



IUPAC

PROPYLENE (PROPENE

**INTERNATIONAL THERMODYNAMIC
TABLES OF THE FLUID STATE — 7**

Pergamon Press

INTERNATIONAL UNION OF
PURE AND APPLIED CHEMISTRY

CHEMICAL DATA SERIES NO. 25

DIVISION OF PHYSICAL CHEMISTRY
COMMISSION ON THERMODYNAMICS
THERMODYNAMIC TABLES PROJECT

International Thermodynamic Tables of the Fluid State—7 Propylene (Propene)

Edited and compiled at the Project Centre, London, UK, by

S. ANGUS
B. ARMSTRONG
K. M. de REUCK



PERGAMON PRESS

OXFORD · NEW YORK · TORONTO · SYDNEY · PARIS · FRANKFURT

U.K.	Pergamon Press Ltd., Headington Hill Hall, Oxford OX3 0BW, England
U.S.A.	Pergamon Press Inc., Maxwell House, Fairview Park, Elmsford, New York 10523, U.S.A.
CANADA	Pergamon of Canada, Suite 104, 150 Consumers Road, Willowdale, Ontario M2J 1P9, Canada
AUSTRALIA	Pergamon Press (Aust.) Pty. Ltd., P.O. Box 544, Potts Point, NSW 2011, Australia
FRANCE	Pergamon Press SARL, 24 rue des Ecoles, 75240 Paris, Cedex 05, France
FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY	Pergamon Press GmbH, 6242 Kronberg/Taunus, Hammerweg 6, Federal Republic of Germany

Copyright © 1980 International Union of Pure and Applied Chemistry

All Rights Reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means: electronic, electrostatic, magnetic tape, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without permission in writing from the copyright holders

First edition 1980

British Library Cataloguing in Publication Data

Thermodynamic Tables Project

International thermodynamic tables of the fluid state.

7 : Propylene (propene).—(International Union of Pure and Applied Chemistry. Chemical data series; no. 25).

1. Fluids—Thermal properties—Tables

2. Thermodynamics—Tables

I. Title II. Angus, Selby III. Armstrong, Barrie

IV. De Reuck, K. M. V. Series

536'.7 QC145.4.T5 79-41457

ISBN 0-08-022373-7

Printed and bound in Great Britain by William Clowes (Beccles) Limited, Beccles and London

**International Thermodynamic Tables
of the Fluid State—7
Propylene (Propene)**

INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY

IUPAC Secretariat: Bank Court Chambers, 2-3 Pound Way
Cowley Centre, Oxford OX4 3YF, UK

International Thermodynamic Tables of the Fluid State

Volume 1. Argon

Volume 2. Ethylene

Volume 3. Carbon Dioxide

Volume 4. Helium

Volume 5. Methane

Volume 6. Nitrogen

Volume 7. Propylene (Propene)

A full list of titles in the Chemical Data
Series is to be found on page 401.

NOTICE TO READERS

Dear Reader

If your library is not already a standing-order customer or subscriber to the Chemical Data Series, may we recommend that you place a standing order or subscription order to receive immediately upon publication all new volumes published in this valuable series. Should you find that these volumes no longer serve your needs your order can be cancelled at any time without notice.

Robert Maxwell
Publisher at Pergamon Press

Preface

The Thermodynamic Tables Project was inaugurated in 1963 by the Commission on Thermodynamics and Thermochemistry of the Division of Physical Chemistry of the International Union of Pure and Applied Chemistry with the object of compiling internationally agreed values of the equilibrium thermodynamic properties of liquids and gases of interest to both scientists and technologists. The range to be covered for each fluid is that for which there exist reliable experimental data, and the agreed values will be issued as tables upon the basis of which users may produce equations suited to their own special requirements. Tables on argon, ethylene, carbon dioxide, helium, methane and nitrogen have already appeared.

