

Автореферат Н
172

ОДЕССКИЙ ИНСТИТУТ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕХНИКИ
И ЭНЕРГЕТИКИ

На правах рукописи

ЛОЗОВСКИЙ Сергей Иванович

УДК 539.55:621.564.2

ВЯЗКОСТЬ СЛОЕНЫХ ХЛАДАГЕНТОВ

Специальность 05.14.05 - теоретические основы
теплотехники

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1990

Работа выполнена в Одесском технологическом институте
пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова

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

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Недоступ В.И.

- кандидат технических наук,
доцент Каменецкий В.Р.

Ведущая организация - ВНИИ "Холодмаш", г. Москва

Защита диссертации состоится " 26 февраля 1990 г.
в 11⁰⁰ часов на заседании специализированного совета
К 068.27.01 при Одесском институте низкотемпературной техники
и энергетики по адресу: 270057, г. Одесса, ул. Петра Великого,
1/3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского
института низкотемпературной техники и энергетики.

Автореферат разослан " 3 января 1990 г.

секретарь
специализированного совета

Р.К. Якульшин

сопротивление с

Подпись Дата

xv 1250
Институт холода
ОНАХТ
Библиотека

3

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Для расчета и проектирования холодильных машин, работающих на смесях агентов, необходимо знать их термодинамические и теплофизические свойства, в частности, коэффициент динамической вязкости. Более того, в настоящее время остро стоит вопрос замены экологически вредных хладагентов в уже существующем холодильном и криогенном оборудовании. Ввиду большого многообразия возможных смесей необходимые сведения об их теплофизических свойствах не могут быть получены только экспериментальным путем, и решение этой задачи - в развитии методов расчета свойств сложных хладагентов на основе обобщения экспериментальной информации.

В связи с этим, целью работы является экспериментальное изучение коэффициента динамической вязкости ряда сложных хладагентов на основе хладагента R22 и разработка методики расчета вязкости смесей.

Диссертационная работа является частью комплексных исследований теплофизических свойств сложных хладагентов, перспективных для холодильной техники, энергетики и химической технологии, проводимых на кафедре теплохладотехники ОТИШ им. М.В. Ломоносова в рамках координационного плана научно-исследовательских работ по комплексной проблеме "Теплофизика и теплоэнергетика" АН СССР и АН УССР - шифр I.9.I.I.

Научная новизна. Научную новизну составили следующие основные результаты:

получены экспериментальные данные о вязкости смесей R22-R12 (с концентрацией R22 0,259; 0,477 и 0,803 мольных долей), R22-R14 ($x_{R22} = 0,215; 0,420$ и $0,830$), R22-R12-R142 ($x_{R22} = 0,237; x_{R12} = 0,236$), R22-R_n-CH₄ ($x_{R22} = 0,620; x_{Rn} = 0,060$) и R22-R12-R142-CO₂ ($x_{R22} = 0,203; x_{R12} = 0,203; x_{R142} = 0,454$) в диапазоне температур 220...440 К и давлений 0,1...20 МПа;

разработан метод расчета вязкости сложных хладагентов в состоянии разреженного газа, требующий для своего использования одной опытной точки для смеси эквимолярного состава;

установлены границы применимости однопараметрического закона соответственных состояний для обобщения вязкости газов и жидкостей в широкой области параметров состояния и обоснован выбор дополнительного критерия подобия - приведенной температуры в трой-

ной точке;

разработана система локальных уравнений для расчета приведенной вязкости через температуру и давление и реализована программа расчета, обеспечивающая автоматический выбор соответствующего уравнения;

разработана методика расчета вязкости сложных хладагентов по минимальной исходной информации на основе системы локальных обобщенных уравнений вязкости.

Практическая ценность работы. Экспериментальные данные о вязкости исследованных смесей могут быть использованы при расчете и проектировании холодильного и криогенного оборудования, работающего на этих сложных хладагентах. Методика расчета коэффициента динамической вязкости и возможность ее дальнейшего совершенствования позволяют до минимума сократить объем экспериментальных исследований и прогнозировать смеси с оптимальными свойствами при заданных параметрах состояния.

