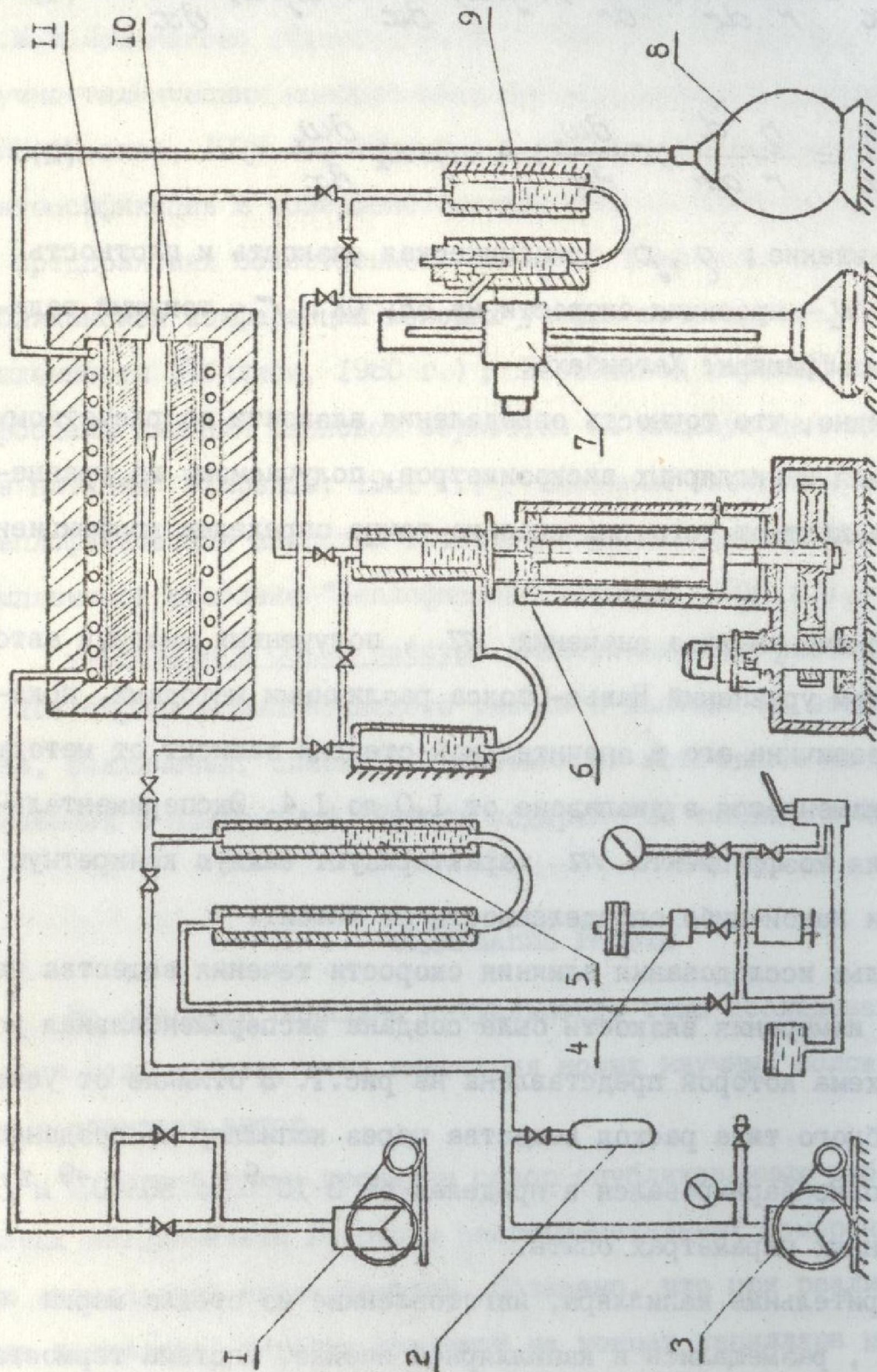


Рис. I Схема экспериментальной установки.

