

11/33

Teploenergetika

7 (1960) H. 1

S. 63 - 69

Vukalovič, M.P., Dr. d. techn. Wiss.; Dzampov, B.V. und Zubarev, V.N., Kandidaten d. techn. Wiss. - Moskovskij energetičeskij institut (Moskauer Institut für Energetik)

Tabellen über die thermischen Eigenschaften von Ammoniak

Es werden Versuchs- und Berechnungswerte für die thermodynamischen und thermischen Eigenschaften von NH_3 numerisch und graphisch ausgewertet. Die Ergebnisse der Auswertung sind in Form ausführlicher Tabellen über die Eigenschaften von Ammoniak dargestellt.

Ammoniak findet in der heutigen Zeit auf verschiedenen Gebieten von Wissenschaft und Technik in der Eigenschaft als Wärmeträger breite Anwendung; es existieren jedoch keine hinreichend zuverlässigen und vollständigen Tabellen über seine thermischen Eigenschaften. Dieser Umstand veranlaßte die Autoren, die zuverlässigsten Versuchs- und Berechnungswerte für die Eigenschaften von Ammoniak zu untersuchen, zu analysieren und auszuwählen und eine Berechnung der nachstehenden Tabellen vorzunehmen.

Die thermischen Eigenschaften sind für 1 kg Substanz als Funktion der Temperatur ($^{\circ}\text{C}$) und des Drucks (kp/cm^2) berechnet. Die Tabellen der p-v-t-Werte, der Wärmekapazität c_p , $\text{kcal}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$ und der Viskosität η , $\text{kg}/\text{m} \cdot \text{sec}$ werden für folgende Bereiche von t und p auf-

gestellt:

p, v, t	40 - 290°C	1 - 800 kp/cm ²
c_p	40 - 280°C	1 - 800 kp/cm ²
η	30 - 250°C	1 - 800 kp/cm ²

Angeführt werden weiter die Werte dieser Größen an der Sättigungslinie und die latente Verdampfungswärme.

Bei der Durchführung der vorliegenden Arbeit wurden folgende Werte der kritischen Parameter angenommen:

$$t_{kr} = 132,4^{\circ}\text{C}; \quad p_{kr} = 115,2 \text{ kp/cm}^2;$$
$$v_{kr} = 0,00426 \text{ m}^3/\text{kg}$$

DIE p-v-t - BEZIEHUNGEN

Von den vorhandenen experimentellen Untersuchungen der p-v-t - Parameter von Ammoniak sind die in [L. 1 - 5] angeführten Untersuchungen hinreichend zuverlässig.

Ja.S. Kazarnovskij [L. 1] nahm Messungen der spezifischen Volume von Ammoniak im Druckbereich 100 - 1000 kp/cm² und im Temperaturbereich 150 - 300°C vor. Nach Mitteilung des Autors beträgt die Meßgenauigkeit 0,5 %; im kritischen Bereich ist die Genauigkeit etwas geringer.

Keyes [L. 4] untersuchte die p-v-t - Beziehungen zwischen 0 und 210°C im Druckbereich 100 - 1000 kp/cm², sowie zwischen 60 und 170°C und 20 und 40 kp/cm². Die Genauigkeit der Werte beträgt nach einer Berechnung des Autors 0,25 %. Die Messungen wurden auf Isochoren vorgenommen. Mayers und Jessup [L. 3] führten Messungen der spezifischen Volume von Ammoniak im Temperaturbereich von

35 - 300°C bei den Drücken $p = 1 - 28 \text{ kp/cm}^2$ durch. Offensichtlich sind dies die genauesten Werte; der Fehler beträgt $\sim 0,1 \%$. Die Autoren [L. 3] stellen eine empirische Zustandsgleichung auf, die die gewonnenen Versuchswerte beschreibt.

Beattie und Lawrence [L. 2] nahmen Messungen der spezifischen Volume bei Temperaturen von 50 - 325°C und Drücken von 14 bis 120 kp/cm^2 vor. Die Angaben von [L. 2] stimmen mit denen von [L. 3] gut überein.

In der letzten Zeit wurde im Institut der Stickstoffindustrie von I.F. Golubev, E.N. Vagina und G.I. Volkova [L. 5] das spezifische Gewicht von Ammoniak bei Temperaturen von 20 bis 370°C und Drücken von 20 - 500 kp/cm^2 gemessen. Die Messungen erfolgten für den flüssigen und gasförmigen Zustand, hauptsächlich im Bereich kleiner spezifischer Volume.

Der von uns durchgeführte Vergleich der spezifischen Volume [L. 5] mit den Daten von [L. 1, 4, u.a.] ergab, daß die Angaben sich deckten (mit Ausnahme des kritischen Bereichs), und zwar mit einer Genauigkeit von 0,2 - 0,3%.

Bei der Aufstellung der nachfolgenden Tabellen für die spezifischen Volume wurden die Angaben von [L. 5] als Richtwerte benutzt. Wir stellten die Tabellen für die spezifischen Volume bei Temperaturen bis ungefähr 300°C auf, nicht jedoch bis 370°C, d.h. für einen Bereich unterhalb der Temperatur, bis zu welcher Versuchswerte der spezifischen Volume in [L. 5] vorliegen. Dies hat folgenden Grund: Die nach den Angaben von [L. 5] in $v - t$ -Koordinaten konstruierten Isobaren haben das in der Zeichnung dargestellte Aussehen.

