

Автор едр.

И 23

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
имени М. В. ЛОМОНОSOBA

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

ИВАНЧЕНКО
СЕРГЕЙ ИВАНОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ
ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ФРЕОНОВ
МЕТАНОВОГО
И ЭТАНОВОГО РЯДОВ

Специальность № 05.04.03—Гидравлические машины,
машины и аппараты холодильной и криогенной техники

Диссертация написана на русском языке

АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ОДЕССА — 1974

Министерство высшего и среднего специального образования
У С С Р

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ИМ. М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

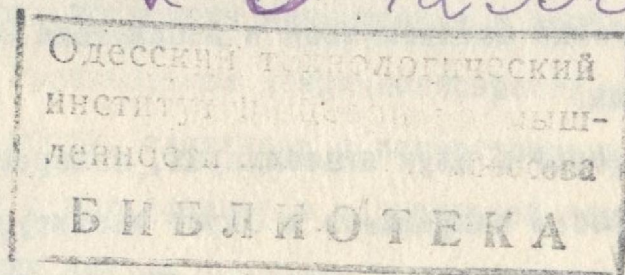
И В А Н Ч Е Н К О
Сергей Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ФРЕОНОВ
МЕТАНОВОГО И ЭТАНОВОГО РЯДОВ

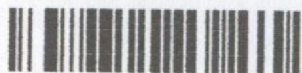
Специальность 05.04.03 - Гидравлические
машины, машины и аппараты холодильной и
криогенной техники

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

к. в. 12356



ОНАХТ 26.09.13
Исследование динамич



v012356

Одесса - 1974 г.

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

НАУЧНЫЕ РУКОВОДИТЕЛИ:

доктор технических наук, профессор
ЧАЙКОВСКИЙ В. Ф.

кандидат технических наук, доцент
ГЕЛЛЕР В. В.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

доктор технических наук, профессор
ГОЛУБЕВ И. Ф.

кандидат технических наук, ст. научн.
сотрудник Агаев Н. А.

Ведущее предприятие - проблемная лаборатория термодинамики углеводородов АЗНЕФТЕХИМ им. Азизбекова

Автореферат разослан "25" сентября 1974 г.

Защита диссертации состоится "25" октября 1974 г.

на заседании Ученого Совета механического факультета Одесского технологического института пищевой промышленности им. М. В. Ломоносова, ул. Свердлова, 112.

О диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОТИПП им. М. В. Ломоносова.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью учреждения, просим направлять в Совет института по адресу: 270039, г. Одесса-ГСП, ул. Свердлова, 112.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

К. Т. Н.

ЗАПОРОЖЕЦ Л. А.

Эффективность внедрения в производство высокопроизводительных машин и аппаратов, а также создания новых и интенсификация существующих технологических процессов связаны с рациональным выбором перспективных рабочих тел. К одной из групп таких веществ относятся фреоны—предельные галоидозамещенные углеводородов, которые по своим физическим свойствам отличаются рядом преимуществ по сравнению с другими телами. Фреоны обладают весьма благоприятными диэлектрическими свойствами, не горючи и не взрывоопасны, имеют высокую плотность, низкую температуру кипения, небольшие вязкость и поверхностное натяжение. Значительная часть фреонов характеризуется малой токсичностью, стабильностью до температур 250–300°C, инертностью по отношению к металлам и уплотняющим и смазывающим материалам.

Одной из традиционных сфер применения фреонов является область получения искусственного холода. В настоящее время предусмотрено значительное увеличение производства продуктов питания, при этом одним из эффективнейших методов улучшения их качества является понижение температуры обработки и хранения пищевых продуктов. Наиболее экономичные условия транспортировки газа на большие расстояния соблюдаются при его сжижении, требующем значительных затрат искусственного холода. Химическая промышленность и гидростроение, испытание авиационных и космических аппаратов, промышленное и транспортное кондиционирование — неполный перечень сфер деятельности, связанных с искусственным охлаждением.

Наряду с применением в холодильной технике фреоны используются во многих других отраслях промышленности. Они являются пропеллентами в аэрозольных упаковках для медицинских, технических и бытовых целей, служат растворителями при химических реакциях, используются для обезжиривания, очистки, промывки и сушки оборудования и герметичных систем, находят применение в качестве сре-

ды при фторировании полимеров. С помощью фреонов получают высокомолекулярные фторуглероды и непредельные фторорганические соединения, производят разделение карбоновых кислот, они используются в теплоэнергетических утилизационных станциях и в геотермальных теплосило-вых установках.

Для тепловых и гидродинамических расчетов технологических процессов и аппаратов, связанных с применением фреонов, необходимо знание коэффициента динамической вязкости (η) не только в области параметров, традиционной для холодильной техники, но также и в более широком интервале температур и давлений. Кроме того, накопление надежного экспериментального материала по вязкости представляет несомненный интерес с точки зрения использования его для развития теории жидкого состояния, а также при соответствующей обработке для расчета свойств малоизученных веществ с помощью методов теории подобия.

В связи с изложенным, целью настоящей работы явилось экспериментальное исследование и обобщение данных по вязкости наиболее важных и перспективных фреонов метанового ряда Ф-11, Ф-12, Ф-13, Ф-14, Ф-21, Ф-22, Ф-23 и фреона этанового ряда Ф-113 в интервале температур $-80 - +160^{\circ}\text{C}$ при давлениях до 600 бар.

В первой главе диссертации проведен обзор основных методов измерения вязкости газов и жидкостей, рассмотрены их преимущества и недостатки. Дан краткий обзор и анализ капиллярных методов, обоснована целесообразность выбора рабочей методики.

Во второй главе приведено описание экспериментальной установки и основных ее узлов, рассмотрены вопросы методики определения вязкости, проведен расчет и анализ погрешностей метода.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию вязкости фреонов, дан обзор и анализ экспериментальных данных различных авторов, приведены результаты измерений η в виде графиков и таблиц экспериментальных и сглаженных данных.

