

Авторефер  
Б 81

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
имени М.В.Ломоносова

На правах рукописи

БОНДАРЬ Геннадий Евгеньевич

УДК 532.133 + 533.16

ВЯЗКОСТЬ ФРЕОНОВ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

01.04.14 - теплофизика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Одесса - 1983

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

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

Официальные оппоненты - доктор технических наук,  
профессор ДЬЯКОНОВ С. Г.  
кандидат технических наук,  
доцент КЕРАМИДИ А. С.

Ведущая организация - Физико-технический институт  
низких температур АН УССР  
(г. Харьков)

Защита состоится "27" января 1984 г. в 10 час.  
на заседании специализированного совета К 068.35.04 в Одесском  
технологическом институте пищевой промышленности имени М. В. Ло-  
моносова, 270039, Одесса-39, ул. Свердлова, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского  
технологического института пищевой промышленности им. М. В. Ломо-  
носова.

Автореферат разослан "26" декабря 1983 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
кандидат технических наук,

ОНАХТ 20.04.11  
Вязкость фреонов при



v014533

ЭЛЬКИН Г. И.

Поверніть книгу не пізніше  
зазначеного терміну

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В настоящее время фреоны находят применение в холодильной и криогенной технике, энергетике, химической промышленности и других отраслях народного хозяйства. При решении научно-технических и проектно-конструкторских задач необходимо располагать надежными данными о теплофизических свойствах и, в частности, вязкости жидких фреонов в широком диапазоне параметров состояния. Такие данные весьма важны и для развития теории жидкого состояния вещества. Сюда относятся в первую очередь низкотемпературные измерения вязкости фреонов. К наиболее важным экспериментам следует отнести также измерения вязкости вблизи точки замерзания и в метастабильном состоянии переохлажденной жидкости, несущие ценную информацию о структуре вещества и структурных преобразованиях.

Так как фреоны, выбранные в качестве объектов исследования, широко применяются в различных областях техники, измерение вязкости этих веществ при низких температурах необходимо и с прикладной точки зрения.

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 28.10.1977 г.).

### Цель работы:

1. Экспериментальное исследование вязкости жидких фреонов  $R\ 13$ ,  $R\ 22$ ,  $R\ 23$ ,  $R\ 114$ ,  $R\ 115$ ,  $R\ 218$  и  $R\ 13В1$  при низких температурах. Обработка результатов измерений и составление таблиц справочных данных о вязкости фреонов в широком диапазоне температур и давлений.

2. Изучение вязкости фреонов при переходе через кривую кристаллизации в состоянии переохлажденной жидкости.

3. Исследование применимости уравнения Гиршфельдера, Биллера, Мак-Ги и Саттона (ГБМС) для расчета плотности фреонов при низких температурах.

### Научная новизна.

Впервые получены экспериментальные данные о вязкости фреонов  $R\ 13$ ,  $R\ 22$ ,  $R\ 23$ ,  $R\ 114$ ,  $R\ 115$ ,  $R\ 218$  и  $R\ 13В1$  в диа-

Одесский технический институт  
институт промышленности  
ленность

переучет

14532, 9 - с.в. 14533  
V O 14533

пазоне температур от точки плавления до 300 К при давлениях до 60 МПа.

Впервые изучена вязкость фреонов  $R\ 13$  и  $R\ 13B1$  при переходе через кривую кристаллизации, при этом достигнуто переохлаждение, соответственно, на 2,73 и 4,76 К. Исследован вид температурной зависимости вязкости в этой области.

Доказана возможность расчета плотности фреонов, необходимой для вычисления вязкости из данных опыта, по уравнению ГЕМС.

Составлены таблицы вязкости фреонов  $R\ 13$ ,  $R\ 22$ ,  $R\ 23$ ,  $R\ 114$ ,  $R\ 115$ ,  $R\ 218$  и  $R\ 13B1$  в диапазоне температур 100-460 К и давлений 0,1-60 МПа.

Автор защищает:

- результаты экспериментального исследования вязкости жидких фреонов  $R\ 13$ ,  $R\ 22$ ,  $R\ 23$ ,  $R\ 114$ ,  $R\ 115$ ,  $R\ 218$  и  $R\ 13B1$  в диапазоне температур от точки плавления до 300 К и давлений до 60 МПа;

- опытные данные о вязкости фреонов  $R\ 13$  и  $R\ 13B1$  в состоянии переохлажденной жидкости; вывод о закономерностях температурной зависимости вязкости жидкости в переохлажденном состоянии;

- вывод о возможности расчета плотности жидких фреонов при низких температурах по уравнению ГЕМС;

- таблицы рекомендуемых справочных данных о вязкости фреонов  $R\ 13$ ,  $R\ 22$ ,  $R\ 23$ ,  $R\ 114$ ,  $R\ 115$ ,  $R\ 218$  и  $R\ 13B1$  в широком диапазоне параметров состояния.