Результаты экспериментального исследования сложных хладагентов и методика расчета вязкости использованы в Одесском институте низкотемпературной техники и энергетики при разработке и проектировании теплообменной аппаратуры компрессионных дроссельных систем охлаждения на смесях хладагентов, а также в УкрНИКТИФит при проведении исследований по созданию перспективных систем хладоснабжения бытовых холодильников и морозильников.

Обобщенная методика расчета вязкости сложных хладагентов принята ВНИИ МВ Госстандарта для аттестации в качестве рекомендуемой расчетной методики ГСССД.

В ходе выполнения работы было сформулировано следующее научное положение.

Однопараметрический закон соответственных состояний обеспечивает положительные результаты только при обобщении данных о вязкости умеренно сжатого газа. Для обобщения данных о вязкости плотных газов и жидкостей необходим дополнительный определяющий параметр, в качестве которого может быть использована приведенная температура в тройной точке.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались на Всесоюзной конференции по путям интенсификации производства и применения искусственного холода в отраслях АПК (г. Москва, 1985 г.), IV Всесоюзной научно-практической конференции по метрологическому обеспечению теплофизических измерений (г. Хабаровск,

1985 г.), Всесоюзном совещании-семинаре молодых ученых (г. Алма-Ата, 1985 г.), Всесоюзной научно-практической конференции (г. Ленинград, 1986 г.), II Всесоюзной конференции молодых исследователей (г. Новосибирск, 1987 г.), УП Всесоюзной конференции по теплофизическим свойствам веществ (г. Новосибирск, 1988 г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано девять печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 148 страницах машинописного текста и состоит из введения, трех разделов, выводов, списка использованных источников из 106 наименований, приложения. Работа содержит 60 таблиц, 16 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы диссертации, сформулированы цель работы, научная новизна, практическая ценность, выдвинутые автором научные положения, приводятся сведения о структуре работы.

В первом разделе выполнены краткий обзор и анализ имеющихся в настоящее время экспериментальных данных о коэффициенте динамической вязкости смесей на основе хладонов, рассмотрены и проанализированы методы расчета вязкости смесей в состоянии разреженного газа, плотного газа и жидкости с точки зрения возможности использования для расчета вязкости сложных хладагентов. При этом сделан вывод о недостаточности существующих экспериментальных данных для широкого обобщения и неприемлемости существующих методов для надежного расчета вязкости плотных газов и жидкостей, в связи с чем намечена программа исследований, включающая экспериментальное определение вязкости ряда сложных хладагентов и создание на этой основе обобщенной методики расчета коэффициента динамической вязкости смесей.

Второй раздел посвящен экспериментальным исследованиям. Кратко описана экспериментальная установка для исследования вязкости смесей хладонов, реализующая метод капилляра, изложена методика проведения измерений и расчета вязкости из данных опыта.

Необходимые для вычисления вязкости данные по плотности были рассчитаны по уравнениям состояния. Для смесей R22-R12, R22-R12-R142 и R22-R12-R142-CO₂ использовано обобщенное уравнение Бенедикта-Вебба-Рубина, модифицированное Ли и Кеслером, плотность смеси R22-Ar-CH₄ определялась по уравнению состояния в виральной фор-

ме, полученном обобщением экспериментальных данных, а для смеси В22-В14 плотность рассчитана по уравнению Редлиха-Квонга, модифицированного Вильсоном, перекрестные константы которого для этой смеси определены с использованием экспериментальной информации. Выбранные уравнения обеспечили точность расчета плотности, достаточную для применения в расчетах вязкости из данных опыта.

Дана характеристика индивидуальных компонентов, использованных при составлении смесей, и методика составления сложных хладагентов. Смесей готовились весовым способом на специальном стенде, позволяющем обеспечить заданную концентрацию компонентов. После приготовления состав смеси контролировался с помощью хроматографа "Цвет-100М".

Полученные результаты экспериментальных исследований вязкости сложных хладагентов приведены в виде таблиц опытных данных. На рисунках представлены полученные графической обработкой данных зависимости вязкости от давления (на изотермах), от температуры (на изобарах) и концентрационные зависимости.

При анализе погрешностей экспериментальных данных учитывались неисключенные остатки систематической погрешности и случайные погрешности. При расчете общей относительной погрешности были также учтены погрешности отнесения вязкости к температуре, к давлению и погрешность определения концентрации смеси.