В четвертой главе рассмотрены некоторые вопросы теории жидкого состояния вещества, приведен обзор и анализ теоретических, полуэмпирических и эмпирических уравнений для расчета вязкости жидкостей и газов. Результаты экспериментального исследования фреонов сопоставлены с опытными данными других исследователей. Проверена применимость некоторых известных уравнений для расчета вязкости жидких фреонов. Приведены результаты обработки и обобщения экспериментального материала на основе теории соответственных состояний и получены уравнения, позволяющие рассчитывать коэффициенты динамической вязкости в широком интервале температур и давлений.

Измерения коэффициентов динамической вязкости фреонов осуществлялись капиллярными вискозиметрами по методике, разработанной Голубевым и Петровым (пятый вариант). Подробное описание экспериментальной установки и её основных узлов приведено в диссертации.

С целью обеспечения возможности термостатирования и создания изотермических условий по длине автоклава, последний запрессован в медный блок, по каналам которого насосом ультратермостата

U - 10 прокачивалась термостатирующая жидкость. При температурах выше $+60^{\circ}\text{C}$ использовалось веретенное масло, а в интервале температур $-30 - +60^{\circ}\text{C}$ - керосин или уайт-спирит. Для получения отрицательных температур термостатирующая жидкость охлаждалась раствором сухого льда с ацетоном, помещенным в ванну термостата, или парами жидкого азота, проходящими через теплообменник, изготовленный из медной трубки. Пары жидкого азота поступали в змеевик из сосуда

Дьюара, избыточное давление в котором создавалось специальным электронагревателем небольшой мощности.

Температура термостата поддерживалась электронным терморегулятором с точностью $\pm 0,05$ град., при этом в силу инерционности системы колебания температуры внутри автоклава не превышали $\pm 0,02$ град. Градиент температур по длине автоклава измерялся дифференциальной медь-константановой термопарой и при максимальной температуре опытов не превышал $8 \cdot 10^{-4}$ град/мм.

Для измерения температуры опыта был использован образцовый платиновый термометр сопротивления типа ПТС-10, изготовленный и проградуированный во ВНИИФТРИ ($R_0 = 10,0410$ ом; $\alpha = 0,0039260$; $\delta = 1,498$; $\rho = 0,109$). Сопротивление термометра измерялось компенсационным методом при помощи полуавтоматического потенциометра Р-348 класса 0,002. Сила тока в цепи термометра определялась по падению напряжения на образцовой десятиомной катушке сопротивления типа Р-321 класса 0,01. Для исключения влияния паразитных термо-в.д.с. рабочая цепь термометра реверсировалась бестермоточным переключателем П-308. Погрешность измерения температуры не превышала $\pm 0,05$ град.

Давление в автоклаве создавалось и измерялось при помощи грузопоршневых манометров МП-60 и МП-600 класса 0,05, при этом вводилась поправка на перепад уровней ртути в U-образном разделительном сосуде.

Время истечения измерялось с погрешностью $\pm 0,01$ сек. при помощи цифрового частотомера-хронометра типа Ф-552 А, снабженного электронной приставкой.

Расчет коэффициентов динамической вязкости из данных опыта проводился по уравнению Гагена-Пуазейля с учетом поправок, прису-

щих капиллярному методу и учитывающих конструктивные особенности вискозиметров

$$h = A \left(C_i - a \frac{\rho_{ртн}}{\rho_{рт}} \right) (\rho_{рт} - \rho) \tau - B_i \frac{\rho}{\tau}, \quad (I)$$

где $A = \frac{2\pi r^2 H}{8\eta l}$; $B_i = \frac{m\eta(1+2\alpha\Delta t)}{8\pi l}$;

$$C_i = \left(1 + \frac{h \cdot 3\alpha\Delta t L}{H} \right); \quad a = \frac{h}{H};$$

$$H = \frac{H_1 - H_2}{2.3 \lg \frac{H_1}{H_2}}; \quad L = \frac{L_1 + L_2}{2}.$$

- ν - объем измерительного баллончика вискозиметра, м³;
- H_1, H_2 - разность уровней ртути в начале и в конце истечения, м;
- H - средний логарифмический перепад уровней ртути, м;
- h - высота ртути в нижнем баллончике, м;
- L_1, L_2 - общая высота ртутного столбика в начале и в конце истечения, м;
- L - средняя высота ртутного столбика в процессе истечения, м;
- τ - время истечения вещества, сек;
- $\rho_{ртн}, \rho_{рт}$ - плотность ртути при нормальных условиях ($t = 25^\circ\text{C}$ и $P = 760$ мм рт.ст.) и температуре и давлении опыта, кг/м³;
- ρ - плотность исследуемого вещества, кг/м³;
- Δt - ($t - 25$) - разность температур, град;
- α - коэффициент линейного расширения стекла, град⁻¹;
- $m = 1, 12.$

Объемы измерительных баллончиков вискозиметров находились по обычной методике. Радиусы измерительных капилляров определялись как абсолютным методом — по массе столбика ртути, многократно заполняющей капилляр, так и относительным методом, при этом в качестве эталонных веществ были использованы нормальный гептан и азот. Расхождения результатов измерений обоими методами не превышали $\pm 0,3\%$, в связи с чем при расчете коэффициентов динамической вязкости были использованы величины радиусов измерительных капилляров, полученные абсолютным методом.

Длины капилляров и другие геометрические размеры вискозиметров (H , H_0 , L , L_0 , h) измерялись катетометром КМ-6 и микроскопом БМИ-1.

Геометрические размеры и постоянные вискозиметров, необходимые для расчета ζ по уравнению (1), приведены в табл. I.

Таблица I

Вискозиметр	$d \cdot 10^4, \text{м}$	$l \cdot 10^2, \text{м}$	$l_0 \cdot 10^6, \text{м}^3$	$h \cdot 10^2, \text{м}$	$H \cdot 10^2, \text{м}$	$L \cdot 10^2, \text{м}$
№ 1	0,7341	5,330	1,926	4,769	6,281	9,788
№ 2	1,3070	5,179	1,255	5,310	6,016	9,205
№ 3	2,0855	5,460	1,720	5,200	5,284	9,808

Анализ погрешностей метода показал, что максимальная относительная ошибка измерений вязкости с учетом разброса экспериментальных точек не превышает $\pm 1,5\%$.