- 1, 3 - вакуум-насос; 2 - баллон; 4 - грузопоршневой манометр;
 5 - разделительный сосуд; 6 - насос-расходомер; 7 - катетометр;
 8 - сосуд Дьюара; 9 - дифманометр; 10 - ячейка; II - капилляр.

ВНИИФТРИ, при помощи полуавтоматического потенциометра Р348 класса 0,002. Давление в системе создавалось и измерялось грузопоршневыми манометрами МП-60 и МП-600 класса точности 0,05 с использованием U-образного ртутного разделительного сосуда.

Расход исследуемого вещества через капилляр создавался жидкопоршневым насосом-расходомером с использованием в качестве рабочего вещества ртути марки Р4. Перемещение подвижного цилиндра насоса относительно неподвижного осуществлялось винтом электроподъемника. Объемный расход определялся по внутреннему диаметру цилиндров, числу оборотов винта, фиксируемому электромеханическим счетчиком МЭС-4, и времени, измеряемому частотомером Ф-5041 с погрешностью 0,001 с при помощи специальной приставки.

Перепад давлений на капилляре определялся оптическим ртутным дифференциальным манометром при помощи катетометра КМ-8 с погрешностью 0,015 мм.

Для исследования зависимости коэффициента Хагенбаха от критерия Re использовались фреона-12 и 22. Измерения перепадов давлений проводились при постоянных температуре и давлении опыта и различных расходах вещества, обеспечивших в четырех сериях экспериментов общее изменение чисел Re от 100 до 2800. Обработка результатов измерений, часть из которых представлена в табл. I, проведена по уравнению

$$\Delta p / q = \eta + \pi \kappa, \quad (3)$$

где $q = \frac{8LQ}{\pi R^4}$ - приведенный объемный расход;

$\kappa = \frac{R^4}{64L^2} \rho g$ - поправка к уравнению Гагена-Пуазейля;

Q - объемный расход;

R, L - радиус и длина капилляра.

На основе анализа погрешностей определения вязкости показано, что максимальная относительная погрешность измерений с

Таблица I.

Результаты измерений вязкости фреона-22

Объемный расход $Q \cdot 10^9, \text{ м}^3/\text{с}$	Перепад уровней ртути на дифманометре $\Delta H \cdot 10^3, \text{ м}$	$\frac{\Delta p}{Q}, \text{ мкПа} \cdot \text{с}$	$\kappa, \text{ мкПа} \cdot \text{с}$	Re
<u>$T = 231,05 \text{ К}; P = 1,07 \text{ МПа}$</u>				
4,65	33,40	355,59	2,23	104,6
6,59	47,36	356,47	3,09	147,9
9,29	67,85	358,72	4,48	210,4
13,17	96,12	361,06	6,31	296,0
16,65	122,11	362,30	7,99	374,9
<u>$T = 271,20 \text{ К}; P = 3,02 \text{ МПа}$</u>				
13,93	49,33	138,40	6,74	854,1
18,58	67,04	140,98	9,00	1140,1
23,22	84,90	143,17	11,23	1421,0
27,75	102,96	145,17	13,43	1700,0
37,79	128,16	148,93	16,29	2363,6
45,05	178,26	155,10	21,75	2755,4
<u>$T = 315,58 \text{ К}; P = 3,03 \text{ МПа}$</u>				
9,29	45,51	220,24	4,49	345,6
11,10	54,71	222,12	5,35	411,9
13,93	69,21	222,87	6,75	519,0
16,65	82,75	233,95	8,03	617,9
23,22	117,66	228,92	11,17	859,6
27,75	141,88	230,57	13,37	1028,9

учетом случайной составляющей и неисключенных остатков систематической составляющей, а также погрешности отнесения с доверительной вероятностью 0,95 не превышает 0,9%.

Обобщение опытных данных проведено в критериальной форме. Зависимость коэффициента Хагенбаха от критерия Re получена в явном виде

$$\tau(Re) = \tau_0 + \mu/Re, \quad (4)$$

где $\tau_0 = 1,128$; $\mu = 9,960$ и представлена на рис.2.