Практическая ценность. Данные о вязкости изученных фреонов рекомендуются в качестве справочных материалов, которые могут быть использованы при решении научно-исследовательских и проектно-конструкторских задач для процессов и аппаратов холодильной и криогенной техники.

Реализация результатов работы. Результаты исследований, представленные в виде таблиц и уравнений, использованы Советской комиссией по теплофизическим свойствам газов и жидкостей и другими организациями. Справки об использовании результатов работы прилагаются к диссертации.

Апробация работы. Основные результаты были представлены и обсуждались на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава и научных работников ОТИШ имени М.В.Доманосова (Одесса, 1972-1983 г.г.); Всесоюзном совещании

по вязкости (Грозный, 1975 г.); ученых и специалистов ЭНИН (Москва, 1976 г.); выездном заседании секции "Теплофизические свойства веществ" Научного совета АН СССР по комплексной проблеме "Теплофизика" (Одесса, 1976 г.); Всесоюзном совещании "Перспективы развития и применения микрокриогенной техники" (Омск, 1977 г.); Республиканской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов (Грозный, 1977 г.); УІ научно-теоретической и технической конференции профессорско-преподавательского состава Ташкентского автомобильно-дорожного института (Ташкент, 1978 г.); Республиканской конференции молодых ученых по вопросам пищевой промышленности (Тбилиси, 1980 г.).

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 173 страницах машинописного текста и состоит из введения, 6 глав, заключения, списка использованной литературы из 132 наименований и приложений. Работа содержит 28 таблиц и 33 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 измерениям вязкости жидких фреонов при низких температурах. Показано, что для большинства технически важных фреонов экспериментальные данные о вязкости в жидкой фазе представлены в весьма небольшом объеме, в основном лишь при давлении насыщения и в ограниченном интервале температур. В полной мере это относится и к объектам исследования настоящей работы -- фреонам  $R\ 13$ ,  $R\ 22$ ,  $R\ 23$ ,  $R\ 114$ ,  $R\ 115$ ,  $R\ 218$  и  $R\ 13VI$ .

Во второй главе приведено описание созданной автором экспериментальной установки для исследования вязкости при низких температурах. Схема установки приведена на рис. I. Ее основной частью является криостат, в котором помещается автоклав. Измерительный капилляр, изготовленный из стекла марки "супромакс", помещается в автоклав вертикально и верхним своим концом через соединительную трубку сообщается с ртутным насосом-расходомером, создающим перепад давлений на концах капилляра. Насос-

расходомер конструкции И.Ф.Голубева находится в термостатируемом при комнатной температуре вискозиметрическом сосуде, способном поворачиваться на  $90^\circ$ .

Криостат измерительного капилляра представлял собой медный блок, снабженный регулирующими нагревателями и установленный в латунном стакане, на котором навит змеевик для прокачки жидкого азота. Для улучшения условий теплообмена змеевик залит оловом.

Для поддержания необходимой температуры опыта жидкий азот из сосуда Дьюара поступал в змеевик криостата и откачивался вакуум-насосом через дифференциальный игольчатый вентиль, позволяющий весьма тонко регулировать расход азота. В качестве датчика температуры использован технический платиновый термометр сопротивления, установленный в сверлении медного блока. Неравномерность температурного поля по длине криостата контролировалась дифференциальными медь-константановыми термопарами и, как показали специальные опыты, при температуре  $100\text{ K}$  градиент температуры не превышал  $10^{-4}\text{ K/мм}$ .

Для предотвращения нагрева верхней части криостата "теплым" фреоном, поступающим в автоклав в процессе опыта, на соединительной магистрали установлен теплообменник, конструкция которого аналогична конструкции основного криостата. В змеевик теплообменника подавались пары азота после криостата, при этом его температура автоматически поддерживалась равной температуре опыта с отклонением не более  $0,2-0,3\text{ K}$ .

Измерение абсолютной температуры опыта осуществлялось образцовым термометром сопротивления типа ТСН-I, изготовленным и градуированным во ВНИИФТРИ, при помощи полуавтоматического потенциометра Р348 класса  $0,002$ . Давление в установке создавалось и измерялось грузопоршневым манометром типа МП-600 класса  $0,05$  при помощи U-образного ртутного разделительного сосуда. Время истечения исследуемого вещества через измерительный капилляр фиксировалось с погрешностью  $\pm 0,01\text{ с}$  при помощи цифрового частотомера-хронометра Ф-599, снабженного автоматической электронной приставкой.