Использованный в опытах исходный фреон Ф-11В соответствовал техническим условиям ТУ 6-02-601-70 и содержал основного компонента 99,8%. Перед опытами фреон подвергался очистке на ректификационной колонке, в результате чего содержание основного вещества составило 99,95%. Фреоны Ф-11, Ф-12, Ф-13, Ф-14, Ф-21, Ф-22 и Ф-23 были синтезированы и аттестованы в Государственном институте при-

кладной химии и не подвергались дополнительной очистке. Согласно паспортным данным, подтвержденным нашими хроматографическими анализами, содержание основного компонента для фреона Ф-12 составило 99,70%; Ф-13 - 98,94%; Ф-14 - 99,50%; Ф-21 - 99,96%; Ф-22 - 99,90% и Ф-23 - 99,95%. Во фреоне Ф-11 примеси не были обнаружены.

Для удаления возможных следов воздуха все исследованные фреоны перед опытами подвергались многократной деаэрации при замораживании их в специальном баллончике. В связи с тем, что верхняя температура исследований составляла 160-180°C, а при таких температурах, согласно литературным данным, возможно термическое разложение фреонов, хроматографические анализы проводились также и после окончания опытов. Совпадение хроматограмм свидетельствует об отсутствии разложения фреонов в процессе измерений.

При измерении вязкости фреонов опыты проводились по изотермам, при этом после измерений при максимальном давлении проверялась воспроизводимость в некоторых экспериментальных точках при понижении давления до начального. "Шаг" по температурам, исключая околокритические области фреонов Ф-12, Ф-13 и Ф-22, составлял ~ 20 град. Через каждые 2-3 температуры воспроизводимость результатов измерений проверялась при 3-4 давлениях на исходной изотерме. Совпадение результатов опытов свидетельствовало об отсутствии засорения измерительного капилляра.

Для каждого фреона вязкость измерялась различными вискозиметрами (см. табл. I). При низких температурах использовались вискозиметры с большим, а при высоких - с меньшим диаметрами капилляров, при этом числа Рейнольдса для всех фреонов в исследованной области параметров состояния не превышали 1200. С целью проверки достоверности полученных результатов "стыковка" значений вязкости, полученных различными вискозиметрами, проводилась на 1-3 изотермах при всех давлениях. Расхождения результатов, полученных раз-

личными вискозиметрами при одинаковых температурах и давлениях, не превышали погрешности экспериментальных данных.

Всего в опытах получено 679 экспериментальных значений вязкости восьми фреонов метанового и этанового рядов, которые приведены в табл. 2-9.

При составлении таблиц рекомендуемых значений вязкости фреонов необходимо учитывать также и результаты исследований других авторов. В диссертации приведен подробный обзор и анализ существующего экспериментального материала по η указанных фреонов и обсуждаются причины расхождений с полученными нами значениями вязкости. Следует отметить, что большинство работ, посвященных вязкости фреонов, выполнено методом катящегося шарика, недостатки которого известны, и охватывают весьма узкий интервал температур и давлений. Из исследований последних лет наиболее обстоятельными являются работы Ривкина, Левина и Израилевского, в которой приведены результаты измерений η фреона Ф-II в диапазоне температур 170-230°C при давлениях до 120 бар, и Ткачева, Агаева и Бутырской по вязкости фреона Ф-22 при температурах 25-200°C и давлениях до 500 бар. Сопоставление с данными Ривкина с сотрудниками на изотермах 170 и 180°C при давлениях до 120 бар показало, что максимальное расхождение не превышает 3,6%. Таким образом, рассматриваемые результаты находятся в пределах суммарной погрешности обоих экспериментов.

При сравнении полученных нами величин вязкости фреона Ф-22 с данными Ткачева и др. (ЛТИХП) обнаружено, что при умеренных давлениях имеют место расхождения, несоизмеримые с суммарной ошибкой сравниваемых результатов и достигающие 10%, в то время как при высоких давлениях наблюдается гораздо лучшее согласование опытных данных. Расчеты показали, что некоторые измерения были проведены в ЛТИХП при весьма высоких числах Рейнольдса, в связи с чем к ним

следует относиться с осторожностью.

Для аппроксимации полученных нами экспериментальных данных была следана попытка использовать некоторые известные формулы, в том числе уравнения Бачинского, Андраде, Варгафтика, применение которых позволило для ряда жидкостей получить положительные результаты. В диссертации показано, что для фреонов в исследованном интервале температур и давлений уравнения Бачинского и Андраде могут быть использованы в качестве интерполяционных лишь для ориентировочных расчетов вязкости.

Проведена обработка экспериментальных данных по коэффициентам динамической вязкости всех исследованных фреонов в координатах избыточная вязкость - плотность. Анализ полученных результатов показал, что в исследованной области параметров опытные данные могут быть описаны обобщенными зависимостями вида $\Delta\eta = f(\rho)$. На основе этих зависимостей получены уравнения, позволяющие рассчитывать вязкость фреонов в широком диапазоне параметров состояния

$$(h_{p,T} - h) \cdot 10^4 = \sum_{i=0}^{i=n} C_i \rho^i \quad (2)$$

Коэффициенты уравнения (2) приведены в табл. 10.

Зависимости $\Delta\eta = f(\rho)$ для фреонов Ф-113, Ф-11, Ф-13, Ф-21 и Ф-23 аппроксимированы двумя частями, охватывающими интервал плотностей, соответственно, 1000-1500 и 1500-1710 кг/м³, 950-1400 и 1400-1640 кг/м³, 50 - 1000 и 1000-1530 кг/м³, 970-1320 и 1320-1490 кг/м³, 22-500 и 500-1320 кг/м³. Максимальное отклонение рассчитанных значений η от экспериментальных для фреонов Ф-113, Ф-11, Ф-12, Ф-13, Ф-14, Ф-21, Ф-22 и Ф-23 составляет, соответственно, 5,6 ; 6,6 ; 5,1 ; 6,7 ; 2,8 ; 5,3 ;

3,8 и 6,7%, среднеквадратичное - 3,4; 3,8; 1,8; 3,3; 0,9; 2,8; 1,4 и 2,8.