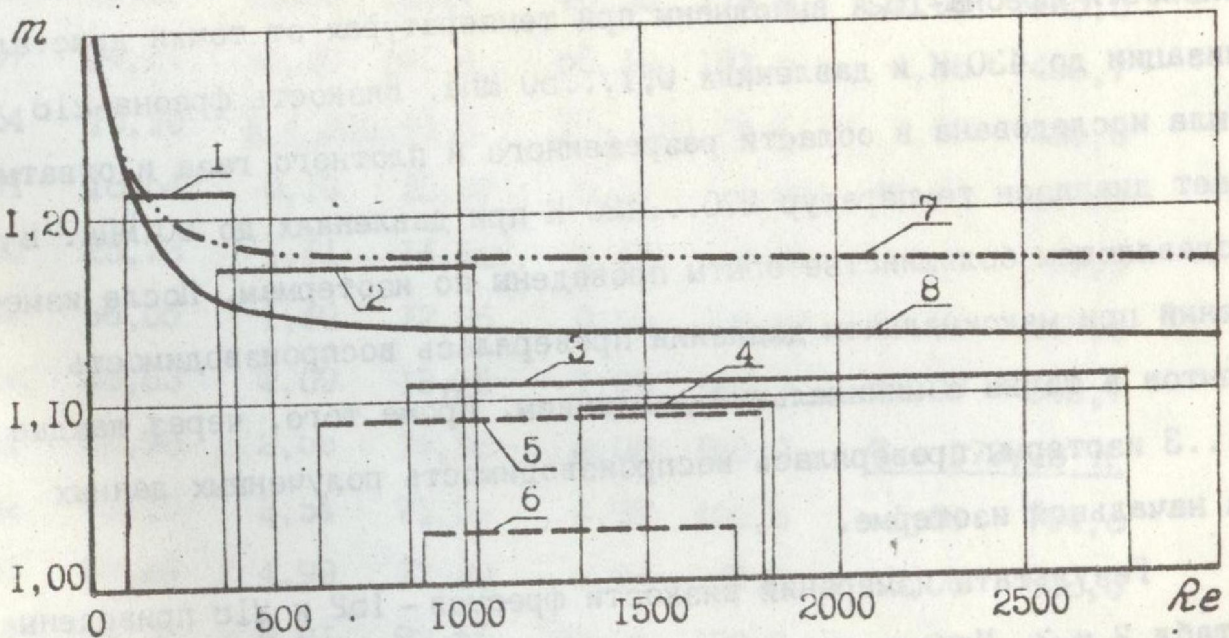


Рис.2. Зависимость коэффициента τ от Re :

1, 2, 3, 4 - по экспериментальным данным автора; 5, 6 - по опытным значениям Дж.Као с сотр.; 7 - по уравнению Дж.Кестина с сотр.; 8 - по уравнению (4).

Использование этой зависимости позволяет уточнить вклад поправки на кинетическую энергию, формирование параболического профиля скоростей и диссипацию энергии на входе и, кроме того, расширить диапазон изменения чисел Re при проведении измерений вязкости капиллярным методом.

Во второй главе систематизирована информация о вязкости

фреона-152А и фреона-218 и намечена область параметров состояния, в которой необходимо проведение измерений.

Приведено краткое описание полуавтоматической установки, реализующей метод капилляра и позволяющей проводить измерения в широкой области параметров состояния в диапазоне температур 100...500 К при давлениях до 60 МПа.

Для исследования использовались образцы фреонов-152А и 218, синтезированные в ИИХ (г. Ленинград) и содержащие основного компонента (по объему), соответственно, 99,99 и 99,7%. Измерения вязкости фреона-152А выполнены при температурах от точки кристаллизации до 430 К и давлениях 0,1...50 МПа. Вязкость фреона-218 была исследована в области разреженного и плотного газа и охватывает диапазон температур 270...420 К при давлениях до 50 МПа. В подавляющем большинстве опыты проведены по изотермам. После измерений при максимальном давлении проверялась воспроизводимость опытов в точке с минимальным давлением. Кроме того, через каждые 2...3 изотермы проверялась воспроизводимость полученных данных на начальной изотерме.