The general policy of the Project is formulated by a Sub-Committee appointed by IUPAC and currently consisting of:

Dr. J. D. Cox (Chairman)	Professor F. Kohler
Dr. S. Angus	Dr. A. Kozlov
Dr. H. V. Kehiaian	Dr. S. Malanowski
Professor J. Kestin	Dr. H. J. White, Jr.

The work of the Project is co-ordinated and assisted by a small permanent Project Centre under the direction of Dr. S. Angus, located at Imperial College of Science and Technology, London.

London
October 1979

J. D. COX
on behalf of the IUPAC Sub-Committee on
Thermodynamic Tables

Préface

Le Projet relatif aux Tables de Valeurs Thermodynamiques a été mis en place en 1963 par la Commission de Thermodynamique et de Thermochimie, de la Division de Chimie Physique de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée, dans le but de rassembler des valeurs acceptées sur le plan international, de propriétés thermodynamiques d'équilibre de liquide et de gaz présentant un intérêt à la fois pour les scientifiques et les techniciens. Le domaine couvert pour chaque fluide est celui pour lequel il existe des valeurs expérimentales valables; les valeurs acceptées seront publiées sous forme de tables, à l'aide desquelles les utilisateurs pourront formuler des équations adaptées à leurs propres besoins.

Des tables pour l'argon, l'éthylène, le dioxyde de carbone, l'hélium, le méthane et l'azote ont déjà été publiées.

L'orientation générale du Projet est définie par une sous-commission désignée par l'IUPAC et composée actuellement de

M. le Docteur J. D. Cox (Président)	M. le Professeur F. Kohler
M. le Docteur S. Angus	M. le Docteur A. D. Kozlov
M. le Docteur H. B. Kehiaian	M. le Docteur S. Malanovski
M. le Professeur J. Kestin	M. le Docteur H. J. White, Jr.

Le développement du Projet est assumé et coordonné par un petit centre permanent d'étude sous la direction du Docteur S. Angus, situé à l'Imperial College of Science and Technology, à Londres.

Londres
Octobre 1979

J. D. COX
au nom de la Sous-commission
des Tables Thermodynamiques
de l'IUPAC

Vorwort

Das Projekt "Thermodynamische Tafeln" wurde 1963 von der Kommission für Thermodynamik und Thermochemie der Abteilung für Physikalische Chemie der International Union of Pure and Applied Chemistry begonnen mit dem Ziel, international anerkannte Werte für die thermodynamischen Gleichgewichtseigenschaften von Flüssigkeiten und Gasen zusammenzustellen, die für Wissenschaft und Technik von Interesse sind. Der Zustandsbereich, der für jedes Fluid erfaßt werden soll, wird dabei durch den Existenzbereich zuverlässiger experimenteller Werte bestimmt. Die anerkannten Werte sollen in Tafeln veröffentlicht werden; darauf aufbauend können die Benutzer Gleichungen aufstellen, die für ihre besonderen Bedürfnisse geeignet sind. Tafeln für Argon, Äthylen, Kohlendioxyd, Helium, Methan und Stickstoff sind schon herausgegeben worden.

Die allgemeine Zielsetzung des Projekts wird von einer durch die IUPAC eingesetzten Unterkommission bestimmt, die zur Zeit aus folgenden Mitgliedern besteht:

Dr. J. D. Cox (Vorsitzender)	Professor F. Kohler
Dr. S. Angus	Dr. A. D. Kozlov
Dr. H. V. Kehiaian	Dr. S. Malanowski
Professor J. Kestin	Dr. H. J. White, Jr.

Die Arbeit am Projekt wird von einem kleinen, permanent besetzten Projektzentrum koordiniert und unterstützt, welches unter der Leitung von Dr. S. Angus am Imperial College of Science and Technology in London besteht.