Расхождения между значениями коэффициентов динамической вязкости фреонов Ф-113, Ф-11, Ф-13, Ф-21 и Ф-23, рассчитанными по уравнениям, описывающим ($\eta_{21} - \eta_1$) в различных интервалах ρ при плотностях, соответственно, 1500; 1400; 1000; 1320 и 500 кг/м³, не превышают 1%. Максимальный показатель степени при ρ выбирался из условия наилучшего описания экспериментальных данных с меньшим числом коэффициентов. Следует отметить, что отклонение рассчитанных по уравнению (2) величин вязкости фреонов от экспериментальных в некоторых случаях превышает возможную ошибку измерений. Это по нашему мнению связано с тем, что в области параметров, не охваченной экспериментальными ρ , ω , T -данными, плотность фреонов была определена с определенной погрешностью, которая незначительно сказывалась на точности расчета η , но повидимому, могла несколько исказить зависимость избыточной вязкости от плотности. Кроме того, однозначная зависимость избыточной вязкости от плотности, возможно, не соблюдается строго во всем исследованном диапазоне параметров состояния для исследованных фреонов. Однако, в исследованной области параметров ($\omega = 0 + 3$; $T = 0,5 + 2$; $\pi = 0 + 18$) четко выраженное расслоение по изотермам в $\Delta\eta$, ρ -диаграмме не соблюдается. Вместе с тем, окончательный вывод о характере зависимости избыточной вязкости фреонов от плотности можно будет сделать после накопления надежных экспериментальных данных по термодинамическим свойствам в соответствующих интервалах параметров состояния. Следует все же отметить, что хотя нами и не получено расслоение изотерм вязкости, максимальное отклонение рассчитанных значений от экспериментальных имеет место, в основном, в области низких температур и высо-

ких плотностей.

В связи с возможным расслоением изотерм зависимости избыточной вязкости от плотности и отсутствием для ряда веществ надежных P, ν, T -данных, нами применена методика описания вязкости через параметры, непосредственно измеряемые в опыте, т.е. через давление и температуру. Такая методика была предложена Ривкиным для аппроксимации экспериментальных данных по коэффициентам вязкости обычной и тяжелой воды. Учитывая, что из всех сечений ν, P, T -поверхности наиболее простую конфигурацию имеют линии постоянной вязкости, которые для жидкости в широком интервале параметров состояния являются прямыми, наши экспериментальные данные по вязкости фреонов Ф-II, Ф-I2, Ф-I3, Ф-2I, Ф-22, Ф-23 и Ф-II3, а также значения ν фреонов Ф-II4 и Ф-II5 по данным Ткачева с соотрудниками, были обработаны в виде изолиний вязкости $\nu = const$ в P, T -координатах. Результаты обработки показали, что прямолинейность линий $\nu = const$ сохраняется в весьма широком интервале температур и давлений.

В связи с тем, что внутри групп рассматриваемых нами фреонов (Ф-II3, Ф-II4 и Ф-II5; Ф-II, Ф-I2 и Ф-I3; Ф-2I, Ф-22 и Ф-23) в необходимой мере соблюдаются условия термодинамического подобия, о чем свидетельствуют критерии Гульдберга и Менделеева, была проведена проверка их подобия и в отношении вязкостных свойств.

При обобщении экспериментальных данных по вязкости в качестве точки приведения нами выбрана точка, лежащая в области жидкости при температуре $T = 0,7 T_{кр}$ и давлении $P = 0,7 P_{кр}$, а приведенная вязкость была найдена как $\nu^* = \nu_{0,7} / \nu_{0,7}$ ($\nu_{0,7}$ - значение вязкости при температуре $0,7 T_{кр}$ и давлении $0,7 P_{кр}$). Такой выбор опорной точки представляется вполне оправданным, так как при указанных параметрах вязкость по имеющимся эксперименталь-

ным данным определяется с гораздо более высокой точностью, чем в критической точке, на кривой экстремумов или линии насыщения.

Приведенные вязкости были обработаны в виде изолиний в координатах $\tau' = T/0,7 T_{кр}$; $\pi' = P/0,7 P_{кр}$. Анализ показал, что разброс экспериментальных точек относительно обобщающих прямых линий постоянной приведенной вязкости не превышает 2-3%. Таким образом, в пределах каждой группы соблюдается подобие вязкостных свойств фреонов. Для составления обобщенных уравнений изолинии приведенной вязкости были представлены в виде

$$\tau' = A + B\pi' \quad (8)$$

Ряд полученных значений A , и B , аппроксимировался полиномами n -той степени по обратным степеням приведенной вязкости. В результате расчетов, проведенных методом наименьших квадратов на ЭЦМ, уравнения для вязкости фреонов получены в виде

$$\tau' = A(\tau') + B(\tau')\pi' \quad (4)$$

где

$$A(\tau') = \sum_{i=0}^n a_i \tau'^{-i}; \quad B(\tau') = \sum_{i=0}^n b_i \tau'^{-i}$$

По уравнению (4), коэффициенты которого приведены в табл. II, были рассчитаны значения b группы фреонов этанового ряда (Ф-113, Ф-114, Ф-115) и двух групп фреонов метанового ряда (Ф-11, Ф-12, Ф-13 и Ф-21, Ф-22, Ф-23) в интервале приведенных температур,

соответственно, 0,50 - 0,97; 0,50 - 0,96; 0,60 - 0,96 и давлений 0,02 - 18,2; 0,02 - 14,0 и 0,02 - 11,4. Максимальные расхождения экспериментальных и расчетных значений для фреона Ф-113 не превышают 4,5; Ф-114-3,2; Ф-115 - 1,9; Ф-11 - 3,1; Ф-12 - 4,3; Ф-13 - 1,7; Ф-21 - 3,1; Ф-22 - 3,6 и Ф-23 - 2,7%. Среднеквадратичные отклонения, соответственно, составляют 1,1; 0,4; 0,8; 1,5; 1,7; 0,9; 0,4; 0,7; и 0,5%.

Уравнение (4) использовано нами также для расчета η фреонов в состоянии кипящей жидкости (табл.12). При этом следует отметить, что располагая экспериментальными данными по вязкости высококипящих фреонов (Ф-11 и Ф-21) в исследованном диапазоне параметров состояния, нам представилась возможность рассчитать значения вязкости ряда низкокипящих фреонов в соответственных состояниях при температурах, не охваченных экспериментальными измерениями.