Геометрические размеры измерительных капилляров, представленные в табл. I, определялись по известной методике.

Согласно принятому методу измерения вязкости, истечение вещества через капилляр происходило под действием переменного во времени перепада давлений. Расчеты показали, что для насо-

сов-расходомеров, использованных в опытах, среднелогарифмический перепад уровней ртути отличается от среднеинтегрального на 0,1%, что практически не влияет на точность результатов измерений.

При расчете вязкости из данных опыта необходимо располагать сведениями о плотности фреонов во всем исследуемом диапазоне параметров, в том числе и при низких температурах. В связи с этим, в третьей главе проанализированы возможности ряда известных уравнений состояния для расчета термических свойств жидких фреонов при умеренных и низких температурах по ограниченной исходной информации.

Показано, что наиболее удобным для этой цели уравнением, описывающим термические свойства с точностью, соизмеримой с экспериментальной, является уравнением Гиршфельдера, Бюлера, Мак-Ги и Саттона (ГЕМС). Для расчета по ГЕМС необходимо знать критические параметры вещества, молекулярную массу, а также  $\rho_s, T_s$  и  $\rho'_s, T'_s$  - зависимости.

По уравнению ГЕМС была рассчитана плотность фреонов R 13, R 22, R 23, R 114, R 115, R 218 и R 13В1 в интервале температур 100 - 300 К и давлениях до 60 МПа. Сопоставление полученных значений плотности с имеющимися экспериментальными данными показало расхождение не более 1% практически во всем диапазоне исследованных параметров, что вполне приемлемо при расчетах вязкости.

В четвертой главе приведены результаты экспериментального исследования вязкости. Использованные в опытах фреоны синтезированы и аттестованы в Государственном институте прикладной химии. Согласно паспортным данным содержание основного компонента составляло для фреона R 13 - 99,80; фреона R 22 - 99,80; фреона R 23 - 99,95; фреона R 218 - 99,75 и фреона R 13В1 - 99,95%. Измерения производились по изотермам при температурах от точки плавления до 300 К и давлениях до 60 МПа.

Результаты измерений вязкости изученных фреонов приведены в табл.2. Максимальная общая погрешность неисключенных остатков систематической погрешности и погрешности отнесения к температуре и давлению составила 1,2%.

В пятой главе обсуждаются результаты измерений вязкости фреонов R 13 и R 13В1 при переходе через кривую кристаллизации в состоянии переохлажденной жидкости и полученная на основе этих свойств температурная зависимость вязкости жидких фре-

онов в состоянии переохлаждения.

Рентгенографические исследования последних лет показали отсутствие скачкообразного изменения структуры жидкостей при переходе через кривую плавления. Отсюда следует ожидать отсутствие резкого изменения и в свойствах веществ. Однако, в ряде работ были обнаружены аномалии в температурной зависимости теплоемкости, поверхностного натяжения, диэлектрической проницаемости, электропроводности, вязкости.

Наши измерения вязкости фреонов  $R\ 13$  и  $R\ 13VI$  при температурах, соответственно, до  $91,09$  и  $100,39$  К, проведенные с мелким "шагом" по температуре показали, что температурная зависимость жидкости сохраняется и в области переохлаждения. На основе этих исследований сделан вывод о том, что образование синботактических групп с понижением температуры приводит к уменьшению подвижности молекул и плавному, без скачка, увеличению вязкости при переходе через точку плавления.

В шестой главе проведено сопоставление полученных результатов измерения вязкости жидких фреонов с имеющимися в литературе данными. Показано, что наибольшие расхождения наблюдаются в тех случаях, где авторы применяли менее совершенные типы вискозиметров, например, по методу катящегося шара. В тех случаях, когда сопоставлялись данные, полученные методом капилляра, расхождения соизмеримы с суммарной погрешностью опытов.

Проанализированы различные эмпирические и полуэмпирические уравнения для описания вязкости фреонов в широком диапазоне параметров состояния. Показано, что оптимальные результаты при описании вязкости и составлении таблиц справочных данных могли быть получены при применении уравнения типа

$\ln(\eta/\eta_0) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^m \alpha_{ij} \omega^i \tau^j$ . В табл.3 представлены коэффициенты этого уравнения для фреона  $R\ 22$ . Среднеквадратическая погрешность аппроксимации составила  $0,6\%$ , максимальная -  $2,1\%$ .