London
October 1979

J. D. COX
im Namen des IUPAC-Subkomitees
für Thermodynamische Tafeln

Предисловие

Проект термодинамических таблиц был создан в 1963 г. Комиссией по термодинамике и термохимии отдела физической химии Международной унии теоретической и прикладной химии с целью составить во всем мире утвержденные величины равновесия термодинамических свойств жидкостей и газов, которые представляют интерес как для ученых, так и для технических работников. Диапазон для каждой жидкости определен наличием надежных экспериментальных данных; утвержденные величины будут изданы в виде таблиц, по которым могут потребители составлять уравнения, удовлетворяющие их специальные требования.

Таблицы по аргону, этилену, окиси углерода, гелию, у мегани азоту были уже опубликованы.

Характеристика этого проекта формулируется субкомиссией, наэхаченной IUPAC, состав которой в настоящее время следующий:

Д-р Й. Д. Кокс (председатель)	Проф. Ф. Колер
Д-р С. Ангус	Д-р А. Д. Козлов
Д-р Х. В. Кехиайан	Д-р С. Малановски
Проф. Й. Кестин	Д-р Х. Й. Уайт, мл

Работа над этим проектом координируется с помощью небольшого постоянного проектного центра под руководством д-ра С. Ангуса; центр находится в Империял Колидж в Лондоне.

Лондон
октябрь, 1979

Й. Д. КОКС
от имени субкомиссии IUPAC
по термодинамическим таблицам

Introduction

The Aliphatic Hydrocarbons Working Panel comprises:

Dr. D. R. Douslin	Bartlesville Energy Research Center, USA
Professor P. T. Eubank	Texas A & M University, USA
Mr. R. D. Goodwin	National Bureau of Standards (Cryogenics Division), Boulder, USA
Dr. F. Lazarre	Société Nationale des Pétroles d'Aquitaine, France
Professor J. E. Powers	University of Michigan, USA
Professor D. S. Viswanath	Indian Institute of Science, Bangalore, India
Professor V. A. Zagoruchenko	Odessa Institute of Marine Engineers (OIIMF), USSR

In 1972 the IUPAC Thermodynamic Tables Project published tables of the thermodynamic properties of ethylene⁽⁵¹⁾ which showed that the experimental base was smaller than had been realized. The need for accurate tables is such that a research project was put into effect in the USA, backed by several firms who are major users and makers of ethylene in order to provide accurate data over a wider region. The extent of knowledge of the thermodynamic properties of propylene is not dissimilar to that for ethylene, and the use of propylene in industry is increasing steadily, so it seemed timely to add propylene to the list of fluids studied.

Three studies on propylene have been published recently. One is by a group at the Kiev Institute of Technology,⁽¹⁾ who critically examined all data published before 1968 and used a combination of analytical and graphical techniques to produce tables of the thermodynamic and transport properties which accurately represent the available experimental data.

The second, by Bender⁽⁴⁶⁾ of Kaiserlautern University, showed that accurate tables could be constructed from a single equation of state, containing 20 coefficients, which is valid over a fairly limited range of parameters.

The third by Juza, Sifner and Hoffer⁽⁴⁷⁾ of the Institute of Thermomechanics, Prague, also produces accurate tables over a limited range from a single equation of state containing 33 coefficients.

On the basis of these publications, the IUPAC Project Centre has produced tables from an equation of state which takes in the widest range of accurate experimental data. The equation was constructed using an adaptation by de Reuck and Armstrong⁽⁵⁰⁾ of the regression technique developed by Wagner.^(49, 49a, 49b, 49c) This regression method has made it possible to represent the data over a considerably extended range of parameters with an equation of state containing 22 coefficients.

Thermodynamic consistency between the various properties tabulated is assured if the available data are used to prepare an equation representing the Helmholtz free energy as a function of density and temperature, from which the other properties can

be evaluated by mathematical manipulation. The Helmholtz free energy cannot be measured directly, but properties derived from it can be written as

$$X(\rho_2, T_2) = X_0 + \int_{T_1}^{T_2} X_1(T)C(T) dT + \int_{\rho_1}^{\rho_2} X_2(\rho, T) d\rho,$$

where $C(T)$ is a function representing the variation of a heat capacity with temperature; $X_1(T)$ is a simple multiplier depending on the property X ; $X_2(\rho, T)$ is derived from an equation of state, $P = P(\rho, T)$, and X_0 is a constant; and all these terms are accessible to experiment.