Таким образом, полученные уравнения могут быть использованы при составлении экспериментально обоснованных таблиц теплофизических свойств фреонов в широкой области параметров состояния. Следует отметить, что эти уравнения не учитывают особенностей поведения вязкости в окрестностях критической точки.

ВЫВОДЫ

1. Методом капиллярного вискозиметра исследована динамическая вязкость фреонов Ф-113, Ф-11, Ф-12, Ф-13, Ф-14, Ф-21, Ф-22 и Ф-23 в интервале температур $-30 - +160^{\circ}\text{C}$ при давлениях до 600 бар. Вязкость фреонов Ф-113, Ф-12, Ф-13, Ф-14, Ф-21 и Ф-23 под давлением исследована впервые, а для фреонов Ф-11 и Ф-22 расширены области исследования. Составлены таблицы рекомендуемых значений вязкости, которые могут быть использованы для инженерных

расчетов.

2. Проведено сравнение результатов исследования с данными других авторов на линии насыщения, при атмосферном и высоких давлениях. Проанализированы причины расхождений.
3. Рассмотрены теоретические, полуэмпирические и эмпирические уравнения для расчета вязкости плотных газов и жидкостей. Показано, что в исследованном интервале температур и давлений уравнения Анраде и Бачинского могут быть использованы в качестве интерполяционных лишь для ориентировочных расчетов вязкости фреонов.
4. Экспериментальные данные обработаны в координатах избыточная вязкость - плотность. Получены уравнения (2), позволяющие рассчитывать вязкость фреонов в широкой области параметров состояния.
5. В результате рассмотрения вопроса о связи вязкости с термическими свойствами проведена обработка экспериментальных данных по вязкости фреонов Ф-11, Ф-12, Ф-13, Ф-21, Ф-22, Ф-23, Ф-113, Ф-114 и Ф-115 в виде изолиний вязкости в P, T -координатах. Показано, что прямолинейность изолиний вязкости сохраняется в весьма широком интервале температур и давлений.
6. Для проверки подобия внутри рассматриваемых групп фреонов проведена обработка экспериментальных данных в виде изолиний постоянной приведенной вязкости. Показано, что в пределах каждой группы фреонов наблюдается подобие вязкостных свойств.
7. Получены обобщенные уравнения (4), описывающие вязкость каждой из групп фреонов в широкой области параметров состояния.
8. Рассчитаны значения коэффициентов вязкости ряда низкокипящих фреонов при температурах, не охваченных экспериментальными измерениями.
9. Полученные уравнения могут быть использованы при составлении экспериментально обоснованных таблиц теплофизических свойств фреонов в широкой области параметров состояния.

1012356

Одесский технологический институт пищевой промышленности им. ...

БИБЛИОТЕКА

Таблица 2.

Экспериментальные значения вязкости фреона-113 $\eta \cdot 10^6$, в-сек/м².

Давление, бар	Температура, °С												
	30,22	31,77	0,02	19,45	40,81	60,98	78,75	98,92	119,88	140,01	160,15	179,05	199,55
1,0	I649	I394	961,4	719,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10,8	I669	I411	-	-	548,2	487,1	364,0	-	-	-	-	-	-
20,6	-	I430	987,4	737,0	-	-	-	300,4	247,3	-	-	-	-
30,4	I689	-	-	-	565,5	451,7	374,9	-	-	211,0	-	-	-
40,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	180,0	148,3	-
50,1	I750	I485	I027	763,0	579,1	463,1	387,0	318,2	263,9	223,6	187,5	154,7	120,8
74,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200,8	-	-
99,1	-	I588	I098	809,1	619,0	499,5	417,5	343,9	289,4	250,8	214,0	182,5	152,1
197,1	-	I770	I229	907,1	700,2	562,6	476,8	396,8	339,9	296,9	258,9	226,9	197,0
398,3	-	-	I525	I117	867,8	701,5	594,8	508,6	435,4	385,9	339,8	302,6	268,2
589,4	-	-	I867	I350	I047	847,7	720,9	607,8	526,4	468,3	419,7	374,2	334,5

Таблица 3.

Экспериментальные значения вязкости фреона-11 η , Юб, н·сек/м².

Давление, н/см ² бар	Температура, °С																								
	20	21,18	22	26	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	100	110	120	140	150	160	170	180			
1,0	805,7	697,1	537,5	427,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10,8	812,8	-	-	431,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20,6	819,1	709,1	546,6	435,4	358,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
30,4	-	-	-	-	-	302,1	249,8	206,1	177,4	149,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
35,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	119,1	-	-	-	-	-	-	-	-	
40,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	108,4	-	-	
45,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	148,1	-	-	-	-	-	-	97,2	
50,1	840,5	728,5	563,4	448,9	368,5	309,6	256,5	212,9	184,4	152,6	126,6	113,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
59,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	107,2	
74,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	161,9	136,9	126,2	-	-	-	-	115,6	
99,1	-	-	761,1	588,5	470,2	388,5	325,2	272,4	229,0	200,4	170,3	145,3	136,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	125,2	
118,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	134,0	
148,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	184,6	161,0	151,9	-	-	-	-	142,8	
197,1	-	-	823,6	640,7	514,5	424,8	360,0	308,4	260,0	228,0	198,1	175,4	166,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	157,0	
295,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
393,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	744,8	592,9	495,7	425,6	364,2	317,7	282,6	248,6	222,9	214,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	206,1

Таблица 4.

Экспериментальные значения вязкости фреона-12 $\eta \cdot 10^6$, н.сек/м².