Nach einem allgemeinen Satz der Thermodynamik können Isobaren nicht zwei Wendepunkte haben, da andernfalls die Wärmekapazität c_p zwei Maxima hätte, was prin-

zipiell falsch ist. Das Vorhandensein eines zweiten Wendepunktes auf einer Isobare widerspricht der Bedingung

$$\left(\frac{\partial^2 v}{\partial T^2}\right)_p \rightarrow 0 \text{ bei zunehmenden Temperaturen.}$$

Der ungewöhnliche Verlauf der Isobaren erhärtet die Überlegungen hinsichtlich einer möglichen erheblichen Zersetzung von Ammoniak bei einer Temperatur über 280 - 300°C. Die Isobaren, die den hohen Drücken ($p = 300 - 500 \text{ kp/cm}^2$) entsprechen, haben - nach den Angaben von [L. 5] - keinen klar ausgeprägten zweiten Wendepunkt, was seine Erklärung in dem die Dissoziation hemmenden Einfluß des Drucks findet.

Die in der Tabelle 1 angeführten Werte der spezifischen Volume von Ammoniak wurden numerisch und graphisch ermittelt. Ein Vergleich der Tabellenangaben mit den Versuchsangaben und den vorliegenden Tabellen anderer Autoren zeigt eine befriedigende Übereinstimmung der Werte untereinander. Die Abweichungen gehen nicht über 0,2 - 0,3 % hinaus, was als die Genauigkeit der vorgeschlagenen Werte für die spezifischen Volume betrachtet werden kann.

DIE WÄRMEKAPAZITÄT VON AMMONIAK BEI KON- STANTEM DRUCK c_p FÜR ÜBERHITZTEN DAMPF UND FLÜSSIGKEIT

Die Wärmekapazität von Ammoniak bei konstantem Druck c_p wurde von vielen Autoren untersucht. Eine Analyse ergab, daß die Werte von [L. 6] die zuverlässigsten sind.

Abgesehen davon werden in [L. 7] Werte der Wärmekapazität c_p für die Flüssigkeit von überhitztem Ammoniakdampf angegeben, die nach den p-v-t-Daten von Keyes und Kazarnovskij [L. 1, 4] berechnet wurden.

Die Berechnung erfolgte nach der bekannten Beziehung

, (1)

wobei

$$r = \frac{RT}{p} - v$$

Ein von uns vorgenommener Vergleich der von Davies [L. 7] errechneten Werte der Wärmekapazität c_p mit den Daten von Kazarnovskij und Karapet'janc [L. 8] bei Drücken bis 1000 kp/cm^2 und im Temperaturbereich $150 - 300^\circ\text{C}$ zeigt, daß die Abweichung untereinander bei Drücken bis zu 100 kp/cm^2 durchschnittlich nicht über 5% hinausgeht. Im Bereich des kritischen Punktes erhöht sich die Differenz bis auf 10%, was seine Ursache in den Abweichungen bei den Angaben für die spezifischen Volume [L. 1 und 4] hat.

Bekannt sind die von I.F. Golubev und V.A. Petrov *genommenen* Werte für die Wärmekapazität c_p von Ammoniak; sie ma-
Ben die Wärmekapazität c_p bis zu 800 kp/cm^2 bei Temperaturen von 150 bis 300°C . Die genannte Untersuchung ist heute die einzige, in der die Wärmekapazität bei hohen Drücken durch direkte Messungen ermittelt wurde. Ein Vergleich dieser Daten mit den entsprechenden Werten von [L. 8] und auch [L. 7] zeigt nur auf der Isotherme 150°C bei einem Druck von 150 kp/cm^2 eine erhebliche Abweichung. Bei anderen Drücken und Temperaturen gehen die Abweichungen nicht über 1 - 3% hinaus.

Die Aufstellung der Tabellen für die Wärmekapazität erfolgte numerisch und graphisch durch Eintragung der Versuchswerte und der errechneten Werte von c_p in die

Koordinaten:

$$c_p = f(p); \quad c_p = \varphi(t); \quad c_p = \psi(\gamma),$$

wobei γ - das spezifische Gewicht ist.

Da Versuchswerte für die Wärmekapazität nur für $t \geq 150^\circ\text{C}$ vorliegen, wurde es nötig, diese Werte von c_p mit der Wärmekapazität anderer Autoren bei $t \leq 150^\circ\text{C}$ in Einklang zu bringen. Die Anpassung der Angaben der verschiedenen Autoren wurde auf den Isobarenabschnitten bei $50 - 70^\circ\text{C}$ durchgeführt.

Die Tatsache, daß Versuchswerte bei $t \leq 150^\circ\text{C}$ und hohen Drücken gänzlich fehlen und nur errechnete Werte, deren Genauigkeit nicht groß ist, vorliegen, erhöht den Fehler der von uns empfohlenen Tabellen für c_p auf 2 - 3%; auf der Isotherme $t = 150^\circ\text{C}$ kann er sich bei Drücken von $p = 100 - 150 \text{ kp/cm}^2$ noch weiter erhöhen. Die Werte für die Wärmekapazität c_p sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Ungeachtet der Tatsache, daß viele Forscher die Wärmekapazität an der Sättigungslinie c_{ps} gemessen haben, ist sie noch völlig unzureichend untersucht. Die vorhandenen Untersuchungen [L. 9 - 11] liefern Werte von c_{ps} nur bis 56°C auf der Flüssigkeitslinie und bis 20 kp/cm^2 auf der Linie des gesättigten Dampfes. Daher führten wir eine Extrapolation der Werte c'_{ps} und c''_{ps} in Richtung des kritischen Punktes bis 130°C durch. Die Richtigkeit der Extrapolation wurde durch eine Eintragung der Werte für die Wärmekapazität in verschiedene Koordinatensysteme überprüft.