Результаты измерений вязкости фреонов - 152 и 218 приведены в табл.2 и 3. Максимальная общая относительная погрешность, рассчитанная с учетом случайных погрешностей, неисключенных остатков систематической погрешности и погрешности отнесения к температуре и давлению, составила для измерений при низких температурах 1,5%, а при умеренных и высоких температурах не превышала 1,3%.

В третьей главе проведена обработка результатов измерений вязкости фреонов - 152А и 218 и составлены справочные таблицы.

Показано, что в настоящее время не существует теоретически обоснованного выражения, позволяющего описать опытные данные о вязкости газов и жидкостей в широком диапазоне параметров состояния.

Таблица 2.

Экспериментальные значения вязкости фреона-152А, мкПа·с

ρ , МПа	η	ρ , МПа	η	ρ , МПа	η	ρ , МПа	η
<u>T = 433,46 K</u>		9,91	71,02	5,01	112,8	40,29	343,9
0,10	12,32	14,81	83,84	9,90	124,0	50,10	369,0
0,42	12,50	20,21	94,12	20,20	145,2	<u>T = 219,89 K</u>	
1,09	13,29	29,52	110,0	29,52	163,5	1,08	452,2
1,58	13,67	40,31	126,7	40,30	179,9	2,08	455,5
2,07	14,24	50,10	140,4	50,10	193,5	4,98	463,7
3,54	16,10	<u>T = 363,43 K</u>		<u>T = 303,75 K</u>		9,90	486,0
5,01	18,54	0,10	10,37	0,10	8,80	20,20	527,8
7,96	25,73	1,11	11,62	0,41	9,28	29,50	562,9
9,92	36,05	1,60	12,36	0,55	9,52	40,30	607,2
14,82	53,63	2,09	13,26	1,09	146,7	50,09	646,7
20,21	65,98	2,58	14,95	2,08	150,0	<u>T = 179,98 K</u>	
29,52	82,10	3,54	71,95	4,99	156,5	1,06	794,8
40,31	97,46	4,99	77,80	9,91	167,6	2,08	808,5
50,11	109,76	9,91	92,51	20,20	190,0	4,99	844,0
<u>T = 386,81 K</u>		20,20	114,2	29,52	210,0	9,88	905,8
0,10	11,01	29,52	129,6	40,30	225,8	20,20	1036
0,41	11,21	40,30	146,0	50,11	244,7	29,52	1155
1,09	12,01	50,11	160,1	<u>T = 262,10 K</u>		40,30	1293
1,58	12,71	<u>T = 333,47 K</u>		1,08	245,6	50,08	1416
2,07	13,35	0,10	9,69	2,08	248,0	<u>T = 156,33 K</u>	
3,54	16,33	0,40	9,96	5,00	253,9	1,06	2096
5,00	45,41	1,07	11,01	9,90	268,3	2,08	2455
5,99	55,37	1,22	11,31	20,19	294,8	4,99	3488
7,95	64,35	2,07	105,7	29,52	317,5	9,88	5285

Таблица 3.