Давление бар	Т е м п е р а т у р а ° С													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10,8	347,3	306,8	244,8	201,5	-	-	-	-	-	-	-	15,8	16,7	17,0
15,7	-	-	-	-	164,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20,6	351,6	310,3	248,0	205,0	-	132,8	-	-	-	-	-	16,3	17,0	17,4
30,4	-	-	-	-	-	169,0	-	105,6	-	-	-	21,9	19,4	19,6
35,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,6	-
40,2	-	-	-	-	-	-	-	-	79,0	-	-	31,5	24,8	-
45,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,0	-
50,0	-	320,8	257,8	214,0	175,7	149,9	114,9	85,9	70,1	63,2	48,6	31,2	27,0	-
54,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56,6	-	-
59,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73,1	65,3	-	-	-
74,5	-	-	-	-	-	-	-	99,4	87,4	82,8	77,2	50,0	-	-
79,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55,0	40,7	-
89,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61,8	-
99,0	-	337,5	274,2	229,2	190,8	159,5	133,6	109,6	98,5	94,3	89,3	67,9	51,2	-

Продолжение таблицы 3.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
491,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	245,4	236,3	-
589,4	-	-	-	852,3	678,1	567,9	487,9	420,2	374,0	333,8	297,8	267,6	258,4	251,1

Продолжение таблицы 4.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
108,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
118,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
148,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
172,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
197,1	-	-	370,6	303,9	258,7	218,3	187,2	162,4	138,5	128,3	125,2	121,3	102,4	88,6
295,2	-	-	404,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
393,2	-	-	-	361,8	310,5	267,7	233,7	206,3	182,2	171,7	168,0	164,3	145,1	129,2
491,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
589,4	-	-	-	419,2	359,4	312,4	275,8	247,2	220,4	209,4	205,9	201,7	180,5	161,0

Таблица 5.

Экспериментальные значения вязкости фреона-13 $\eta \cdot 10^6$, в сек/м².

Давле- ние бар	Температура, °С													
	29,40	30,22	31,04	31,86	32,68	33,50	34,32	35,14	35,96	36,78	37,60	38,42	39,24	40,06
1,1	-	12,3	13,0	14,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10,8	-	12,4	13,3	14,3	14,5	-	14,8	-	-	-	-	-	-	-
15,7	145,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20,6	-	129,2	-	-	15,2	-	15,5	-	-	-	-	-	-	-
30,4	149,8	-	-	-	16,8	-	17,3	-	17,9	18,7	19,2	20,2	-	21,0
31,8	-	-	-	-	17,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33,8	-	-	-	-	18,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34,9	-	134,4	101,3	-	18,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39,7	-	-	-	-	51,4	23,8	19,3	18,5	-	-	-	-	-	-
40,2	-	-	-	-	53,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50,0	156,6	138,8	107,2	74,3	66,0	60,3	29,7	21,0	20,6	20,7	21,0	21,7	-	22,1
74,5	163,7	146,2	116,2	87,5	80,4	77,7	61,9	37,8	28,3	25,4	24,5	24,4	-	24,4
99,1	170,7	152,8	123,9	96,5	90,1	87,7	74,3	54,5	40,5	33,1	29,9	28,7	-	27,9
147,5	-	165,4	-	111,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
196,5	-	177,2	148,5	123,4	117,5	115,6	104,4	85,7	73,7	63,4	55,4	49,9	-	45,3

Продолжение таблицы 5.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
294,6	-	198,8	-	144,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
392,6	-	-	190,7	162,8	157,0	154,4	143,2	124,5	110,4	98,8	90,3	82,5	76,4
490,7	-	-	-	181,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
588,8	-	-	228,4	199,0	191,3	188,3	177,0	154,8	139,4	126,4	117,3	107,8	100,8

Среднегодовая численность населения Республики Беларусь в 1990-1999 гг.

Таблица 6.

Экспериментальные значения вязкости брезона-14

2. Юб, н.сек/м²

Давление, бар	Т е м п е р а т у р а , ° С									
	20,01	40,10	60,22	80,35	99,82	119,93	140,02	159,61		
1,1	17,0	-	19,0	20,0	20,9	21,8	22,6	23,4		
10,8	17,1	18,1	19,1	20,2	21,0	21,9	22,7	23,7		
30,4	18,5	-	-	21,1	21,9	22,8	23,5	24,2		
50,2	20,9	21,3	21,8	22,4	23,2	23,8	24,5	25,2		
74,5	25,1	-	24,4	24,8	25,1	25,6	25,9	26,5		
99,0	31,2	28,8	27,6	27,3	27,4	27,7	27,8	28,1		
147,8	44,5	-	35,6	33,6	32,7	32,2	31,9	31,7		
196,7	55,6	48,3	43,8	40,5	39,0	37,4	36,5	35,8		
295,0	73,6	64,7	58,6	53,7	50,5	47,8	46,1	44,3		
392,8	87,4	78,2	70,9	65,3	61,1	57,8	54,9	52,5		

Таблица 7.

Экспериментальные значения вязкости фреона-21 $\times 10^6$, н·сек/м².

Давление, бар	Температура, °С									
	0,18	19,92	40,06	60,10	80,07	100,04	120,43	140,44	160,73	
10,7	412,3	334,7	-	-	-	-	-	-	-	-
15,6	-	-	272,8	227,8	191,1	-	-	-	-	-
20,5	-	-	-	-	-	161,8	-	-	-	-
30,3	-	340,4	276,3	231,8	194,9	164,1	132,5	-	-	-
40,1	-	-	-	-	-	-	-	108,8	-	-
49,9	434,2	345,2	281,0	236,6	199,9	169,7	138,7	112,9	85,5	-
74,5	-	355,5	287,8	-	206,1	176,2	145,4	121,2	96,0	-
99,0	448,9	361,2	295,4	249,4	212,1	181,7	151,6	128,0	105,0	-
197,0	479,5	388,1	319,2	272,4	234,5	204,3	174,2	151,8	128,5	-
393,1	546,8	440,3	364,0	314,5	273,7	241,9	211,4	189,0	168,0	-
589,2	607,3	448,5	408,4	355,3	311,4	279,7	252,8	221,1	199,0	-

Экспериментальные значения вязкости фреона-21 $\times 10^6$, н·сек/м².

Таблица 8.