По указанной методике составлены справочные таблицы вязкости фреонов  $R\ 13$ ,  $R\ 22$ ,  $R\ 23$ ,  $R\ 114$ ,  $R\ 115$ ,  $R\ 218$  и  $R\ 13VI$  в диапазоне температур  $100 - 460$  К при давлениях до  $60$  МПа. Погрешность рекомендуемых справочных таблиц вязкости оценивается величиной  $2 - 3\%$  в однородной области и  $3 - 5\%$  на кривой насыщения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Создана экспериментальная установка, реализующая метод капилляра, вынесенного в зону низких температур. Обеспечены оптимальные условия термостатирования, что позволило получить надежные данные о вязкости в широком диапазоне температур, вплоть до 300 К.

2. Исследована вязкость жидких фреонов  $R\ 13$ ,  $R\ 22$ ,  $R\ 23$ ,  $R\ 114$ ,  $R\ 115$ ,  $R\ 218$  и  $R\ 13В1$  в диапазоне температур от точки плавления до 300 К и давлениях до 60 МПа. Большая часть опытных данных получена впервые.

3. Впервые изучена вязкость фреонов  $R\ 13$  и  $R\ 13В1$  при переходе через кривую кристаллизации. Проанализирована температурная зависимость вязкости переохлажденной жидкости.

4. Доказана применимость уравнения Гиршфельдера, Бюллера, Мак-Ги и Саттона для определения плотности жидких фреонов в широком диапазоне параметров, необходимых для расчета вязкости из данных опыта.

5. На основе совместной обработки полученных экспериментальных данных и литературных сведений о вязкости фреонов в газовой фазе составлены уравнения, описывающие вязкость в широком интервале параметров состояния. Рассчитаны таблицы справочных данных о вязкости фреонов  $R\ 13$ ,  $R\ 22$ ,  $R\ 23$ ,  $R\ 114$ ,  $R\ 115$ ,  $R\ 218$  и  $R\ 13В1$  в диапазоне температур 100 - 460 К и давлениях до 60 МПа.

Основное содержание работы опубликовано в следующих работах:

1. Геллер В.З., Бондарь Г.Е., Ленский Л.Р. Экспериментальное исследование динамической вязкости легкокипящих фреонов при низких и криогенных температурах. - В кн.: Тез. докл. Всесоюз. совещ. по вязкости. Грозный, 1975, с.4.

2. Результаты экспериментального исследования и обработки данных по динамической вязкости жидких фреонов в широком диапазоне параметров состояния /В.Ф.Чайковский, В.З.Геллер, С.Ф.Горыкин, С.И.Иванченко, Г.Е.Бондарь, А.В.Кронберг. - В кн.: Тез. докл. Всесоюз. совещ. по вязкости. Грозный, 1975, с.10.

3. Геллер В.З., Барышев В.П., Бондарь Г.Е. О возможности применения уравнения Гиршфельдера, Бюллера, Мак-Ги и Саттона для расчета термических свойств фреонов. - Изв. вузов.

Энергетика, 1977, № 2, с. III.

4. Чайковский В.Ф., Геллер В.З., Бондарь Г.Е. Вязкость фреона I3 при низких температурах. - В кн.: Холодильная техника и технология. - Киев, : Техника, 1977, № 25, с. 66.

5. Исследование коэффициентов переноса (вязкости и диффузии) холодильных агентов. /Г.Е.Бондарь, Л.Р.Ленский, А.К.Цугач, В.И.Резван. - В кн.: Тез. докл. Республ. конф. молодых ученых и специалистов, Грозный, 1977, с. 47.

6. Бондарь Г.Е., Барышев В.П. Вязкость фреонов Ф-II4, Ф-2I8. - Изв. вузов - Энергетика, 1978, № 4, с. I36.

7. Бондарь Г.Е. Исследование вязкости фреонов Ф-I2VI, Ф-22 и Ф-2I8 при низких и криогенных температурах. Депонировано "Информэнерго", Д/3I4, 1977.

8. 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. II4 - II5.

Таблица I

Размеры измерительных капилляров

№ капилляра	Диаметр, мм	Длина, мм
1	0,1910	108,02
2	0,1953	108,60
3	0,2293	109,41
4	0,2328	109,40
5	0,3999	108,25
6	0,3874	89,20