Рассчитаны общие относительные погрешности измерения вязкости в двух экспериментальных точках, которые составили, соответственно, 0,74 и 0,54 %. Расчет погрешностей для других экспериментальных точек показал, что общая относительная погрешность не превышает для вискозиметра конструкции Голубева (У вариант) 1,5 %, а Голубева и Горбачевой (вынесенный капилляр) - 2,0 %.

В третьем разделе проведено обобщение данных о вязкости и разработка методики расчета вязкости сложных хладагентов.

Большинство разработанных к настоящему времени обобщенных методов расчета вязкости в той или иной мере связано с теорией термодинамического подобия. Разрабатывая эту теорию на вязкостные свойства и предполагая, что критерии термодинамического подобия являются "отражением" вида потенциальной функции межмолекулярного взаимодействия, в ряде работ были получены конкретные соотношения для расчета приведенной вязкости как функции от приведенных температуры, давления, плотности в различных сочетаниях. Дальнейшие шаги при разработке обобщений связаны с выбором количества критериев подобия и методов их определения.

Анализ работ последних лет показывает, что обработка данных о температурной зависимости вязкости разреженного газа не требует использования каких-либо дополнительных факторов. Это связано с ее слабой чувствительностью к виду потенциала межмолекулярного взаимодействия.

Для вязкости плотного газа и жидкости для группы термодинамически подобных веществ (с близкими значениями одного из критериев термодинамического подобия) удалось получить единые плотностные или температурно-барические функции. Но на основе анализа данных о вязкости таких веществ сделать вывод о правомочности однопараметрического закона соответственных состояний (ОЗСС) преждевременно. Об этом свидетельствуют и наши расчеты, проведенные для вязкости аргона и метана, имеющих примерно равные значения определяющего параметра по Филиппову ($A = 4,0$), но различное молекулярное строение.

При выборе определяющих параметров мы исходили из следующих соображений. Основным критерий A рассчитывался по методике Филиппова, как $A = 100\mathcal{P}$ при $\mathcal{U} = 0,625$ на кривой давления насыщенных паров, где $\mathcal{P} = p/p_{кр}$ - приведенное давление; $\mathcal{U} = T/T_{кр}$ - приведенная температура; p - давление; $p_{кр}$ - критическое давление; T - температура; $T_{кр}$ - критическая температура. Близкие значения этого параметра для различных веществ свидетельствуют, по мнению Филиппова, с физической точки зрения об одинаковом виде потенциала межмолекулярного взаимодействия, а из геометрических соображений - о совпадении их термодинамических поверхностей в области разреженного и умеренно сжатого газа, то есть в той области параметров, где роль вида функции межмолекулярного взаимодействия очевидна. Таким образом, следует ожидать, что влияние этого параметра будет определяющим и для вязкостных свойств разреженного и умеренно сжатого газа.

Для плотного газа и жидкости необходим учет многочастичных молекулярных взаимодействий, и потому дополнительный параметр (B) должен быть связан с некоторой точкой на термодинамической поверхности жидкости. С другой стороны, необходимо обеспечить возможность определения этого параметра из данных, доступных для подавляющего большинства технически важных веществ. Этим требованиям удовлетворяет тройная точка, при этом следует учесть, что давление в тройной точке весьма мало и определяется из экспериментальных данных с невысокой точностью. Таким образом, в рамках настоящей работы параметр B определялся как $10 \cdot \mathcal{U}_{тр}$, где $\mathcal{U}_{тр} = T_{тр}/T_{кр}$ - приведенная температура в тройной точке; $T_{тр}$ - температура в тройной

точке. Выбор определяющих параметров А и В иллюстрируется рис. 1.

Анализ существующих методов расчета вязкости разреженных газов показал их высокую надежность, за исключением смесей, компоненты которых сильно различаются по молекулярной массе (в основном смеси с гелием и водородом), а также включающих сильно полярные компоненты. Для такого типа смесей нами предложено эмпирическое уравнение вида

$$\eta = \frac{M_1^{0,8} x_1^2 + M_2^{0,8} x_2^2 + (M_1^{0,8} + M_2^{0,8}) x_1 x_2}{M_1^{0,8} x_1^2 / \eta_1 + M_2^{0,8} x_2^2 / \eta_2 + (M_1^{0,8} + M_2^{0,8}) x_1 x_2 / \eta_{12}} \quad (1)$$

где M_i , η_i , x_i - соответственно молекулярная масса, вязкость и мольная доля i -го компонента; η_{12} - вязкость, обусловленная перекрестными взаимодействиями, определяемая из экспериментального значения вязкости смеси эквимольной концентрации с использованием уравнения (1).