Bei der Aufstellung der Tabelle für die thermodynamischen Eigenschaften von NH_3 im Sättigungsbereich wurden für die Berechnung der latenten Verdampfungswärme die Werte benützt, die von Osborne und Van Dusen [L. 11], die die Größe r mit großer Genauigkeit im Temperaturbereich zwischen -42 und $+52^\circ\text{C}$ maßen, gewonnen wurden.

Die Meßergebnisse werden durch die empirische Gleichung

chung

$$r = 137,91 \sqrt{133 - t} - 2,466(133 - t)$$

gut beschrieben, wobei

$$r[\text{J/g}]; t[^\circ\text{C}].$$

Die Werte von [L. 11] wurden auf die gewählte kritische Temperatur $t_{kr} = 132,4^\circ\text{C}$ umgerechnet und entsprechend den Werten für die spezifischen Volume an der Sättigungslinie bis zum kritischen Punkt weiterberechnet.

Die thermodynamischen Eigenschaften von Ammoniak auf der Sättigungslinie sind in Tabelle 3 aufgeführt.

VISKOSITÄT VON AMMONIAK

Die vollständigste Untersuchung über die Viskosität von Ammoniak wurde in den letzten Jahren von I.F. Golubev [L. 12] vorgenommen. Die Untersuchung umfaßt Messungen der Viskosität auf der Sättigungslinie, sowie im Flüssigkeitsgebiet und im Überhitzungsgebiet. Die Messungen erfolgten im Temperaturbereich von $30 - 250^\circ\text{C}$ und bei Drücken von $1 - 800 \text{ kp/cm}^2$. Diese Werte wurden nach einem hervorragenden Verfahren gewonnen und von uns bei der Aufstellung der Tabellen als Richtwerte angenommen.

Wir verglichen die Versuchswerte von I.F. Golubev [L. 12] mit den Angaben von Sage [L. 13] und stellten eine befriedigende Übereinstimmung der Daten untereinander fest.

Die vorgenommene Interpolation und graphisch-analytische Auswertung der Werte erlaubte es, die einzelnen

Ungenauigkeiten des Versuchs zu beheben und zuverlässige und detaillierte Tabellen für die Viskosität bis zu 250°C und 800 kp/cm² (Tabelle 4) zu erhalten. -

Tabelle 1

Werte der spezifischen Volume von Ammoniak, $10^3 \text{ m}^3/\text{kg}$

Tabelle 2

Werte der Wärmekapazität von Ammoniak c_p , kcal/kp $^\circ\text{C}$

Tabelle 3

Sättigungslinie von Ammoniak
(Werte der Volume, der Wärmekapazität, der Verdampfungswärme und der Viskosität)

Tabelle 4

Werte der Viskosität im Flüssigkeitsgebiet und im Überhitzungsgebiet von Ammoniak $\eta \cdot 10^4$, kp/m.sec

L i t e r a t u r

1. Ja.S. Kazarnovskij. ^V ZFCh Nr 12, 1940
2. Beattie a. Lawrence. J. Amer. Chem. Soc.
Nr 52, 1930
3. Mayers a. Jessup. Refrig. Engr. Nr 11, 1925
4. Keyes. J. Amer. Chem. Soc.
Nr 53, 1931
5. I.F. Golubev, E.N. Vagina,
G.I. Volkova. Trudy instituta azotnoj
promyšlennosti, vyp. 7,
Moskva, 1957
6. Osborne, Stimson, Sligh
a. Gragoe. Sci. Pap. U.S. Bur. Stand.
Nr 501, 1925
7. Davies. Thermodynamic functions of
gases, edited by F. Din.
London, 1956
8. Ja.S. Kazarnovskij,
M.Ch. Karapet'janc ^V
ZFCh 17, Nr 3, 1943
9. Eucken a. Karwat. J. phys. Chem. Nr 112, 1924
10. Glaugue a. Oversteet. J. Amer. Chem. Soc. Nr 59,
1937
11. Osborne a. Van Dusen. J. Amer. Chem. Soc. Nr 40,
1918. Sci. Pap. u. S. Bur.
Stand. Nr 315, 1917,
A. S. R. E. J. 4, 1917

12. I. F. G o l u b e v .

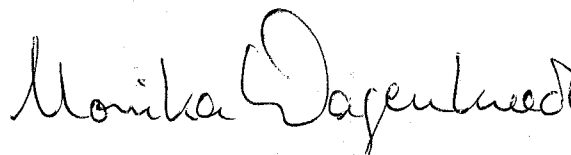
Vjazkost' gazov i gazovykh
smesej. Fizmatizdat, 1959

13. S a g e .

Ind. Eng. Chem. 44, Nr 11,
1952

Stuttgart, den 6. 11. 1968

i.A.



(Monika Wagenknecht)

Dipl.-Übersetzerin

ВЫВОДЫ

1. Применение азотирования в качестве шпинделей из перлитных сталей типа нитроллоя (38ХМЮА) может быть рекомендовано для шпинделей паровой арматуры с предельной температурой пара не более 520—530°С, так как при более высоких температурах в процессе работы значительно снижается поверхностная твердость и сопротивление задираемости.

2. Азотирование (по режиму ЛМЗ) для упрочнения шпинделей из аустенитной стали марки ЭИ-405 может быть рекомендовано при рабочей температуре металла 600°С.

Одноступенчатое низкотемпературное азоти-

рование (при температуре процесса ниже рабочей температуры шпинделей) стали ЭИ-69 является неудовлетворительным.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Ратнер. «Теплоэнергетика» № 5, 1957.
2. А. В. Ратнер, В. Г. Зеленский. «Теплоэнергетика» № 12, 1957.
3. И. Е. Тутов. Дефекты и контроль горячей обработки металлов. Оборонгиз, 1942.
4. Ю. М. Лахтин. Физические основы процесса азотирования. Машгиз, 1948.
5. Справочник по свойствам сталей, применяемых в котлостроении. Машгиз, 1958.
6. Я. М. Гительзон, Т. М. Погребецкая и А. А. Юргенсон. «Энергомашиностроение» № 7, 1958.