## Вязкость фреонов, мкПа·с

$T, K$	$\eta$	$T, K$	$\eta$	$T, K$	$\eta$	$T, K$	$\eta$
<u>Фреон R13</u>							
$\rho = 3,53 \text{ МПа}$		113,62	2007	253,00	179,0	193,37	442
99,41	3715	136,82	945	272,98	146,5	213,03	340
113,62	1807	153,15	667	299,17	115,0	213,25	339
136,82	878	172,52	457	$\rho = 29,53 \text{ МПа}$		233,07	271
153,15	640	192,99	345	91,09	9062	253,00	220
172,52	413	193,37	345	93,10	7719	272,98	185,7
192,99	324	213,03	260	99,29	5031	299,17	153,7
213,03	246	213,25	261	99,41	5121	$\rho = 49,15 \text{ МПа}$	
$\rho = 5,00 \text{ МПа}$		233,07	201	113,56	2434	91,09	11550
91,09	6710	253,00	155,6	113,62	2447	93,10	9792
93,10	5659	272,98	124,3	136,82	1094	99,29	6195
99,29	3780	299,17	89,1	153,15	779	113,56	2884
99,41	3805	$\rho = 19,72 \text{ МПа}$		172,52	539	299,17	171,2
113,56	1934	89,42	9211	192,99	410	$\rho = 58,96 \text{ МПа}$	
113,62	1888	89,84	8968	193,37	410	93,10	11042
136,82	879	90,25	8719	213,03	314	99,29	6897
153,15	637	90,68	8405	213,25	311	99,41	7008
172,52	425	91,05	8133	233,07	247	113,56	3147
192,99	332	91,09	8029	253,00	198,0	113,62	3218
193,37	321	93,10	6815	272,98	166,1	136,82	1391
213,03	249	99,29	4474	299,17	136,0	153,15	976
213,25	243	99,41	4571	$\rho = 39,34 \text{ МПа}$		172,15	674
233,07	183,9	113,56	2217	91,09	10260	192,99	510
253,00	139,4	113,62	2215	93,10	8634	193,37	502
272,98	107,6	136,82	1010	99,29	5581	213,03	391
299,17	65,9	153,15	722	99,41	5727	213,25	392
$\rho = 9,91 \text{ МПа}$		172,52	498	113,56	2676	233,07	317
91,09	7079	192,99	377	113,62	2687	253,00	259
93,10	6094	193,37	379	136,82	1185	272,98	221
99,29	4027	213,03	289	153,15	839	299,17	187,5
99,41	4100	213,25	287	172,52	585		
113,56	2024	233,07	225	192,99	443		
<u>Фреон 22</u>							
$\rho = 1,57 \text{ МПа}$		122,95	4653	152,82	1448	193,03	606
115,55	7155	132,11	2963	171,61	905	212,93	451

Продолжение таблицы 2

$T, K$	$\eta$	$T, K$	$\eta$	$T, K$	$\eta$	$T, K$	$\eta$
<u><math>\rho = 1,57 \text{ МПа}</math></u>		193,03	643	152,82	1752	122,95	7164
232,83	342	212,93	477	171,61	1095	132,11	4414
253,25	266	232,26	367	193,03	735	152,82	1986
272,93	207	253,25	289	212,93	545	171,61	1234
293,07	170,5	272,93	229	232,83	421	193,03	826
<u><math>\rho = 5,00 \text{ МПа}</math></u>		293,07	189,4	253,25	336	212,93	613
115,55	7442	313,23	154,2	272,93	273	232,83	475
122,95	4779	<u><math>\rho = 19,72 \text{ МПа}</math></u>		293,07	233	253,25	380
132,11	3070	115,55	8801	313,23	196,4	272,93	316
152,82	1468	122,95	5442	<u><math>\rho = 39,34 \text{ МПа}</math></u>		293,07	271
171,61	926	132,11	3466	115,55	10819	313,23	232
193,03	621	152,82	1632	122,95	6563	<u><math>\rho = 58,96 \text{ МПа}</math></u>	
212,93	462	171,61	1026	132,11	4065	115,55	13537
232,03	353	193,03	690	152,82	1856	122,95	7836
253,25	275	212,93	511	171,61	1163	132,11	4785
272,93	215	232,83	395	193,03	782	152,82	2119
293,07	178,2	253,25	314	212,93	578	171,61	1306
313,23	142,7	272,93	253	232,83	447	193,03	871
<u><math>\rho = 9,91 \text{ МПа}</math></u>		293,07	212	253,25	356	212,93	647
115,55	7836	313,23	176,0	272,93	295	232,83	504
122,95	5012	<u><math>\rho = 29,53 \text{ МПа}</math></u>		293,07	252	253,25	404
132,11	3200	115,55	9730	313,23	215	272,93	338
152,82	1532	122,95	6004	<u><math>\rho = 49,15 \text{ МПа}</math></u>		293,07	290
171,61	958	132,11	3744	115,55	12083	313,23	250
<u>Фреон R 23</u>							
<u><math>\rho = 5,00 \text{ МПа}</math></u>		293,10	64,6	272,92	100,0	253,40	138,5
117,88	1857	<u><math>\rho = 7,46 \text{ МПа}</math></u>		293,10	73,7	272,92	109,0
129,08	1224	117,88	1912	<u><math>\rho = 9,91 \text{ МПа}</math></u>		293,10	84,0
153,06	624	129,08	1238	117,88	1960	<u><math>\rho = 19,72 \text{ МПа}</math></u>	
153,07	626	153,06	638	129,08	1261	129,08	1349
172,29	429	153,07	640	153,06	645	153,06	690
192,95	304	172,29	436	153,07	649	153,07	693
213,09	225	192,95	311	172,29	442	172,29	473
213,98	172,6	213,09	231	192,95	315	192,95	334
242,89	148,5	231,98	176,6	213,09	235	213,09	251
253,40	128,0	242,89	152,0	231,98	181,0	231,98	197,7
272,92	94,7	253,40	132,2	242,89	158,0	242,89	175,5