Уравнение (1) можно распространить на многокомпонентные смеси, тогда необходимо знание перекрестных бинарных вязкостей.

При анализе температурной зависимости разреженных газовых смесей получено уравнение для расчета приведенной вязкости

$$\eta^* = 1,082T - 0,082T^2, \quad (2)$$

где $\eta^* = \eta_T / \eta_{T=1}$ - приведенная вязкость; η_T - вязкость разреженного газа при температуре T ; $\eta_{T=1}$ - вязкость разреженного газа при температуре $T = T_{кр}$.

Таким образом, используя уравнения (1) и (2), можно рассчитать вязкость смеси в состоянии разреженного газа, имея одно экспериментальное значение η .

Аналитическое описание вязкости плотного газа и жидкости удобно проводить в виде зависимости вязкости от давления и температуры в явном виде. Такой подход имеет несомненные преимущества, поскольку для расчета вязкости не требуется знания уравнений состояния (для смесей такие сведения зачастую отсутствуют) и упрощается процедура вычислений. Однако, ввиду сложности η, ρ, T - поверхности, связанной с наличием минимумов вязкости на изобарах и перегибов на изотермах, получить единое уравнение, описывающее вязкость с достаточной точностью при разумном числе коэффициентов, не представляется возможным.

В связи с этим, вся η, ρ, T - поверхность была разбита на ряд областей таким образом, чтобы внутри них обеспечивался моно-

тонный характер изменения вязкости. Разбиение η, ρ, T - поверхности на области показано на рис. 2. Прямая $\mathcal{E} = I$ отделяет область жидкости от области газа. Кривая 1 на рис. 2 является линией минимумов на изобарах вязкости, кривая 2 соединяет точки перегиба на изотермах вязкости, при этом анализ показал, что линия 2 в координатах \mathcal{E}, \mathcal{E} практически совпадает с критической изохорой вещества.

К нахождению параметров А, В

Области описания вязкости

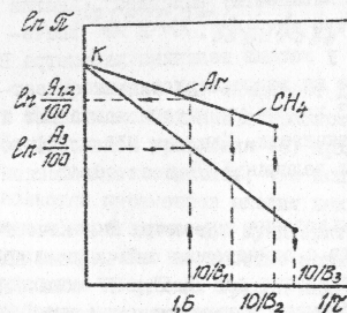


Рис. 1.

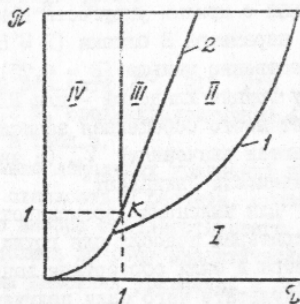


Рис. 2.

Проверка возможностей качественного описания вязкости локальными уравнениями для отдельных областей осуществлялась по данным для аргона.

С целью определения применимости ОЗСС были отобраны две группы веществ, имеющих (для каждой группы) одинаковый или близкий параметр А. В первую группу вошли Ar, Kr, Xe и CH₄ (A ≈ 4,0); во вторую - RII, R12, R13 и R14 (A ≈ 2,2).

Аналитическая обработка данных о вязкости по разным веществам показала, что для области I (см. рис. 2) каждая группа описывается своим обобщенным уравнением. Таким образом, в области умеренно сжатого газа (область I) ОЗСС применим. Обработка данных для веществ с различными значениями параметра А позволила получить обобщенное уравнение вида

$$\eta / \eta_T = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^2 \sum_{k=0}^3 \alpha_{ijk} A^i \epsilon^j \sigma^k. \quad (3)$$

Среднеквадратическая погрешность описания данных о вязкости A_r , VI_4 , $E22$ и C_2H_6 уравнением (3) составила 2,2 %. Коэффициенты уравнения (3) приведены в табл. 1.