ТАБЛИЦЫ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АММИАКА

Доктор техн. наук М. П. ВУКАЛОВИЧ, кандидаты техн. наук Б. В. ДЗАМПОВ и В. Н. ЗУБАРЕВ

Московский энергетический институт

В настоящее время в различных областях науки и техники широкое применение в качестве теплоносителя находит аммиак, однако достаточно надежные и полные таблицы его теплофизических свойств отсутствуют. Это обстоятельство побудило авторов предпринять работу по изучению, анализу и отбору наиболее надежных опытных и расчетных данных по свойствам аммиака и провести расчет предлагаемых ниже таблиц.

Теплофизические свойства рассчитаны на 1 кг вещества как функции температуры (°С) и давления (кг/см^2). Таблицы значений ρ , v , t , теплоемкости c_p , $\text{ккал/кг}\cdot^\circ\text{С}$, вязкости η , $\text{кг/м}\cdot\text{сек}$ приводятся для следующих пределов t и p :

ρ , v , t	40—290°С	1—800 кг/см^2
c_p	40—280°С	1—800 кг/см^2
η	30—250°С	1—800 кг/см^2

Приводятся также значения этих величин на кривой насыщения и скрытая теплота парообразования.

При проведении настоящей работы приняты следующие значения критических параметров:

$$t_{кр} = 132,4^\circ\text{С}; \rho_{кр} = 115,2 \text{ кг/см}^2;$$

$$\sigma_{кр} = 0,00426 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

ЗАВИСИМОСТЬ ρ , v , t

Из существующих экспериментальных исследований параметров ρ , v , t аммиака достаточно надежными являются исследования, приведенные в [Л. 1—5].

Я. С. Казарновский [Л. 1] провел измерения удельных объемов аммиака в интервалах дав-

Обработаны опытные и расчетные данные по термодинамическим и теплофизическим свойствам NH_3 численными и графическими методами. Результаты обработки представлены в виде подробных таблиц свойств аммиака.

лений 100—1000 кг/см^2 и температур 150—300°С. По сообщению автора точность измерений составляет 0,5%; в критической области точность несколько меньше.

Кейс [Л. 4] исследовал зависимость ρ , v , t от 0 до 210°С в интервале давлений 100—1000 кг/см^2 , а также от 60 до 170°С и от 20 до 40 кг/см^2 . Точность данных по подсчету автора составляет 0,25%. Измерения проводились по изохорам. Майерс и Джессуп [Л. 3] провели измерения удельных объемов аммиака в интервале температур 35—300°С при давлениях $p = 1—28 \text{ кг/см}^2$. По-видимому, эти данные являются наиболее точными; погрешность составляет $\sim 0,1\%$. Авторы [Л. 3] приводят эмпирическое уравнение состояния, описывающее полученные опытные данные.

Битти и Лоуренс [Л. 2] проводили измерения удельных объемов при температурах 50—325°С и давлениях от 14 до 120 кг/см^2 . Данные [Л. 2] хорошо согласуются с данными [Л. 3].

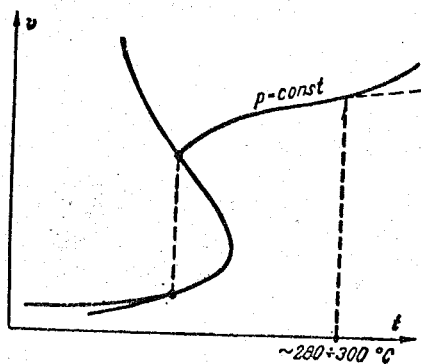
В последнее время в институте азотной промышленности И. Ф. Голубевым, Э. Н. Вагиной и Г. И. Волковой [Л. 5] проведены измерения удельного веса аммиака при температурах от 20 до 370°С и давлениях 20—500 кг/см^2 . Измерения проводились для жидкого и газообразного состояний, главным образом в области малых удельных объемов.

Проведенные нами сравнения удельных объемов [Л. 5] с данными [Л. 1, 4 и др.] показали совпадение между ними (за исключением области критической точки) с точностью 0,2—0,3%.

При составлении таблиц удельных объемов, приведенных ниже, данные [Л. 5] были использованы в качестве основных. Таблицы удельных