Продолжение таблицы 2

$T, K$	$\eta$	$T, K$	$\eta$	$T, K$	$\eta$	$T, K$	$\eta$
$\rho = 19,72 \text{ МПа}$		253,40	173,2	272,92	163,0	293,10	156,0
253,40	160,2	272,92	149,0	293,10	144,4	$\rho = 58,96 \text{ МПа}$	
272,92	130,0	293,10	129,4	$\rho = 49,15 \text{ МПа}$		129,08	1776
293,10	108,0	$\rho = 39,34 \text{ МПа}$		129,08	1670	153,06	877
$\rho = 29,53 \text{ МПа}$		129,08	1563	153,06	831	153,07	877
129,08	1450	153,06	781	153,07	829	172,29	602
153,06	732	153,07	783	172,29	569	192,95	433
153,07	738	172,29	537	192,95	405	213,09	333
172,29	503	192,95	383	213,09	310	231,98	270
192,95	360	213,09	289	231,98	251	242,89	244
213,09	271	231,98	231	242,89	225	253,40	223
231,98	214	242,89	207	253,40	206	272,92	193,2
242,89	191,0	253,40	189,8	272,92	177,1	293,10	169,6
<u>Фреон R114</u>							
$\rho = 1,08 \text{ МПа}$		$\rho = 5,00 \text{ МПа}$		212,67	1362	272,93	655
182,96	2521	182,96	2672	233,06	943	272,96	667
193,66	1900	193,66	2000	253,25	683	297,56	496
212,67	1232	212,66	1294	272,93	519	297,57	504
233,06	847	233,06	889	272,96	527	312,97	434
253,25	604	253,25	638	297,56	383	$\rho = 39,34 \text{ МПа}$	
272,93	458	272,93	485	297,57	394	212,67	1890
272,96	465	272,96	491	312,97	336	233,06	1306
297,56	336	297,56	361	$\rho = 19,72 \text{ МПа}$		253,25	944
297,57	343	297,57	366	193,66	2362	272,93	726
312,97	284	312,97	308	212,67	1533	272,96	739
$\rho = 3,04 \text{ МПа}$		$\rho = 7,46 \text{ МПа}$		233,06	1060	297,56	552
182,96	2597	193,66	2058	253,25	769	297,57	561
193,66	1951	212,67	1335	272,93	590	312,97	487
212,67	1263	233,06	916	272,96	595	$\rho = 49,15 \text{ МПа}$	
233,06	864	253,25	662	297,56	440	212,67	2084
253,25	624	272,93	502	297,57	449	233,06	1450
272,93	472	272,96	510	312,97	388	253,25	1028
272,96	479	297,56	372	$\rho = 29,53 \text{ МПа}$		272,93	798
297,56	349	297,57	379	193,66	2641	272,96	810
297,57	354	312,97	322	212,67	1720	297,56	609
312,97	295	$\rho = 9,91 \text{ МПа}$		233,06	1173	297,57	615
		193,66	2121	253,25	769	312,97	535