Экспериментальные значения вязкости фреона-218, мПа·с

ρ , МПа	η	ρ , МПа	η	ρ , МПа	η	ρ , МПа	η
<u>T = 421,45 K</u>		<u>T = 363,57 K</u>		0,70	15,90	0,22	13,95
0,10	18,32	0,20	16,33	0,84	16,03	0,50	14,31
0,21	18,54	0,21	16,31	1,03	16,34	0,69	14,60
0,23	18,66	0,46	16,64	1,31	16,62	0,86	14,89
0,47	18,83	0,84	17,08	5,01	114,7	<u>T = 303,95 K</u>	
<u>T = 421,41 K</u>		1,69	18,53	9,91	147,0	4,98	183,1
0,91	19,21	<u>T = 363,38 K</u>		30,05	240,0	5,00	183,1
1,67	20,14	0,10	16,23	50,16	323,6	9,90	214,3
4,99	27,80	4,99	61,22	<u>T = 333,15 K</u>		30,04	318,0
9,89	51,93	5,00	60,98	0,10	14,62	50,19	416,5
30,04	126,6	9,90	102,3	<u>T = 319,78 K</u>		<u>T = 292,98 K</u>	
<u>T = 394,07 K</u>		30,03	187,1	0,10	14,46	0,10	13,33
0,10	17,25	50,13	251,5	0,22	14,51	<u>T = 286,94 K</u>	
4,98	32,17	<u>T = 348,42 K</u>		0,23	14,61	0,10	12,91
4,99	32,31	0,10	15,44	0,52	14,89	<u>T = 272,93 K</u>	
9,89	70,43	0,18	15,68	0,72	15,22	0,10	12,32
30,07	150,4	0,20	15,71	0,86	15,56		
50,15	208,3	0,49	16,08	1,07	15,93		
<u>T = 394,00 K</u>		0,84	16,72	1,32	16,54		
0,21	17,41	<u>T = 343,08 K</u>		<u>T = 313,03 K</u>			
0,22	17,53	0,10	15,32	0,10	14,23		
0,56	17,86	<u>T = 333,56 K</u>		<u>T = 303,68 K</u>			
0,89	18,25	0,21	15,13	0,10	13,75		
1,67	19,35	0,49	15,50	0,21	13,92		

Показано, что эмпирические корреляции должны представлять собой функциональную зависимость от двух переменных, причем общим в уравнениях, предлагаемых различными авторами является разделение переменных.

На основании сравнительного анализа уравнений различных видов, проведенного В.В.Алтуниным и М.А.Сахабетдиновым с помощью программы, реализующей метод ортогональных разложений, в настоящей работе для описания опытных данных о вязкости выбраны интерполяционные уравнения

$$\eta_0 = \sum_{i=0}^n a_i \tau^i \quad (5)$$

и

$$\ln(\eta/\eta_0) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=0}^n a_{ij} \omega^i \tau^j, \quad (6)$$

где η_0 - вязкость разреженного газа, $\tau = T/T_{кр}$, $\omega = \rho/\rho_{кр}$, а значения критических параметров для фреона-152А и фреона-218 приняты, соответственно, $T_{кр} = 386,65$ К, $\rho_{кр} = 365$ кг/м³ и $T_{кр} = 345,05$ К, $\rho_{кр} = 628$ кг/м³.

При составлении исходного массива $\{\eta, \rho, T\}$ -данных проведена оценка возможных методических ошибок измерений и установлена степень согласованности экспериментальных данных, полученных разными авторами. Исходный массив опытных данных для фреона-152А практически весь сформирован из результатов собственных измерений, а для фреона-218 совместно с экспериментальными данными Г.Е.Бондаря и В.П.Барышева о вязкости жидкости при низких температурах. Сравнение результатов, полученных этими авторами, кстати, в единственной работе по вязкости фреона-218, с нашими данными показало согласование в пределах суммарной погрешности экспериментов, за исключением нескольких опытных точек.

Статистическая обработка проводилась по системе уравнений

(5) и (6) методом наименьших квадратов для фиксированного распределения весов измерений, которые задавались по форме $W_i = \frac{1}{\sigma_i^2}$, где σ_i - абсолютная ошибка измерений. Коэффициенты оптимальных уравнений, с точки зрения средней квадратической погрешности описания данных и числа коэффициентов, приведены в табл.4...6. На основании этих уравнений были составлены таблицы вязкости фреона-152А в интервале температур 160...430 К и фреона-218 в области температур 130...430 К при давлениях 0,1...60 МПа. Погрешность рекомендуемых экспериментально обоснованных таблиц вязкости в однофазной области не превышает погрешности наиболее надежных опытных данных и по нашим оценкам равна 2...3%, вблизи линии насыщения несколько увеличивается, но не превышает 3...5%.