Таблица 1. Значения удельных

$\frac{v}{\text{cm}^3}$ \n $^{\circ}\text{C}$	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
1	1506,3	1556,01	1605,45	1654,83	1704,09	1753,29	1802,43	1851,46	1900,48	1949,39	1998,30	2047,20
5	337,78	350,28	362,55	374,65	386,63	398,54	410,54	422,21	433,89	445,57	457,20	468,82
10	146,20	152,83	159,17	165,34	171,32	177,20	183,01	188,70	194,3	199,9	205,4	210,9
20	1,73			74,80	78,32	81,73	85,02	88,19	91,2	94,3	97,3	100,2
30	1,72	1,77	1,83	44,62	47,92	50,68	53,19	55,66	58,0	60,3	62,5	64,6
40	1,71	1,77	1,83	1,90		34,91	37,37	39,54	41,6	43,5	45,3	47,0
50	1,71	1,76	1,82	1,88	1,97			27,95	29,9	31,7	33,5	35,2
60	1,71	1,76	1,81	1,88	1,96	2,06		22,24	24,1	25,8	27,3	28,7
70	1,71	1,76	1,80	1,87	1,95	2,05	2,18	16,92	19,0	20,6	22,1	23,4
80	1,70	1,75	1,80	1,86	1,94	2,04	2,16	2,33	14,94	16,8	18,2	19,5
90	1,70	1,74	1,80	1,85	1,93	2,03	2,15	2,31	11,14	13,78	15,34	16,6
100	1,69	1,74	1,79	1,84	1,91	2,01	2,13	2,28				
110	1,69	1,73	1,78	1,84	1,91	2,00	2,11	2,26	2,53	10,65	12,70	14,14
120	1,68	1,73	1,78	1,84	1,90	1,99	2,10	2,23	2,51	6,57	10,43	12,13
130	1,68	1,73	1,77	1,83	1,90	1,93	2,08	2,21		2,88	7,94	10,20
140	1,68	1,73	1,77	1,83	1,88	1,97	2,06	2,18		2,71	4,78	8,16
150	1,68	1,72	1,77	1,82	1,88	1,95	2,05	2,16		2,40	3,61	3,32
160	1,68	1,71	1,76	1,82	1,87	1,95	2,05	2,18		2,36	3,61	6,18
170	1,67	1,71	1,76	1,82	1,87	1,95	2,04	2,14		2,33	3,00	4,61
180	1,67	1,71	1,76	1,82	1,87	1,94	2,03	2,12		2,30	2,48	3,72
190	1,67	1,71	1,76	1,81	1,86	1,93	2,01	2,28		2,28	2,43	2,72
200	1,67	1,70	1,76	1,81	1,85	1,92	2,00	2,26		2,26	2,39	2,64
210	1,67	1,70	1,74	1,80	1,86	1,92	2,00	2,10		2,23	2,35	3,08
220	1,66	1,70	1,74	1,80	1,85	1,92	1,99	2,08		2,21	2,33	3,92
230	1,66	1,70	1,74	1,79	1,84	1,91	1,98	2,07		2,19	2,31	2,82
240	1,66	1,70	1,74	1,79	1,84	1,91	1,98	2,06		2,17	2,29	2,74
250	1,66	1,69	1,73	1,78	1,84	1,91	1,93	2,05		2,15	2,27	2,68
300	1,65	1,68	1,73	1,78	1,84	1,90	1,97	2,04		2,14	2,25	2,42
350	1,64	1,67	1,72	1,76	1,81	1,87	1,96	2,03		2,12	2,23	2,36
400	1,63	1,66	1,70	1,74	1,79	1,87	1,93	2,00		2,10	2,15	2,54
450	1,62	1,65	1,69	1,73	1,77	1,84	1,90	1,96		2,03	2,15	2,39
500	1,61	1,64	1,68	1,71	1,75	1,82	1,87	1,93		1,93	2,09	2,29
550	1,59	1,63	1,67	1,70	1,74	1,80	1,85	1,90		1,95	2,05	2,21
600	1,58	1,62	1,65	1,70	1,74	1,78	1,82	1,87		1,93	2,05	2,16
650	1,57	1,61	1,64	1,68	1,72	1,76	1,80	1,87		1,91	1,98	2,11
700	1,56	1,59	1,63	1,67	1,70	1,73	1,77	1,84		1,89	1,93	2,08
750	1,56	1,58	1,61	1,66	1,69	1,72	1,76	1,81		1,86	1,90	2,04
800	1,55	1,57	1,61	1,64	1,67	1,71	1,74	1,78		1,82	1,88	2,00
				1,64	1,67	1,70	1,73	1,77		1,81	1,86	1,92



объемов нами составлялись при температурах приблизительно до 300°С, а не до 370°С, т. е. ниже той температуры, до которой имеются

опытные значения удельных объемов в [Л. 5]. Причиной этого является следующее: построенные в $v-t$ координатах изобары по данным [Л. 5] имеют вид, представленный на рисунке.

Согласно общим положениям термодинамики изобары не могут иметь двух точек перегиба, так как в противном случае теплоемкость c_p будет иметь два максимума, что принципиально неверно. Наличие второй точки перегиба на изобаре противоречит условию $\left(\frac{\partial^2 v}{\partial t^2}\right)_p \rightarrow 0$ при возрастающих температурах.

Ненормальный ход изобар подтверждает соображения о возможности значительного разложения аммиака при температуре выше 280—300°С. Изобары, соответствующие высоким дав-