Продолжение таблицы 2

$T, K$	$\eta$	$T, K$	$\eta$	$T, K$	$\eta$	$T, K$	$\eta$
$\rho = 58,96 \text{ МПа}$		233,06	I590	272,93	87I	297,56	664
2I2,67	229I	253,25	II32	272,96	880	297,57	668
<u>Фреон R II5</u>							
$\rho = 3,04 \text{ МПа}$		2I2,7I	733	253,IO	429	272,94	435
I76,92	I347	233,09	507	253,29	432	293,60	353
I92,44	I032	253,IO	357	272,94	34I	3I3,40	299
2I2,7I	685	253,29	362	293,60	273	333,19	255
233,09	473	272,94	28I	3I3,40	226	$\rho = 49,15 \text{ МПа}$	
253,IO	329	293,60	2I8	333,19	I87	2I2,7I	II69
253,29	337	3I3,40	I7I	$\rho = 29,53 \text{ МПа}$		233,09	824
333,19	I03	333,19	I32	I92,44	I452	253,IO	605
$\rho = 5,00 \text{ МПа}$		$\rho = 9,9I \text{ МПа}$		2I2,7I	955	253,29	605
I76,92	I376	I92,44	II53	233,09	670	272,94	485
I92,44	I068	2I2,7I	758	253,IO	486	293,60	393
2I2,7I	704	233,09	527	253,29	486	3I3,40	340
233,09	487	253,IO	37I	272,94	390	333,19	288
253,IO	340	253,29	377	293,60	3I3	$\rho = 58,96 \text{ МПа}$	
253,29	349	272,94	292	3I3,40	264	2I2,7I	I289
272,94	266	293,60	228	333,19	222	233,09	909
293,60	205	3I3,40	I84	$\rho = 39,34 \text{ МПа}$		253,IO	667
3I3,40	I58	333,19	I46	I92,44	I585	253,29	665
333,19	II7	$\rho = 19,72 \text{ МПа}$		2I2,7I	I058	272,94	53I
$\rho = 7,46 \text{ МПа}$		I92,44	I295	233,09	748	293,60	434
I76,92	I442	2I2,7I	852	253,IO	542	3I3,40	37I
I92,44	III3	233,09	599	253,29	546	333,19	3I9
<u>Фреон R 2I8</u>							
$\rho = 1,08 \text{ МПа}$		$\rho = 3,04 \text{ МПа}$		343,08	74,6	292,98	2I2
I26,00	I3900	I26,00	I4I40	$\rho = 5,00 \text{ МПа}$		3I3,02	I56,1
I32,89	9097	I32,89	93I8	I26,00	I4420	343,08	97,7
I52,39	3426	I52,39	36II	I32,89	957I	$\rho = 7,46 \text{ МПа}$	
I7I,53	I823	I7I,53	I890	I52,39	375I	I26,00	I5II0
2I2,46	697	2I2,46	722	I7I,53	I955	I32,89	I0000
232,96	479	232,96	507	2I2,46	743	I52,39	3883
252,87	343	252,87	357	232,96	527	I7I,53	2040
272,97	247	272,97	268	252,87	380	2I2,46	77I
286,94	20I	286,94	2I7	272,97	282	232,96	547
292,98	I82,0	3I3,02	I4I,4	286,94	225	252,87	396

Продолжение таблицы 2

$T, K$	$\eta$	$T, K$	$\eta$	$T, K$	$\eta$	$T, K$	$\eta$
<u><math>\rho = 7,46 \text{ МПа}</math></u>		<u><math>\rho = 19,72 \text{ МПа}</math></u>		232,96	751	<u><math>\rho = 49,15 \text{ МПа}</math></u>	
272,97	297	132,89	12230	252,87	570	152,39	7040
286,94	247	152,39	4654	272,97	442	171,53	3601
292,98	227	171,53	2435	286,94	377	212,46	1375
343,08	116,2	212,46	919	292,98	351	286,94	489
<u><math>\rho = 9,91 \text{ МПа}</math></u>		232,96	659	313,02	285	313,02	379
132,89	10420	252,87	493	343,08	221	<u><math>\rho = 58,96 \text{ МПа}</math></u>	
152,39	4043	272,97	381	<u><math>\rho = 39,34 \text{ МПа}</math></u>		152,39	7967
171,53	2127	286,94	310	152,39	6158	171,53	4029
212,46	798	292,98	297	171,53	3149	212,46	1487
232,96	568	313,02	238	212,46	1206	232,96	1080
252,87	418	343,08	180,3	232,96	858	252,87	814
272,97	314	<u><math>\rho = 29,53 \text{ МПа}</math></u>		252,87	647	286,94	537
286,94	262	132,89	14290	286,94	433	292,98	513
292,98	242	152,39	5376	292,98	404	313,02	422
313,02	186,7	171,53	2769	313,02	333	343,08	335
343,08	131,1	212,46	1044	343,08	259		
<u>Фреон R13B1</u>							
<u><math>\rho = 2,06 \text{ МПа}</math></u>		<u><math>\rho = 9,91 \text{ МПа}</math></u>		153,14	1254	153,19	1438
100,39	8958	101,26	9410	153,19	1238	172,57	1203
100,48	8883	101,95	8964	172,57	844	172,59	993
100,57	8727	105,22	7078	172,59	850	293,21	255
100,70	8650	113,09	4464	293,21	206	<u><math>\rho = 49,15 \text{ МПа}</math></u>	
100,84	8580	133,10	1987	<u><math>\rho = 29,53 \text{ МПа}</math></u>		113,09	6678
<u><math>\rho = 5,00 \text{ МПа}</math></u>		153,14	1153	105,22	8924	133,10	2736
101,24	8815	153,19	1148	113,09	5461	153,14	1612
101,26	8802	172,57	776	133,10	2332	153,19	1539
101,27	8748	172,59	782	153,14	1396	172,57	1091
101,95	8422	293,21	175,5	153,19	1336	172,59	1062
105,22	6679	<u><math>\rho = 19,72 \text{ МПа}</math></u>		172,57	916	293,21	279
113,10	4227	102,44	9897	172,59	913	<u><math>\rho = 58,96 \text{ МПа}</math></u>	
133,10	1890	102,90	9541	293,21	232	107,11	10909
153,14	1093	102,91	9480	<u><math>\rho = 39,34 \text{ МПа}</math></u>		113,09	7418
153,19	1106	103,17	9292	104,89	10190	133,10	2969
172,57	735	105,22	7929	113,09	6036	153,19	1652
172,59	750	113,09	4932	133,10	2520	172,59	1132
293,21	175,5	133,10	2145	153,14	1498	293,21	305