It is convenient to take $C(T)$ as the variation of the isobaric heat capacity in the ideal gas state. When this is done, the lower limit of the density integral, ρ_1 , becomes zero. The ideal gas heat capacity function, $C(T)$, the temperature integrals resulting from it and the choice of X_0 are all dealt with in Section 2.1.

The major portion of Section 1 of the text of this book is concerned with the discussion of the available data, and the way in which equations of state, $P(\rho, T)$, were constructed from them is dealt with in Section 2. Section 3 explains how the tabulated properties were calculated from the chosen equation. In addition, the available data and equations correlating them are discussed for the saturation curve and the melting curve.

The tables presented here give the volume, entropy, enthalpy, isobaric heat capacity, compression factor, fugacity/pressure ratio, Joule-Thomson coefficient, ratio of the heat capacities and speed of sound as a function of pressure and temperature; and the pressure, entropy, internal energy and isochoric heat capacity as functions of density and temperature for the gas and liquid states from 0.025 MPa to 1000 MPa at temperatures from 90 K to 475 K, and from 0.025 MPa to 10 MPa, 475 K to 575 K. Zero pressure tables are given, as are tables of the properties of the fluid phases along the saturation curve and the melting curve.

Equations which reproduce these properties within these limits are given, as well as estimates of uncertainty of some of the principal properties listed.

Introduction

Le Groupe de travail "Hydrocarbures aliphatiques" est composé de:

M. le Docteur D. R. Douslin	Bartlesville Energy Research Center, E-U
M. le Professeur P. T. Eubank	Texas A & M University, E-U
M. le Docteur R. D. Goodwin	National Bureau of Standards (Cryogenics Division), Boulder, E-U
M. le Docteur F. Lazarre	Société Nationale des Pétroles d'Aquitaine, France
M. le Professeur J. E. Powers	University of Michigan, E-U
M. le Professeur D. S. Viswanath	Indian Institute of Science, Bangalore, Inde
M. le Professeur V. A. Zagoruchenko	Odessa Institute of Marine Engineers (OIIMF), URSS

Les tables des propriétés thermodynamiques de l'éthylène⁽⁵¹⁾ ont été publiées en 1972, dans le cadre du Projet relatif aux Tables de Grandeurs Thermodynamiques de l'IUPAC.

Il a été mis en évidence, à cette occasion, que les données de bases expérimentales étaient moins importantes qu'on aurait pu l'espérer.

Le besoin de données précises était tel, qu'un projet de recherches, appuyé par plusieurs Sociétés, qui produisent et utilisent l'éthylène, fut lancé aux E-U, dans le but de fournir des données dans un domaine plus large. Le domaine de connaissance des propriétés thermodynamiques du propylène n'est pas très différent de celui de l'éthylène; comme l'utilisation du propylène dans l'industrie croît régulièrement, il a semblé opportun d'ajouter le propylène à la liste des fluides étudiés.

Trois études sur le propylène ont été publiées récemment:

La première, provenant de l'Institut de Technologie de Kiev,⁽¹⁾ fait un examen critique de toutes les données publiées avant 1968, et en utilisant une combinaison de techniques analytique et graphique, propose des tables des propriétés thermodynamiques et de transport, qui représentent avec précision les données expérimentales disponibles.

La seconde, dont l'auteur est Bender⁽⁴⁶⁾ de l'Université de Kaiserslautern, montre que des tables précises pourraient être construites à partir d'une seule équation d'état, comportant 20 coefficients, et valable dans un domaine assez limité.