160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290
2096,05	2144,90	2193,75	2242,54	2291,27	2340,01	2388,74	2437,41	2486,08	2534,76	2583,43	2632,10	2680,78	2729,45
480,39	491,90	503,41	514,91	526,42	537,9	549,3	560,8	572,2	583,6	595,0	606,4	617,7	629,1
216,4	221,9	227,3	232,7	233,1	243,5	248,9	254,2	259,6	264,9	270,14	275,4	280,7	285,9
103,1	106,0	108,9	111,7	114,4	117,2	120,0	122,7	125,4	128,1	130,8	133,5	136,1	138,7
66,7	68,8	70,8	72,7	74,6	76,5	78,4	80,2	82,1	83,9	85,8	87,6	89,4	91,2
48,7	50,3	51,9	53,5	55,1	56,5	58,1	59,5	61,0	62,4	63,9	65,3	66,7	68,1
36,9	38,4	39,9	41,3	42,6	44,0	45,3	46,7	47,9	49,2	50,4	51,6	52,7	53,8
30,0	31,3	32,5	33,7	34,8	35,9	37,0	38,1	39,1	40,2	41,2	42,2	43,2	44,2
24,7	25,9	27,0	28,1	29,1	30,1	31,1	32,1	33,0	33,9	34,9	35,8	36,6	37,5
20,7	21,9	23,0	24,0	24,9	25,8	26,8	27,7	28,5	29,3	30,1	30,9	31,8	32,5
17,7	18,8	19,8	20,7	21,6	22,5	23,4	24,2	25,0	25,8	26,6	27,4	28,1	28,9
15,24	16,23	17,2	18,1	19,0	19,8	20,6	21,4	22,1	22,8	23,5	24,1	24,8	25,4
13,30	14,28	15,20	16,1	16,9	17,6	18,4	19,1	19,8	20,5	21,1	21,7	22,3	22,9
11,54	12,55	13,45	14,28	15,06	15,7	16,5	17,2	17,8	18,5	19,1	19,7	20,3	20,9
9,78	10,89	11,80	12,63	13,39	14,16	14,88	15,56	16,2	16,8	17,4	18,0	18,5	19,1
8,26	9,52	10,49	11,34	12,11	12,86	13,55	14,19	14,80	15,33	15,94	16,5	17,0	17,5
6,76	8,22	9,24	10,13	10,93	11,67	12,31	12,92	13,50	14,07	14,62	15,15	15,68	16,2
5,42	6,96	8,07	9,01	9,85	10,58	11,22	11,83	12,40	12,95	13,48	13,99	14,4	14,95
4,63	6,07	7,20	8,15	9,10	9,63	10,26	10,85	11,40	11,93	12,46	12,93	13,49	13,93
3,95	5,11	6,23	7,18	8,01	8,79	9,42	9,99	10,54	11,07	11,67	12,05	12,53	13,00
3,55	4,49	5,56	6,49	7,30	8,03	8,71	9,27	9,81	10,33	10,82	11,28	11,72	12,18
3,31	4,09	5,04	5,92	6,69	7,39	8,03	8,61	9,14	9,63	10,11	10,58	11,03	11,46
3,16	3,79	4,57	5,33	6,12	6,79	7,43	8,01	8,54	9,02	9,49	9,96	10,41	10,84
3,02	3,56	4,21	4,93	5,63	6,31	6,94	7,52	8,03	8,50	8,95	9,38	9,81	10,23
2,92	3,38	3,95	4,61	5,25	5,87	6,48	7,04	7,52	7,93	8,42	8,85	9,25	9,66
2,85	3,24	3,74	4,30	4,83	5,49	6,08	6,62	7,09	7,55	7,97	8,37	8,78	9,17
2,78	3,11	3,54	4,04	4,59	5,17	5,74	6,26	6,72	7,16	7,53	7,97	8,35	8,73
2,54	2,74	2,99	3,28	3,61	3,99	4,36	4,73	5,09	5,46	5,81	6,15	6,51	6,86
2,41	2,55	2,72	2,92	3,17	3,42	3,71	4,00	4,30	4,61	4,91	5,20	5,48	5,75
2,31	2,43	2,57	2,73	2,90	3,07	3,28	3,50	3,73	3,98	4,23	4,50	4,74	4,98
2,24	2,34	2,45	2,57	2,70	2,84	2,93	3,17	3,35	3,55	3,76	3,97	4,17	4,37
2,18	2,26	2,35	2,45	2,57	2,63	2,81	2,94	3,08	3,24	3,41	3,58	3,76	3,95
2,15	2,22	2,29	2,37	2,45	2,56	2,67	2,78	2,91	3,04	3,17	3,32	3,47	3,63
2,09	2,15	2,22	2,30	2,38	2,48	2,57	2,66	2,77	2,83	3,00	3,13	3,26	3,39
2,05	2,11	2,17	2,24	2,32	2,40	2,48	2,57	2,67	2,76	2,86	2,97	3,09	3,22
2,03	2,08	2,14	2,20	2,27	2,33	2,40	2,48	2,57	2,66	2,75	2,85	2,96	3,08
1,99	2,04	2,10	2,15	2,21	2,28	2,35	2,42	2,50	2,57	2,65	2,74	2,84	2,94
1,96	2,01	2,06	2,11	2,17	2,24	2,30	2,37	2,44	2,51	2,58	2,65	2,73	2,80

лениям ($p = 300-500$ кг/см²), не имеют ярко выраженной второй точки перегиба по данным [Л. 5], что объясняется влиянием давления, задерживающего диссоциацию.

Приводимые значения удельных объемов аммиака в табл. 1 получены численными и графическими методами. Сравнение данных таблиц с опытными данными и имеющимися таблицами других авторов указывает на удовлетворительное согласие между ними. Расхождение не превышает 0,2-0,3%, что можно считать точностью предлагаемых значений удельных объемов.

ТЕПЛОЕМКОСТЬ АММИАКА ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ c_p ДЛЯ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА И ЖИДКОСТИ

Теплоемкость аммиака при постоянном давлении c_p исследовалась многими авторами. Про-

веденный анализ показал, что наиболее надежными являются данные [Л. 6].

Кроме того, в [Л. 7] имеются значения теплоемкости c_p для жидкости перегретого пара аммиака, рассчитанные по данным p, v, t Кейса и Казарновского [Л. 1,4].