Обобщение данных для всех остальных областей показало непротиворечивость ОВСС, то есть влияние параметра B является достаточно ощутимым. При обработке вязкости групп веществ с одинаковыми значениями A выяснилось, что A_r , K_r и X_e "ложатся" на единую обобщенную зависимость, а CH_4 из этой зависимости "выпадает". Анализ данных о кривых упругости показал, что для A_r , K_r и X_e значения параметра B близки ($B \approx 5,6$), а у метана величина параметра B существенно меньше ($B = 4,75$). Такие же закономерности наблюдаются у группы хладонов — для RI_2 и RI_3 кривые упругости совпадают и имеет место обобщенная зависимость вязкости. Хладоны RII и RI_4 отличаются значениями \mathcal{E}_{rp} (а значит, и величиной B) и из обобщенной зависимости "выпадают".

Для выяснения возможности использования параметра B в качестве критерия подобия для групп веществ с одинаковыми значениями параметра A были обработаны данные о вязкости для II, III и IV областей, в результате чего были получены обобщенные уравнения для каждой группы.

Используя экспериментальные значения вязкости ряда веществ с различными значениями A и B (величины параметров подобия для вошедших в обработку веществ и исследуемых смесей даны в табл. 2), нами были получены обобщенные уравнения для различных областей параметров состояния.

Для зоны II обобщенное уравнение получено в виде

$$\ln(\eta/\eta_r) = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 \sum_{k=0}^2 \sum_{l=0}^2 a_{ijkl} B^i A^j \mathcal{E}^k / \mathcal{E}^{2l+1} \quad (4)$$

Это уравнение описывает экспериментальные данные о вязкости A_r , CH_4 , RI_2 , VI_4 , $E22$ и C_2H_6 с максимальной погрешностью 8,0 %, среднеквадратичной — 3,0 %. Коэффициенты уравнения (4) приведены в табл. 3.

Для той же группы веществ для зоны III получено обобщенное уравнение в виде

$$\ln(\eta/\eta_r) = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 \sum_{k=0}^2 \sum_{l=0}^2 a_{ijkl} B^i A^j \mathcal{E}^k / \mathcal{E}^{2l+1} \quad (5)$$

погрешности которого не превышали 8,6 %, среднеквадратичное отклонение составило 3,2 %. Коэффициенты уравнения (5) даны в табл. 4.

Для жидкости (область IV) приведение вязкости осуществлено к значению "реперной" вязкости, определяемой как комплекс из критических параметров с размерностью вязкости $\eta_r = 10^{-4} M^{1/2} P_r^{2/3} T_{cr}^{1/6}$, $мПа \cdot с$. Для области IV обобщенное уравнение имеет вид

$$\ln(\eta/\eta_r) = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 \sum_{k=0}^2 \sum_{l=0}^2 a_{ijkl} B^i A^j \mathcal{E}^k / \mathcal{E}^{2l+1} \quad (6)$$

Уравнение (6) описывает данные о вязкости A_r , RII , VI_3 , VI_4 и $E22$ с максимальной погрешностью 11,2 %, среднеквадратичной 4,3 %. Коэффициенты уравнения (6) приведены в табл. 5.

Следует отметить, что использование локальных уравнений по областям параметров вносит некоторую сложность в расчеты, связанную с необходимостью предварительного выбора соответствующего уравнения. Это неудобство можно преодолеть за счет аналитического описания координат границ между зонами действия уравнений и разработки методики выбора необходимого уравнения с помощью ЭВМ. С этой целью были проанализированы координаты границ между областями описания вязкости и установлено, что граница между зонами I и II (кривая I на рис. 1) практически совпадает для различных веществ и описывается уравнением

$$\mathcal{E} = \sum_{i=0}^2 a_i \mathcal{E}^i \quad (7)$$

где $a_0 = 0,505091 \cdot 10$; $a_1 = -0,100286 \cdot 10^2$; $a_2 = 0,680781 \cdot 10$;
 $a_3 = -0,960220$.

Граница между зонами II и III зависит от параметра A и описывается уравнением

$$\ln A = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 a_{ij} A^i \mathcal{E}^j \quad (8)$$

где $a_{00} = -0,740153 \cdot 10$; $a_{01} = 0,243141 \cdot 10$; $a_{10} = 0,599500$;
 $a_{11} = -0,598014$.

Границей между областями III и IV является изотерма $\mathcal{E} = 1$, а между зоной IV с одной стороны и областями I и II с другой стороны — кривая давления насыщенных паров.