La troisième, par Juza, Sifner et Hoffer⁽⁴⁷⁾ de l'Institut de Thermomécanique, Prague, produit aussi de tables exactes dans un domaine limité à partir d'une seule équation d'état comportant 33 coefficients.

Sur la base de ces publications, le Centre d'Etude IUPAC publie des tables obtenues à partir d'une équation d'état qui tient compte d'un maximum de données expérimentales précises. L'équation a été construite en utilisant une adaptation par de Reuck et Armstrong⁽⁵⁰⁾ de la technique de régression développée par

Wagner.^(49, 49a, 49b, 49c) Cette méthode de régression a fourni une équation d'état contenant 22 coefficients, et qui représente les données dans un domaine très étendu.

Un moyen d'assurer la cohérence thermodynamique des diverses grandeurs tabulées est de construire, à partir des points expérimentaux, une équation donnant l'enthalpie libre de Helmholtz en fonction de la densité molaire et de la température. Les autres grandeurs sont ensuite dérivées d'un traitement mathématique de cette équation.

L'enthalpie libre ne peut pas être mesurée directement mais toute grandeur qui en dérive peut s'écrire:

$$X(\rho_2, T_2) = X_0 + \int_{T_1}^{T_2} X_1(T)C(T) dT + \int_{\rho_1}^{\rho_2} X_2(\rho, T) d\rho,$$

où $C(T)$ est une représentation mathématique de la variation d'une chaleur spécifique en fonction de la température, $X_1(T)$ est un simple facteur multiplicatif de la fonction de la nature de la grandeur X , $X_2(\rho, T)$ est obtenu à partir d'une équation d'état $P = P(\rho, T)$, et X_0 est une constante; tous les paramètres précités sont mesurables.

Il est commode de choisir $C(T)$ comme la variation de la chaleur spécifique à pression constante dans l'état gazeux parfait. Dans ce cas la limite inférieure ρ_1 de l'intégrale de densité devient égale à zéro.

On trouvera dans le paragraphe 2.1 l'équation donnant la chaleur spécifique dans l'état gazeux idéal, les intégrales de température qui en résultent, et le choix retenu pour X_0 .

La majeure partie de la Section 1 du texte de ce livre est relative à la discussion des données disponibles, la Section 2 traitant de la manière dont les équations d'état ont été construites à partir de ces données. La Section 3 précise comment ont été calculées les propriétés à partir de l'équation choisie. De plus, on y présente une discussion des données disponibles relatives à la courbe de saturation et à la courbe de fusion, ainsi que des équations les corrélant.

Les tables présentées ici donnent le volume, l'entropie, l'enthalpie, la chaleur spécifique à pression constante, le facteur de compressibilité, le rapport de la fugacité à la pression, le coefficient de Joule-Thomson, le rapport des chaleurs spécifiques et la vitesse du son en fonction de la pression et de la température; sont données également la pression, l'entropie, l'énergie intense et la chaleur spécifique à volume constant en fonction de la densité et de la température pour les volumes phases gazeuse et liquide de 0,025 MPa à 1000 MPa à des températures de 90 K à 475 K, et de 0,025 MPa à 10 MPa, pour des températures de 475 K à 575 K.

On donne également des tables de valeurs à pression nulle ainsi que des tables de propriétés des deux phases le long de la courbe de saturation et de la courbe de fusion.

On donne des représentations analytiques de ces propriétés dans les limites citées ainsi qu'une estimation des incertitudes relatives aux principales grandeurs tabulées.