Расчет проводился по известному соотношению

$$\left(\frac{\partial c_p}{\partial p}\right)_T = -T \left(\frac{\partial^2 v}{\partial T^2}\right)_p = T \left(\frac{\partial^2 r}{\partial T^2}\right)_p,$$

где

$$r = \frac{RT}{p} - v.$$

Проведенное нами сравнение значений теплоемкости c_p , рассчитанных Девисом [Л. 7], с данными Казарновского и Карапетьянца [Л. 8] до

Таблица 2. Значения теплоемкости

°C \ $\kappa\Gamma/\text{см}^2$	°C											
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
1	0,52	0,52	0,52	0,53	0,53	0,53	0,54	0,54	0,54	0,55	0,55	0,55
10	0,68	0,63	0,63	0,61	0,60	0,60	0,59	0,59	0,59	0,58	0,58	0,58
20	1,18	0,89	0,82	0,76	0,72	0,69	0,67	0,65	0,640	0,63	0,62	0,61
30	1,17	1,20	1,23	0,93	0,90	0,83	0,78	0,73	0,71	0,68	0,66	0,64
40	1,16	1,19	1,22	1,26	1,16	1,04	0,92	0,85	0,82	0,73	0,70	0,68
50	1,16	1,19	1,22	1,26	1,31	1,30	1,15	0,93	0,87	0,80	0,75	0,71
60	1,15	1,18	1,21	1,25	1,30	1,37	1,42	1,13	0,97	0,87	0,80	0,76
70	1,15	1,17	1,21	1,24	1,29	1,36	1,47	1,35	1,09	0,93	0,86	0,81
80	1,14	1,17	1,20	1,24	1,28	1,35	1,45	1,64	1,27	1,04	0,92	0,86
90	1,14	1,16	1,20	1,23	1,27	1,33	1,44	1,61	1,65	1,20	1,01	0,92
100	1,13	1,16	1,19	1,22	1,26	1,32	1,42	1,57	1,85	1,55	1,11	0,99
110	1,13	1,15	1,18	1,22	1,26	1,31	1,40	1,53	1,79	2,23	1,27	1,07
120	1,13	1,15	1,18	1,21	1,25	1,30	1,38	1,50	1,74	2,20	1,61	1,19
130	1,12	1,15	1,17	1,20	1,24	1,29	1,37	1,47	1,69	2,10	2,96	1,40
140	1,12	1,14	1,17	1,20	1,23	1,28	1,35	1,44	1,64	2,02	2,80	1,81
150	1,11	1,14	1,16	1,19	1,22	1,27	1,34	1,41	1,59	1,91	2,10	2,10
175	1,11	1,13	1,15	1,18	1,21	1,25	1,30	1,37	1,49	1,76	2,45	2,92
200	1,10	1,12	1,14	1,16	1,19	1,23	1,27	1,33	1,42	1,59	1,91	2,35
225	1,09	1,11	1,13	1,15	1,17	1,21	1,25	1,30	1,36	1,47	1,66	1,92
250	1,08	1,10	1,12	1,14	1,16	1,19	1,22	1,26	1,32	1,40	1,52	1,77
300	1,07	1,09	1,10	1,12	1,14	1,16	1,19	1,22	1,26	1,32	1,40	1,56
400	1,04	1,06	1,07	1,09	1,10	1,12	1,16	1,19	1,22	1,26	1,32	1,42
500	1,02	1,03	1,04	1,06	1,07	1,09	1,11	1,13	1,16	1,19	1,24	1,30
600	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,06	1,07	1,08	1,10	1,12	1,16	1,23
700	0,98	0,99	0,99	1,00	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,08	1,12	1,17
800	0,96	0,96	0,97	0,93	0,99	1,00	1,02	1,03	1,04	1,05	1,08	1,12
												1,16
												1,10

1000 $\kappa\Gamma/\text{см}^2$ в интервале температур 150—300°С показывает, что расхождение между ними не превышает в среднем 5% при давлениях до 100 $\kappa\Gamma/\text{см}^2$. В области критической точки расхождение увеличивается до 10%, что объясняется расхождениями в данных по удельным объемам [Л. 1 и 4] в критической области.

Известны данные по теплоемкости c_p аммиака, полученные И. Ф. Голубевым и В. А. Петровым, измерившими теплоемкость c_p до 800 $\kappa\Gamma/\text{см}^2$ при температурах от 150 до 300°С. Данное исследование в настоящее время является единственным, в котором прямыми измерениями получена теплоемкость при высоких давлениях. Сравнение этих данных с соответствующими данными [Л. 8], а также [Л. 7] обнаруживает значительное расхождение между ними только на изотерме 150°С при давлении 150 $\kappa\Gamma/\text{см}^2$. При других давлениях и температурах расхождения не превышают 1—3%.

Составление таблиц теплоемкостей проводилось численным и графическим методом путем построения опытных и расчетных значений c_p в координатах: $c_p = f(p)$; $c_p = \varphi(t)$; $c_p = \psi(\gamma)$, где γ — удельный вес.

Так как опытные данные по теплоемкости

имеются только при $t \geq 150^\circ\text{C}$, то возникла необходимость согласовать эти значения c_p с теплоемкостью других авторов при $t \leq 150^\circ\text{C}$. Согласование данных различных авторов проводилось на участках изобар в 50—70°С.

То обстоятельство, что опытные данные при $t \leq 150^\circ\text{C}$ и высоких давлениях отсутствуют вообще, а имеются только расчетные, точность которых невелика, увеличивает погрешность рекомендуемых нами таблиц c_p до 2—3%, а на изотерме $t = 150^\circ\text{C}$ при давлениях $p = 100$ —150 $\kappa\Gamma/\text{см}^2$ она может еще несколько увеличиться. Значения теплоемкостей c_p приведены в табл. 2.

Несмотря на то, что многие исследователи измеряли теплоемкость c_{ps} на линии насыщения, она исследована далеко недостаточно. Имеющиеся исследования [Л. 9—11] дают значения c_{ps} только до 56°С по линии жидкости и до 20 $\kappa\Gamma/\text{см}^2$ по линии насыщенного пара. Поэтому нами проведена экстраполяция значений c'_{ps} и c''_{ps} в направлении критической точки до 130°С. Правильность экстраполяции проверялась путем построения значений теплоемкости в различных системах координат.