Разработанная система уравнений была апробирована для расчета вязкости двух- и многокомпонентных смесей, включающих инертные

газы и углекислоты. Принципиально возможны два подхода к определению свойств смесей. Первый из них заключается в комбинировании по соответствующим моделям численных значений вязкости индивидуальных компонентов, составляющих смесь, либо в комбинировании констант соответствующего уравнения вязкости. Второй подход связан с "одножидкостным" приближением. В этом случае смесь фиксированной концентрации представляется гипотетическим чистым веществом, параметры подобия которого могут быть определены из критериев подобия индивидуальных компонентов с использованием соответствующих правил комбинирования.

Анализ показал, что первый подход может дать приемлемые результаты только для смесей, включающих компоненты с близкими значениями критических параметров. Если критические параметры (в частности, температура) существенно различаются, то для такой смеси существует область параметров состояния, в которой сама смесь и один из ее компонентов при одних и тех же температурах и давлениях находятся в разных фазах. В этом случае комбинирование собственных значений вязкости или констант вязкостных уравнений приведет к заведомо неверным результатам.

В связи с этим при составлении методики расчета вязкости смесей нами был использован второй подход. Проверка методики осуществлялась по экспериментальным данным исследованных нами смесей. Определяющий параметр A , "реперная" вязкость η_r и температура в тройной точке T_{tr} были найдены аддитивным комбинированием значений для индивидуальных компонентов, приведенных в табл. 2. Вся исходная для расчета вязкости смесей информация представлена в табл. 2.

Расчет вязкости смесей осуществлялся на ЭВМ СМ-4. При расчете вязкости вводятся значения давления, температуры, критических и определяющих параметров, "реперной" вязкости η_r и вязкости разреженного газа η_g . При этом для расчета вязкости разреженного газа может быть использована как разработанная нами методика, так и другие расчетные методы, обеспечивающие необходимую точность вычислений.

В случае необходимости возможно согласование значений вязкости, рассчитанных по различным уравнениям на границах зон их действия.

Анализ результатов расчета вязкости исследованных нами смесей и их сопоставления с экспериментом показал, что среднее квадратическое отклонение расчета от эксперимента составило 4,6%. Это является достаточным для анализа и расчета холодильных циклов.

ВЫВОДЫ

1. Имеющиеся в литературе экспериментальные данные о коэффициенте динамической вязкости сложных хладагентов недостаточно для широкого обобщения.

2. Существующие расчетные методы не позволяют определять вязкость смесей с точностью, необходимой для проектных расчетов холодильного оборудования.

3. Полученные экспериментальные данные о вязкости смесей R22-R12, R22-R14, R22-R12-R142, R22-N₂-CH₄ и R22-R12-R142-CO₂, надежность которых подтверждается контрольными опытами по чистым веществам и расчетом погрешностей, могут быть использованы при расчете холодильной и криогенной техники, работающей на этих смесях.

4. Однопараметрический закон соответственных состояний применим при обобщении вязкости только для умеренно сжатых газов (область I на рис. 2), для плотных газов и жидкостей необходимо использовать двухпараметрические обобщения.

5. В качестве дополнительного параметра подобия для вязкости может использоваться приведенная температура в тройной точке.

6. Разработанный метод расчета вязкости разреженных газовых смесей и методика расчета приведенной вязкости могут применяться при расчетах холодильной и криогенной техники, а также для прогнозирования смесей с необходимыми свойствами.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Теплофизические свойства новых рабочих веществ холодильных машин /В.З. Геллер, Г.В. Запорожан, С.И. Лозовский, В.Н. Халайджи //Тезисы докл. Всесоюз. конф. "Пути интенсификации производства и применение искусственного холода в отраслях АПК". -М.: 1985. -С. 37.

2. Геллер В.З., Запорожан Г.В., Лозовский С.И. Теплофизические свойства новых рабочих веществ холодильных машин //Тез. докл. Всесоюз. науч.-практ. конф. "Интенсификация производства и применение искусственного холода". -Ленинград, 1986. -С. 32-33.

3. Вязкость многокомпонентного хладагента R22-B50-R740 /С.И. Лозовский, В.Н. Халайджи. -Одесса, 1986, -7 с. -Деп. в УкрНИИХТИ 23.09.86, № 2297-Укр86.