Einleitung

Der Arbeitsausschuß für aliphatische Kohlenwasserstoffe besteht aus:

Dr. D. R. Douslin	Bartlesville Energy Research Center, USA
Professor P. T. Eubank	Texas A & M University, USA
Dr. R. D. Goodwin	National Bureau of Standards (Cryogenic Division), Boulder, USA
Dr. F. Lazarre	Société Nationale des Pétroles d'Aquitaine, Frankreich
Professor J. E. Powers	University of Michigan, USA
Professor D. S. Viswanath	Indian Institute of Science, Bangalore, Indien
Professor V. A. Zagoruchenko	Odessa Institute of Marine Engineers (OIIMF), UdSSR

Im Jahre 1972 veröffentlichte das IUPAC-Projekt "Thermodynamische Tafeln" Tabellen der thermodynamischen Eigenschaften von Äthylen⁽⁵¹⁾, welche zeigten, daß die experimentelle Basis dafür schwächer war als ursprünglich angenommen. Das Bedürfnis nach genauen Tabellen ist so stark, daß ein Forschungsprojekt in den USA ins Leben gerufen wurde—mit Unterstützung einiger Firmen, welche Äthylen herstellen oder benutzen—, um genaue Daten über ein größeres Gebiet zur Verfügung zu haben. Das Ausmaß unserer Kenntnis der thermodynamischen Eigenschaften von Propylen ist nicht sehr verschieden von dem für Äthylen, und der Einsatz von Propylen in der Industrie wächst ständig, daher schien es an der Zeit, Propylen auf die Liste der untersuchten Fluide zu setzen.

Drei Arbeiten über Propylen sind kürzlich erschienen. Die eine⁽¹⁾ des Instituts für Technologie, Kiew, prüfte kritisch alle vor 1968 publizierten Daten und benutzte eine Kombination von analytischen und graphischen Techniken, um Tabellen der thermodynamischen Eigenschaften und der Transporteigenschaften herzustellen, welche die verfügbaren experimentellen Daten genau wiedergeben.

Die zweite Arbeit stammt von Bender,⁽⁴⁶⁾ Universität Kaiserslautern, und zeigt, daß genaue Tabellen aufgrund einer einzigen empirischen Zustandsgleichung, welche 20 Koeffizienten enthält, innerhalb eines nicht zu ausgedehnten Bereichs erstellt werden können.

Die dritte Studie, die von Juza, Sifner und Hoffer⁽⁴⁷⁾ am Institut für Thermomechanik in Prag verfasst wurde, ermöglicht ebenfalls die Erstellung genauer Tabellen in einem begrenzten Bereich; es wird eine einzige Gleichung mit 33 Koeffizienten verwendet.

Auf der Basis dieser beiden Publikationen hat das IUPAC-Projekt-Centre nun Tabellen hergestellt mittels einer Zustandsgleichung, welche den größten Bereich der genauen experimentellen Daten berücksichtigt. Zur Aufstellung der Gleichung wurde von de Reuck und Armstrong⁽⁵⁰⁾ ihre Anpassung der von Wagner^(49, 49a, 49b, 49c.) entwickelten Regressionstechnik verwendet. Diese Regressionsmethode ermöglichte die Wiedergabe

der Daten über einem erheblich erweiterten Bereich der Variablen mit einer Zustandsgleichung von 22 Koeffizienten.

Thermodynamische Konsistenz zwischen den verschiedenen tabellierten Zustandsgrößen ist dann gewährleistet, wenn aus den vorhandenen Meßwerten eine Gleichung aufgestellt wird, welche die Helmholtz'sche Energie in Abhängigkeit von der Dichte und der Temperatur wiedergibt. Alle anderen thermodynamischen Zustandsgrößen können dann durch mathematische Operationen aus dieser Gleichung berechnet werden. Die freie Energie kann zwar nicht direkt gemessen werden, aber jede aus ihr ableitbare Zustandsgröße X kann in der Form

$$X(\rho_2, T_2) = X_0 + \int_{T_1}^{T_2} X_1(T) C(T) dT + \int_{\rho_1}^{\rho_2} X_2(\rho, T) d\rho$$

geschrieben werden. Dabei ist $C(T)$ eine Beziehung für die Temperaturabhängigkeit einer Wärmekapazität; $X_1(T)$ ist ein Multiplikator, der von der Art der Zustandsgröße X abhängt; die Funktion $X_2(\rho, T)$ läßt sich aus der thermischen Zustandsgleichung $P = P(\rho, T)$ rechnen, und X_0 ist eine Konstante. Alle diese Terme sind experimentell bestimmbar.