Экспериментальные значения вязкости фреона-22 $\zeta \cdot 10^6$, н·сек/м²

Давление, бар	Т е м п е р а т у р а , ° С									
	-18,21	-	-0,64	26,26	50,08	69,81	89,44	95,46		
10,5	258,5	212,5	-	-	-	-	-	-	-	-
20,3	-	-	160,1	-	-	-	-	-	-	-
30,1	-	217,5	-	122,9	-	-	-	-	-	-
40,0	-	-	-	124,3	-	-	-	-	-	-
49,8	267,8	222,1	168,1	127,1	99,5	68,4	-	-	-	62,8
54,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	76,7
74,3	-	228,3	174,2	134,2	107,7	83,7	-	-	-	88,7
98,8	279,8	234,2	179,7	139,8	115,3	93,1	-	-	-	101,3
147,9	-	245,1	190,6	151,4	127,2	107,5	-	-	-	114,4
196,9	302,9	255,8	201,2	161,4	138,3	118,7	-	-	-	132,9
295,0	326,2	-	-	180,5	157,8	137,2	-	-	-	149,8
393,0	-	297,8	238,1	198,4	177,0	154,0	-	-	-	-
491,0	-	-	-	216,4	-	-	-	-	-	-
589,1	-	337,6	272,9	231,4	205,3	184,3	-	-	-	178,8

Таблица 10

Значения коэффициентов C_i уравнения (2)

Коэффициенты подбора	Фреон-113		Фреон-1		Фреон-12		Фреон-13	
	$\rho = 1000 \pm 1500$ кг/м ³	$\rho = 1500 \pm 1710$ кг/м ³	$\rho = 950 \pm 1400$ кг/м ³	$\rho = 1400 \pm 1640$ кг/м ³	$\rho = 600 \pm 1560$ кг/м ³	$\rho = 50 \pm 1000$ кг/м ³	$\rho = 1000 \pm 1530$ кг/м ³	
C_0	1,29744 · 10 ⁻⁴	-1,40969 · 10 ¹	-4,5788 · 10 ¹	4,3118	5,5993 · 10 ⁻¹	6,2839 · 10 ⁻⁸	1,1084	
C_1	-2,94740	1,52844 · 10 ¹	8,7279 · 10 ¹	3,2661	-2,5476	-7,5916 · 10 ⁻²	4,4385	
C_2	7,70703	0,78532	1,2796 · 10 ⁻¹	-1,1039 · 10 ¹	4,3344	9,8457 · 10 ⁻¹	2,0630 · 10 ¹	
C_3	-6,63619	-1,95335	-9,3408 · 10 ⁻¹	4,7547	-3,1633	-1,2312 · 10 ⁻¹	-2,4665 · 10 ¹	
C_4	1,96360	0,61523	4,7837 · 10 ⁻¹	-	8,9207 · 10 ⁻¹	-1,7984	1,2109 · 10 ¹	
C_5	-	-1,56207	-	-	-	-5,1732	-1,9534	
C_6	-	-0,51477	-	-	-	1,7606 · 10 ¹	-	
C_7	-	0,64848	-	-	-	-2,8934	-	
C_8	-	-	-	-	-	-2,0417 · 10 ¹	-	
C_9	-	-	-	-	-	1,4273 · 10 ¹	-	

Коэффициенты подбора	Фреон-14		Фреон-1		Фреон-22		Фреон-23	
	$\rho = 0 \pm 1155$ кг/м ³	$\rho = 970 \pm 1320$ кг/м ³	$\rho = 1320 \pm 1490$ кг/м ³	$\rho = 800 \pm 1390$ кг/м ³	$\rho = 22 \pm 500$ кг/м ³	$\rho = 500 \pm 1320$ кг/м ³		
C_0	2,5923 · 10 ⁻⁴	-8,8474 · 10 ⁻¹	3,7048	2,7685	-7,07868 · 10 ²	-5,33485 · 10 ¹		
C_1	1,1193 · 10 ⁻¹	3,0775 · 10 ⁻¹	6,2876	-1,1139 · 10 ¹	0,22119	-0,14734		
C_2	4,0092 · 10 ⁻¹	4,2366 · 10 ⁻¹	2,7804	1,4447 · 10 ¹	-0,59365	3,85723		
C_3	-2,8500 · 10 ⁻¹	-1,6106	-	-1,3686	1,24353	-1,25754		
C_4	2,6975 · 10 ⁻¹	1,4022	-	-7,7079	7,67345	2,28057		
C_5	-	-	-	3,9500	-1,99124 · 10 ¹	-1,71536		
C_6	-	-	-	-	7,27141	4,93839		
C_7	-	-	-	-	1,12746 · 10 ¹	-		
C_8	-	-	-	-	6,95395	-		

Таблица 9.

2-10⁶, н.сек/л²

Экспериментальные значения вязкости фреона-23

Давление, бар	0,01		25,27		41,71		60,50		79,88		101,95		120,75		139,95		159,30	
	Температура, °С																	
10,6	-	-	-	-	16,1	16,8	17,5	17,5	18,2	19,0	19,8	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7
20,4	-	-	-	-	16,6	17,2	17,9	17,9	18,5	19,2	20,1	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9
30,2	-	-	-	-	17,4	17,8	18,4	18,4	18,9	19,6	20,4	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2
40,1	-	-	-	-	18,4	18,6	19,0	19,0	19,4	20,0	20,8	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6
50,0	106,0	60,4	60,4	60,4	20,0	19,5	19,7	19,7	20,0	20,5	21,2	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9
59,6	-	65,6	65,6	65,6	24,2	21,7	20,9	20,9	20,7	21,2	21,8	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3
74,3	111,9	70,4	70,4	70,4	42,2	25,5	23,5	23,5	22,5	22,4	22,8	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2
98,8	118,4	78,7	78,7	78,7	58,8	38,9	29,6	29,6	25,5	24,3	24,3	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2
147,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
197,1	139,1	102,8	102,8	102,8	86,1	71,1	58,8	58,8	48,0	42,0	38,5	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0
382,9	174,6	135,3	135,3	135,3	117,4	102,4	89,8	89,8	78,3	71,4	64,6	60,3	60,3	60,3	60,3	60,3	60,3	60,3
589,0	208,5	162,5	162,5	162,5	141,4	124,4	111,6	111,6	100,7	91,9	85,4	79,5	79,5	79,5	79,5	79,5	79,5	79,5