В четвертой главе проведено обобщение данных о вязкости фреонов. Оценена возможность описания температурной зависимости вязкости разреженного газа методами термодинамического подобия с помощью единой зависимости вида

$$\eta_0 / \eta_p = f(\xi), \quad (7)$$

где в качестве η_p могут выбираться различные параметры приведения. Иногда в качестве η_p используется какое-либо текущее значение η_0 при ξ_0 , например, $\xi_0 = 1$ и, соответственно,

$\eta_p = \eta_{0,кр}$. Широкое распространение получил параметр $\eta_p = \frac{M^2 P_{кр}^3}{T_{кр}^4}$, составленный из критических данных и имеющий размерность вязкости.

Показано, что существует значительное число зависимостей вида (7) для условно выбранных авторами групп подобных веществ с различными коррелирующими параметрами. Использование в качестве определяющего критерия для вязкости критического числа $Z_{кр}$, параметра A , предложенного Л.П.Филипповым, и других,

Таблица 4.

Коэффициенты α_i уравнения (5)

Фреон	$\alpha_0 \cdot 10^6$	$\alpha_1 \cdot 10^6$	$\alpha_2 \cdot 10^6$
Ф-152А	0,61501	10,540	-0,10864
Ф-218	0,17898	16,187	-1,0632

Таблица 5.

Коэффициенты α_{ij} уравнения (6) для фреона-218

$i \backslash j$	0	1	2
1	0,0550747	0,825460	-0,242982
2	0,0100728	0,274292	0,00690687
3	0,0636629	-0,114211	-0,0121643
4	-0,00267148	0,0173964	-0,0115894
5	0,00310911	0,00368370	0,00647779

Таблица 6.

Коэффициенты α_{ij} уравнения (6) для фреона-152А

$i \backslash j$	0	1	2	3
1	71,2095	-191,127	173,017	-51,8982
2	-64,9032	151,518	-131,458	45,6823
3	15,1260	7,47929	-26,7209	1,77684
4	-1,62333	-29,4439	44,9719	-11,9967
5	1,37408	6,17742	-11,9446	3,74450
6	-0,306190	-0,186377	0,910538	-0,336799

№. 14242

Одесский технологический
институт пищевой промышлен-
ности им. С. С. Демосова

БИБЛИОТЕКА

успешно применяемых для описания равновесных свойств методами теории подобия, не может дать хороших результатов. Вместе с тем, практика выдвигает задачи расчета свойств новых перспективных рабочих тел при минимальной исходной информации с помощью аппарата теории подобия.

Предложена простая зависимость, описывающая вязкость разреженного газа нормальных алканов и их галогенопроизводных в безразмерном виде при $0,66 < \zeta < 5$

$$\zeta_0 / \zeta_p = \sqrt{T / T_p} - 1, \quad (8)$$

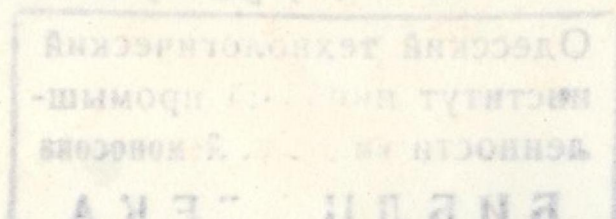
где T_p - характеристическая температура, рассчитываемая по аддитивным вкладам групп и атомов. Величина ζ_p может быть определена по одному опытному значению ζ_0 при T_0 , а при отсутствии опытных данных по известным эмпирическим соотношениям для расчета $\zeta_{кр}$ при критической температуре $T_{кр}$.

Аналогичный подход применен при описании вязкости жидкости на линии насыщения. Получена безразмерная зависимость вида

$$\varphi \cdot \zeta_p = \frac{\nu}{\nu_0} - 1, \quad (9)$$

где $\varphi = \frac{1}{\zeta}$ - текучесть, ν - удельный объем.