Vorteilhafterweise setzt man $C(T)$ gleich der spezifischen isobaren Wärmekapazität im idealen Gaszustand. Dann wird die untere Grenze des Dichteintegrals zu Null, $\rho_1 = 0$. Die Gleichung für die isobare Wärmekapazität des idealen Gases, die daraus sich ergebenden Temperaturintegrale und die Wahl von X_0 werden in Abschnitt 2.1 behandelt. Der größte Teil dieses Buches behandelt die Aufstellung der Zustandsgleichung aus den verfügbaren Meßwerten und die daraus gebildeten Dichteintegrale, die die verschiedenen $X_2(\rho, T)$ ergeben.

Der größte Teil von Abschnitt 1 dieses Buches betrifft eine Diskussion der verfügbaren Daten, während Abschnitt 2 die Konstruktion der Zustandsgleichungen $P(\rho, T)$ von diesen Daten behandelt. Abschnitt 3 erklärt, wie die tabellierten Eigenschaften von den ausgewählten Gleichungen berechnet wurden. Zusätzlich werden die verfügbaren Daten und die sie korrelierenden Gleichungen für die Dampfdruckkurve und für die Schmelzdruckkurve diskutiert.

Die vorliegenden Tafeln geben Volumen, Entropie, Enthalpie, isobare Wärmekapazität, Realgasfaktor, das Fugazitäts-Druck-Verhältnis, Joule-Thomson-Koeffizient, das Verhältnis der Wärmekapazitäten und die Schallgeschwindigkeit als Funktionen von Druck und Temperatur; außerdem Druck, Entropie, innere Energie und isochore Wärmekapazität als Funktionen der Dichte und der Temperatur. Die Tafeln erfassen Zustände im Gas- und Flüssigkeitsgebiet von 0,025 MPa bis 1000 MPa bei Temperaturen zwischen 90 K und 475 K; bei Temperaturen von 470 K bis 575 K liegen die Drucke zwischen 0,025 MPa und 10 MPa. Weitere Tafeln geben die Eigenschaften des Gases bei verschwindendem Druck sowie die Zustandsgrößen idealen Gaszustand und für die Zustandsgrößen der fluiden Phasen auf der Dampfdruck- und Schmelzdruckkurve.

Die Gleichungen, die diese Zustandsgrößen innerhalb der genannten Druck- und Temperaturgrenzen wiedergeben, sind ebenso wie Abschätzungen der Unsicherheit einiger wesentlicher Zustandsgrößen angegeben.

Введение

В состав рабочей группы по алифатическим углеводородам входят:

Д-р Д. Р. Дуслин	Энергетический исследовательский центр в Бартлесвилле, США
Проф. П. Т. Эубанк	А и М университет в Техасе, США
Д-р Р. Д. Гудвин	Народное бюро по нормам (криогеническое отделение), Боулдер, США
Д-р Ф. Лазарр	Сосьете Насиональ де Петроль д'Аквитань, Франция
Проф. Дж. Е. Пауэрс	Мичиганский университет, США
Проф. Д. С. Вишванат	Индийский институт науки, Бангалор, Индия
Проф. В. А. Загорученко	Одесский институт инженеров морского флота, СССР

В 1972 г. в рамках Проекта термодинамических таблиц IUPAC были опубликованы таблицы термодинамических свойств этилена,⁽⁵¹⁾ которые показали, что экспериментальная база была меньше, чем обсуждалось раньше. Точные таблицы настолько нужны, что в США был начат исследовательский проект, который поддерживают разные фирмы, использующие и производящие этилен, чтобы были найдены точные данные в обширной области. Масштабы знаний о термодинамических свойствах пропилена подобны масштабам знаний об этилене, а так как использование пропилена в промышленности непрерывно возрастает, оказывается, что в настоящее время необходимо внести пропилен в список изучаемых жидкостей.