Значения коэффициентов a_i и b_i уравнения (4)

i	a_i	b_i	$13! \text{ Фреонны} - 21$	22	$23!$	113	114	115
0	0,5080066	0,8626076 · 10 ⁻²	0,4675667	0,1874835 · 10 ⁻²	0,3796972	0,9868322 · 10 ⁻²		
1	0,6510568	-0,2801894 · 10 ⁻¹	0,9431701	-0,2177574 · 10 ⁻²	1,8110797	-0,3729846 · 10 ⁻¹		
2	-0,1751417	0,7818487 · 10 ⁻¹	-0,6246534	0,2598676 · 10 ⁻¹	2,924208	0,8685849 · 10 ⁻¹		
3	0,1314873 · 10 ⁻³	-0,7514218 · 10 ⁻¹	-0,5736217 · 10 ⁻²	-0,1644747 · 10 ⁻¹	2,880941	-0,9317308 · 10 ⁻¹		
4	-0,6904043 · 10 ⁻²	0,3561128 · 10 ⁻¹	0,4256320	-0,1116226 · 10 ⁻²	-1,505110	0,4357492 · 10 ⁻¹		
5	0,5709051 · 10 ⁻²	-0,7958211 · 10 ⁻²	-0,2256243	0,1053093 · 10 ⁻¹	0,3990799	-0,9580597 · 10 ⁻²		
6	-0,2464661 · 10 ⁻³	0,2043994 · 10 ⁻²	-0,3886274 · 10 ⁻¹	-0,9075259 · 10 ⁻²	-0,8790928 · 10 ⁻¹	0,2283631 · 10 ⁻²		
7	0,4461473 · 10 ⁻²	-0,1228916 · 10 ⁻²	0,6765168 · 10 ⁻¹	0,3631583 · 10 ⁻²	0,4905926 · 10 ⁻¹	-0,1460990 · 10 ⁻²		
8	-0,3287775 · 10 ⁻²	0,3554544 · 10 ⁻³	-0,1294374 · 10 ⁻¹	-0,6781164 · 10 ⁻³	-0,1846193 · 10 ⁻¹	0,4602660 · 10 ⁻³		
9	0,6002591 · 10 ⁻³	-0,3333843 · 10 ⁻⁴	0,4801993 · 10 ⁻³	0,5055942 · 10 ⁻⁴	0,2390380 · 10 ⁻²	-0,4615001 · 10 ⁻⁴		

Таблица 12.

Вязкость фреонов на линии насыщения $\eta \cdot 10^6$, н сек/м².

$t, ^\circ\text{C}$	Φ -11	Φ -12	Φ -13	Φ -21	Φ -22	Φ -23	Φ -113
-120	-	-	667,5	-	-	646,4	-
-100	-	-	487,4	-	-	417,0	-
-80	-	770,0	811,2	-	-	288,0	-
-60	-	542,7	229,8	-	460,1	212,2	-
-40	929,8	407,5	171,1	-	898,7	162,9	-
-20	687,4	816,4	129,8	-	260,4	128,7	1881,9
0	585,0	244,6	95,1	418,8	207,9	-	961,0
20	429,2	198,8	-	380,8	168,2	-	712,7
40	350,5	159,1	-	269,1	134,2	-	546,7
60	288,9	128,9	-	224,1	106,0	-	435,2
80	239,2	102,4	-	188,6	77,6	-	352,6
100	199,1	-	-	159,6	-	-	288,8
120	167,4	-	-	129,1	-	-	239,8
140	140,4	-	-	108,2	-	-	200,1
160	114,0	-	-	80,9	-	-	164,4

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Геллер В.В., Иванченко С.И., Поричанский Е.Г. Теплофизические свойства фреона-113. В сб. "Тепло- и массоперенос", т.9, часть II, Минск, 1972.
2. Геллер В.В., Иванченко С.И., Поричанский Е.Г. Теплофизические свойства фреона-113. В сб. "Вопросы радиоэлектроники", серия ТРТО, вып.2, 1972.
3. Иванченко С.И. Вязкость трифтортрихлорэтана. Изв. ВУЗов, серия "Нефть и газ", 7, 1972.
4. Геллер В.В., Иванченко С.И. Исследование вязкости фреона-11. В сб. "Холодильная техника и технология", Изд. "Техніка", Киев, вып.16, 1972.
5. Геллер В.В., Иванченко С.И., Передрий В.Г. Исследование теплопроводности и вязкости фреона-11 при высоких давлениях. В сб. "Теплофизические свойства углеводородов, их смесей, нефтей и нефтяных фракций", М., Изд. стандартов, вып.1, 1973.
6. Чайковский В.Ф., Геллер В.В., Иванченко С.И. Вязкость дифтордихлорметана. Изв. ВУЗов, серия "Нефть и газ", № 7, 1973.
7. Геллер В.В., Иванченко С.И., Передрий В.Г. Экспериментальное исследование коэффициентов динамической вязкости и теплопроводности дифторхлорметана. Изв. ВУЗов, серия "Нефть и газ", №8, 1973.
8. Иванченко С.И., Бондарь Г.Е., Геллер В.В. Экспериментальное исследование вязкости фреона-13 и фреона-14. В сб. "Холодильная техника и технология", Изд. "Техніка", Киев, вып.19, 1974.
9. Чайковский В.Ф., Геллер В.В., Горыкин С.Ф., Артамонов С.Д., Бондарь Г.Е., Иванченко С.И., Ленский Л.Р., Передрий В.Г. Комплексное исследование теплофизических свойств наиболее важных и перспективных фреонов в жидкой и газовой фазах. Тезисы докладов 5-й конференции по теплофизическим свойствам веществ, Киев, 1974.

Результаты работы докладывались:

1. На IY конференции молодых специалистов института технической теплофизики АН УССР, Киев, 1972.
2. На совещании Рабочей группы по фреонам Советской комиссии Международного союза по теоретической и прикладной химии (IUPAC), Одесса, 1972.
3. На IY Всесоюзном Совещании по тепло- и массообмену, Минск, 1972.
4. На XXXIII научной конференции ОТИП им.М.В.Ломоносова, Одесса, октябрь - ноябрь, 1972.
5. На XXXIV научной конференции ОТИП им.М.В.Ломоносова, Одесса, апрель - май, 1974.
6. На У конференции по теплофизическим свойствам веществ, Киев, 1974.