4. Обобщение данных о вязкости одно- и многокомпонентных хладагентов /В.Ф. Чайковский, В.З. Геллер, Г.В. Запорожан, В.Н. Халайджи, С.И. Лозовский //Изв. вузов. Энергетика. -1987. -№ 11. -С. 89-92.

5. Теплофизические свойства многокомпонентных хладагентов /В.З.Геллер, Г.В.Запорожан, С.И.Лозовский и др.//Тез. докл. VIII Всесоюз. конф. по теплофизическим свойствам веществ.-Новосибирск, 1988. -С.149.

6. Запорожан Г.В., Лозовский С.И., Кобылянский И.А. Теплофизические свойства сложных хладагентов //Тез. докл. на IX Всесоюз. теплофизической школе. -Тамбов, 1988. -С.109.

7. Запорожан Г.В., Кобылянский И.А., Лозовский С.И. Свойства переноса смеси хладонов R14-R22 //Теплофизические свойства рабочих тел и процессы криогенной техники. -Л.: 1988. -С.29-34.

Таблица 1.
Коэффициенты уравнения (3)

i \ j	a_{ijk} при κ					
	0	1	1	2	1	3
0 0	$0,1175178 \cdot 10$	$-0,2761029$	$0,1193548$	$-0,1493626 \cdot 10^{-1}$		
0 1	$0,2496712 \cdot 10$	$-0,3484330 \cdot 10$	$0,1469421 \cdot 10$	$-0,1861990$		
0 2	$0,1699630$	$-0,8314069 \cdot 10^{-2}$	$-0,4854062 \cdot 10^{-1}$	$0,9773047 \cdot 10^{-2}$		
1 0	$-0,3532795 \cdot 10^{-1}$	$0,5680008 \cdot 10^{-1}$	$-0,2681471 \cdot 10^{-1}$	$0,3533225 \cdot 10^{-2}$		
1 1	$-0,5398023$	$0,8261080$	$-0,3594319$	$0,4610525 \cdot 10^{-1}$		
1 2	$-0,4528696 \cdot 10^{-1}$	$0,4043714 \cdot 10^{-2}$	$0,1172516 \cdot 10^{-1}$	$-0,2417727 \cdot 10^{-2}$		

Таблица 2.
Значения определяющих параметров и "реперной" вязкости

Вещество, смесь	! A	! B	! η_p , мкПа·с
Ar	4,0	5,55	7,90
Kr	4,0	5,53	11,70
Xe	4,1	5,57	14,41
CH ₄	3,95	4,75	4,63
C ₂ H ₆	2,89	2,94	6,08
CO ₂	1,86	7,12	9,70
R11	2,10	3,44	11,23
R12	2,19	3,05	10,48
R13	2,20	3,04	9,72

Продолжение табл. 2

Вещество, смесь	! A	! B	! η_p , мкПа·с
R14	2,19	3,94	9,16
R22	1,91	3,13	10,14
R142	1,79	3,47	9,56
R22-R12 ($x_1 = 0,259$)	2,12	3,07	10,39
R22-R12 ($x_1 = 0,477$)	2,06	3,09	10,32
R22-R12 ($x_1 = 0,803$)	1,97	3,12	10,21
R22-R14 ($x_1 = 0,215$)	2,13	3,70	9,37
R22-R14 ($x_1 = 0,42$)	8,07	3,47	9,57
R22-R14 ($x_1 = 0,83$)	1,96	3,17	9,97
R22-R12-R142	1,91	3,27	9,91
($x_1 = 0,237$; $x_2 = 0,236$)			
R22-Ar-CH ₄	2,69	3,15	8,24
($x_1 = 0,62$; $x_2 = 0,06$)			
R22-R12-R142-CO ₂	1,91	3,65	9,88
($x_1 = 0,203$; $x_2 = 0,203$; $x_3 = 0,454$)			