Величина "свободного объема" ν_0 может быть рассчитана по аддитивным вкладам групп или атомов, а значение ζ - по одной экспериментальной точке ζ_0 при ν_0 , либо (в случае отсутствия опытных данных) по известным эмпирическим соотношениям, определяющих объем и вязкость при температуре нормального кипения. Следует отметить, что предложенная зависимость вполне удовлетворительно передает температурный ход вплоть до $\zeta = 0,95$.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучено влияние скорости течения вещества на результаты измерений вязкости капиллярным методом. Опыты проведены на специально для этой цели созданной экспериментальной установке, реализующей метод капилляра с постоянным перепадом давлений и позволяющей на одном и том же капилляре в широких пределах варьировать скорость течения вещества при неизменных параметрах состояния.

2. Установлено, что коэффициент Хагенбаха, принимаемый большинством исследователей постоянной величиной $m = 1,12$, существенно зависит от режима течения вещества через капилляр. Для диапазона чисел Рейнольдса от 100 до 2800 найдена аналитическая зависимость m от Re . Показано, что использование этой зависимости позволяет: уточнить вклад поправки на кинетическую энергию, формирование параболического профиля и диссипацию энергии на входе в капилляр и тем самым повысить точность измерений; расширить диапазон изменения чисел Рейнольдса, включая переходный режим течения ($Re \leq 3000$), при проведении измерений вязкости капиллярным методом.

3. На полуавтоматической экспериментальной установке, реализующей метод капилляра с переменным во времени перепадом давлений, исследована вязкость фреонов-152А и 218 в жидкой и газовой фазах в интервалах температур 160...430 К и 270...420 К при давлениях до 50 МПа. Практически все данные о вязкости фреона-152А и данные о вязкости фреона-218 в газовой фазе получены впервые.

4. На основе обработки экспериментальных данных о вязкости фреонов-152А и 218 составлены двухпараметрические аппроксимационные уравнения, описывающие вязкость в жидкой и газооб-

разной фазе, рассчитаны и аттестованы подробные таблицы справочных данных о вязкости этих фреонов в широком диапазоне температур и давлений.

5. Методами теории подобия проведено обобщение данных о вязкости для фреонов различных рядов. Разработан метод расчета вязкости разреженного газа и кипящей жидкости для предельных углеводородов нормального строения и их галогенопроизводных, требующий минимальной исходной информации.

Основное содержание работы опубликовано в следующих работах:

1. Исследование вязкости некоторых фреонов на линии насыщения /Б.В.Гунчук, Е.М.Карбанов, Н.И.Лапардин, В.Я.Захаржевский. - В кн.: Теплофизические свойства веществ и материалов. М.: Изд-во стандартов, 1977, вып. II, с.39-46.
2. Пугач А.К., Лапардин Н.И. Некоторые свойства хладагентов судовых холодильных машин. - ЭИ/ЦЕНТИ. Министерство морского флота СССР. сер.: Судоремонт, 1979, вып. I6 (425), с.35-38.
3. Лапардин Н.И. Исследование вязкости хладагентов. - В кн.: Тез. докл. Республ. конф. "Интенсификация и совершенствование технологических процессов на предприятиях общественного питания". Харьков, 1979, с.159.
4. Бондарь Г.Е., Лапардин Н.И. О капиллярном методе исследования вязкости веществ. - В кн.: Тез. докл. Республ. конф. молодых ученых по вопросам пищевой промышленности. Тбилиси, 1980, с.114-115.
5. Лапардин Н.И., Пугач А.К., Ленский Л.Р. Исследование вязкости и самодиффузии фреона-152А. - В кн.: Тез. докл. Всесоюз. конф. "Проблемы влияния тепловой обработки на пице-

- вую ценность продуктов питания". Харьков, 1981, с.252.
6. Лапардин Н.И., Иванченко С.И. Методика расчета вязкости фреонов.-В кн.: Тез. докл. Всесоюз. конф. "Проблемы влияния тепловой обработки на пищевую ценность продуктов питания". Харьков, 1981, с.253.
7. Лапардин Н.И. Вязкость дифторэтана. - Изв. вузов - Нефть и газ, 1982, № 6, с.24, 63.

Лапардин