## Коэффициенты уравнения

$j$	$i$			
	1	2	3	4
0	-2,0808040	2,6754610	0,72774948	-0,26617577
1	3,0568110	-6,7148693	-1,1774104	0,70987397
2	3,4585158	5,6454143	-0,27201048	-0,42410081
3	-4,7626106	-1,5001892	0,70704542	0,030462885
4	1,0852603	0,27705831	-0,27761095	0,030646073

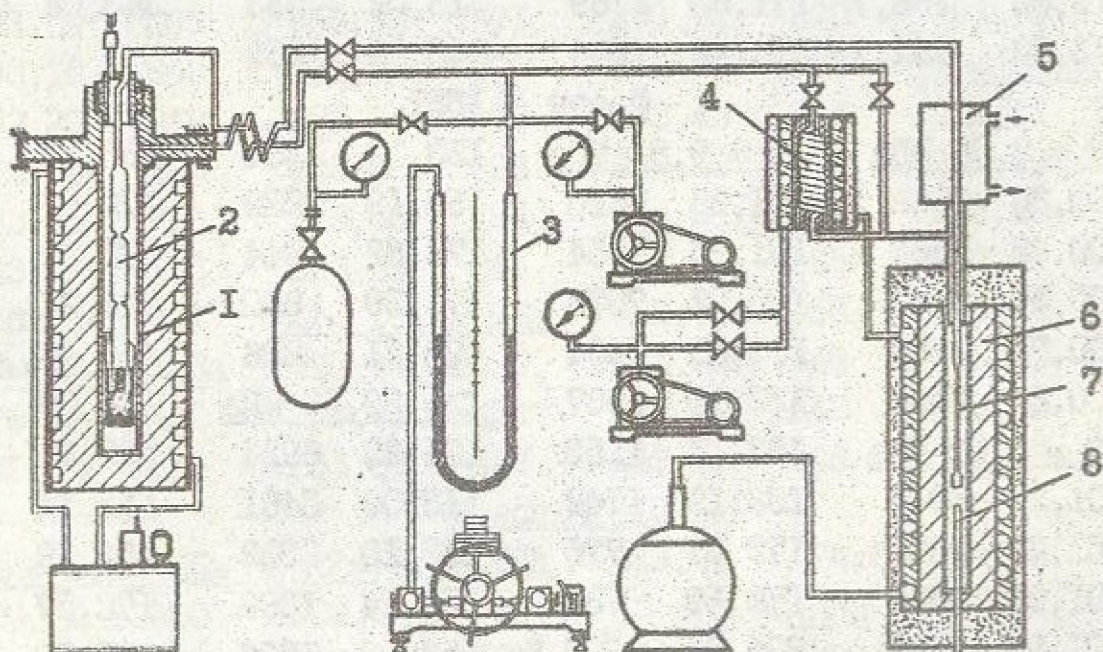


Рис.1. Схема экспериментальной установки

- 1 - вискозиметрический сосуд; 2 - насос-расходомер;  
 3 - разделительный сосуд; 4 - теплообменник;  
 5 - отбойник температуры; 6 - криостат;  
 7 - капилляр; 8 - термометр сопротивления.

Одесский технический институт  
 институт промышленности  
 ленности

V O P 4533