Таблица 3
Коэффициенты уравнения (4)

i \ j \ k	a_{ijkl} при ν			
	0	1	1	2
0 0 0	$-0,2365718 \cdot 10^2$	$0,2941433 \cdot 10^2$	$-0,1042562 \cdot 10^2$	
0 0 1	$0,1066461 \cdot 10$	$0,1711728 \cdot 10^2$	$-0,7603786 \cdot 10$	
0 0 2	$-0,6555778 \cdot 10^{-1}$	$0,4283341$	$-0,5097770 \cdot 10$	
0 1 0	$0,7259926 \cdot 10$	$-0,9727687 \cdot 10$	$0,3463345 \cdot 10$	
0 1 1	$-0,4420099$	$-0,4805296 \cdot 10$	$0,2627475 \cdot 10$	
0 1 2	$0,2791742 \cdot 10^{-1}$	$-0,1082195$	$0,1437300 \cdot 10$	
1 0 0	$0,5769658 \cdot 10$	$-0,6939631 \cdot 10$	$0,1856350 \cdot 10$	
1 0 1	$-0,2190503$	$-0,4638341 \cdot 10$	$0,3006127 \cdot 10$	
1 0 2	$0,4273341 \cdot 10^{-2}$	$0,4205057 \cdot 10^{-1}$	$0,9674065$	
1 1 0	$-0,1650047 \cdot 10$	$0,2067871 \cdot 10$	$-0,5979393$	
1 1 1	$0,8638257 \cdot 10^{-1}$	$0,1232950 \cdot 10$	$-0,7987144$	
1 1 2	$-0,3486429 \cdot 10^{-2}$	$-0,4202952 \cdot 10^{-2}$	$-0,2767374$	

XV 1250

16

ІНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
бібліотека

Таблиця 4

Коефіцієнти уравнения (5)

i	j	k	C _{ijkl} при l				
			0	1	I	!	2
0	0	0	-0,1027135 · 10 ³	0,1869802 · 10 ³	-0,9043151 · 10 ²		
0	0	I	0,3541277 · 10 ²	-0,5081409 · 10 ²	0,2072979 · 10 ²		
0	0	2	-0,2345286 · 10	0,2204616 · 10	-0,1360412		
0	I	0	0,3598165 · 10 ²	-0,6465682 · 10 ²	0,3034997 · 10 ²		
0	I	I	-0,1272780 · 10 ²	0,1802568 · 10 ²	-0,8706288 · 10		
0	I	2	0,8252995	-0,5090821	-0,1881454		
I	0	0	0,1695241 · 10 ²	-0,3168753 · 10 ²	0,1561532 · 10 ²		
I	0	I	-0,6201585 · 10	0,9181297 · 10	-0,3514527 · 10		
I	0	2	0,4 19831	-0,2690987	-0,8849307 · 10		
I	I	0	-0,6648424 · 10	0,1178304 · 10 ²	-0,5506810 · 10		
I	I	I	0,2347960 · 10	-0,3126236 · 10	0,1016033 · 10		
I	I	2	-0,1426953	0,4007107 · 10 ⁻¹	0,8183317 · 10 ⁻¹		

Таблиця 5

Коефіцієнти уравнения (6)

i	j	k	C _{ijkl} при l				
			0	!	I	!	2
0	0	0	0,2591104 · 10	-0,1063570 · 10 ²	0,1172195 · 10 ²		
0	0	I	0,1473441 · 10	0,4062531 · 10	-0,5621642 · 10		
0	0	2	-0,3301261 · 10 ⁻¹	-0,5520277 · 10 ⁻¹	0,8009824		
0	I	0	-0,8165736	0,3709678 · 10	-0,4566297 · 10		
0	I	I	-0,1150109	-0,5863560 · 10 ⁻¹	0,9491344		
0	I	2	0,2457799 · 10 ⁻¹	-0,6750067 · 10 ⁻¹	-0,2055832		
I	0	0	-0,6671301	0,2570807 · 10	-0,2616096 · 10		
I	0	I	0,2571186	-0,9138600	0,1045507 · 10		
I	0	2	0,1796911 · 10 ⁻¹	-0,1919813 · 10 ⁻¹	-0,1034291		
I	I	0	0,1912750	-0,7966031	0,8975730		
I	I	I	-0,4311358 · 10 ⁻¹	0,1464596	-0,2390629		
I	I	2	-0,3768095 · 10 ⁻²	0,1227936 · 10 ⁻¹	0,3366038 · 10 ⁻¹		

г. Одесса, роталит ОИМТЭ. Подписано в печати 28.12.89.
БР-02176. Объем 1,0 п.л. тираж 100. Заказ 1533-89.