Недавно были опубликованы три статьи о пропилене. В одной из них, разработанной группой Высшего технического учебного заведения в Киеве,⁽¹⁾ критически обсуждаются все данные, опубликованные до 1968-го года; в ней были использованы аналитическая и графическая техника для составления термодинамических и транспортных свойств, которые точно представляют доступные экспериментальные данные.

Во второй статье, разработанной Бендером^{X(46)} из Каизерлаутернского университета, показывается, что точные таблицы могли бы быть составлены из одного уравнения состояния, содержащего 20 коэффициентов, которое действует в сравнительно ограниченном масштабе параметров.

В третьей статье, которую разработали Юза, Шифнер и Хоффер из Пражского института термомеханики, тоже представлены точные таблицы в ограниченном масштабе на основе единого уравнения состояния, содержащего 33 коэффициентов.

На основе этих публикаций, центр проекта IUPAC разработал таблицы на основе уравнения состояния, которое охватывает самый широкий диапазон точных экспериментальных данных. Это уравнение было составлено с

применением регрессивной техники по Вагнеру,^(49, 49а, 49б, 49в) перестроенной Де Рейком и Армстронгом. Этот регрессивный метод дал возможность охватить данные в значительно широком диапазоне параметров с уравнением состояния, содержащем 22 коэффициентов,

Термодинамическая согласованность между разными свойствами, приведенными в таблице, обеспечена, если имеющиеся данные используются для подготовки уравнения, представляющего свободную энергию (Гельмгольц) как функцию плотности и температуры, из которого можно исчислять остальные свойства математическим путем. Свободную энергию нельзя измерять прямым путем, но любое свойство, выведенное из нее, может быть записано как

$$X(\rho_2, T_2) = X_0 + \int_{T_1}^{T_2} X_1(T)C(T) dT + \int_{\rho_1}^{\rho_2} X_2(\rho, T) d\rho,$$

где $C(T)$ —уравнение, представляющее вариацию теплоемкости с температурой, $X_1(T)$ —простой множитель, зависящий от свойства X , $X_2(\rho, T)$ выведено из уравнения состояния, $P = P(\rho, T)$, и X_0 —константа; все эти члены можно определить экспериментальным путем.

$C(T)$ является пригодным в качестве вариации изобарной теплоемкости в идеальном газообразном состоянии. В таком случае нижний предел интеграла густоты, ρ_1 становится нулем. Уравнение идеальной газовой теплоемкости, из нее вытекающие интегралы температуры и выбор X_0 анализируются в разделе 2.1.

Вольшая часть первой части текста этой публикации посвящается обсуждению доступных данных, в то время как вторая часть посвящена способу, которым были составлены уравнения состояния, $P(\rho, T)$. В третьей части объясняется, каким образом были вычислены табличные величины из выбранного уравнения. Кроме того обсуждаются доступные данные и уравнения, которые их коррелируют, в отношении к кривой насыщения и кривой таяния.

Приведенные здесь таблицы содержат объем, энтропию, энтальпию, изобарную теплоемкость, сжимаемость и фугитивность (отношение давлений), коэффициент Джоуль–Томпсона, отношение теплоемкостей и скорости звука как функции давления и температуры, и далее давление, энтропию, внутреннюю энергию и изохорную теплоемкость как функции плотности и температуры для газообразного и жидкого состояний от 0,025 МПа до 1000 МПа при температурах от 90 К до 475 К, и от 0,025 МПа до 10 МПа, 475 К до 575 К; приводятся также таблицы для нулевого давления а также таблицы свойств для жидких фаз вдоль кривой насыщения и кривой таяния.

Приводятся уравнения, которые передают эти свойства в приведенных пределах, как и оценки погрешности для некоторых главных приводимых свойств.