160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280
0,56	0,56	0,56	0,57	0,57	0,58	0,58	0,58	0,59	0,59	0,60	0,60	0,61
0,58	0,58	0,58	0,59	0,59	0,59	0,59	0,60	0,60	0,61	0,61	0,61	0,62
0,61	0,61	0,60	0,60	0,60	0,61	0,61	0,61	0,62	0,62	0,62	0,62	0,63
0,63	0,63	0,62	0,62	0,62	0,62	0,63	0,63	0,63	0,64	0,64	0,64	0,64
0,66	0,65	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,65	0,65	0,65	0,65
0,69	0,68	0,67	0,67	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
0,73	0,71	0,70	0,69	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68
0,77	0,75	0,73	0,72	0,71	0,70	0,70	0,70	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
0,81	0,78	0,76	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72	0,71	0,71	0,71	0,70	0,70
0,86	0,83	0,80	0,78	0,76	0,75	0,75	0,74	0,73	0,73	0,73	0,72	0,72
0,92	0,87	0,84	0,81	0,79	0,78	0,77	0,76	0,76	0,75	0,74	0,74	0,73
0,99	0,93	0,89	0,86	0,84	0,82	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,75
1,08	1,03	0,95	0,91	0,88	0,86	0,83	0,82	0,81	0,79	0,78	0,78	0,76
1,21	1,10	1,03	0,97	0,93	0,90	0,87	0,85	0,84	0,82	0,80	0,79	0,78
1,44	1,25	1,13	1,05	1,00	0,95	0,92	0,89	0,86	0,84	0,83	0,81	0,80
1,76	1,47	1,27	1,15	1,07	1,01	0,96	0,92	0,90	0,87	0,85	0,83	0,81
2,54	2,12	1,71	1,49	1,32	1,18	1,08	1,02	0,98	0,94	0,91	0,88	0,86
2,37	2,31	2,08	1,83	1,61	1,41	1,26	1,15	1,07	1,01	0,97	0,94	0,91
2,03	2,08	2,06	2,02	1,90	1,68	1,46	1,27	1,14	1,07	1,02	0,98	0,95
1,88	1,92	1,93	1,91	1,85	1,74	1,56	1,35	1,19	1,11	1,07	1,03	0,99
1,66	1,71	1,72	1,70	1,65	1,57	1,47	1,35	1,25	1,18	1,12	1,09	1,05
1,42	1,45	1,45	1,45	1,42	1,38	1,33	1,28	1,23	1,15	1,12	1,12	1,10
1,32	1,32	1,32	1,31	1,29	1,26	1,22	1,20	1,17	1,14	1,12	1,10	1,09
1,22	1,21	1,20	1,20	1,19	1,17	1,15	1,12	1,10	1,07	1,06	1,05	1,04
1,15	1,15	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,06	1,05	1,05	1,02	1,01
1,10	1,10	1,09	1,08	1,07	1,06	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,01

При составлении таблиц термодинамических свойств NH_3 в области насыщения для расчета скрытой теплоты парообразования использованы данные, полученные Осборном и Ван Дузеном [Л. 11], которые измеряли величину r с большой точностью в интервале температур от -42 до $+52^\circ C$.

Результаты измерений хорошо описываются эмпирическим уравнением

$$r = 137,91 \sqrt{133 - t} - 2,466(133 - t),$$

где

$$r [\text{Дж/г}]; t [^\circ C].$$

Данные [Л. 11] пересчитаны на принятую критическую температуру $t_{кр} = 132,4^\circ C$ и по данным для удельных объемов на кривой насыщения доведены до критической точки.

Термодинамические свойства аммиака на кривой насыщения приведены в табл. 3.

ВЯЗКОСТЬ АММИАКА

Наиболее полное исследование вязкости аммиака проведено в последние годы И. Ф. Голубевым [Л. 12]. Исследование включает в себя измерения вязкости на кривой насыщения, а также в области жидкости и перегретого пара. Измерения проводились в интервале температур $30-$

Таблица 3. Линия насыщения аммиака (данные объемов, теплоемкостей, теплоты парообразования и вязкости)

$t, ^\circ C$	$\rho, \text{кг/см}^3$	$10^3 v', \text{м}^3/\text{кг}$	$10^3 v'', \text{м}^3/\text{кг}$	$r, \text{ккал/кг}$	$c_p', \text{ккал/кг}^\circ C$	$c_p'', \text{ккал/кг}^\circ C$	$10^3 \eta', \text{г/см} \cdot \text{сек}$	$10^3 \eta'', \text{г/см} \cdot \text{сек}$
-70	0,111	1,379	8947,9					
-60	0,223	1,401	4642,4					
-50	0,417	1,424	2634,5	338,6				
-40	0,732	1,450	1562,4	332,0				
-30	1,219	1,476	965,2	325,0	1,09	0,57		
-20	1,94	1,504	623,5	317,7	1,09	0,59		
-10	2,97	1,534	416,6	310,0	1,10	0,62		
0,0	4,38	1,567	290,2	301,7	1,12	0,65		
10	6,27	1,601	206,0	293,0	1,13	0,69		
20	8,74	1,639	149,9	283,6	1,14	0,73		
30	11,90	1,68	111,01	273,7	1,16	0,79	13 600	1 075
40	15,85	1,73	83,31	263,0	1,18	0,85	12 480	1 115
50	20,73	1,78	62,94	251,4	1,20	0,92	11 350	1 155
60	26,65	1,83	48,27	238,5	1,23	1,00	10 300	1 200
70	33,77	1,90	37,56	224,4	1,27	1,10	9 220	1 245
80	42,3	1,99	29,22	208	1,32	1,29	8 260	1 290
90	52,2	2,07	22,64	190	1,38	1,36	7 320	1 335
100	64,0	2,19	17,41	169	1,48	1,52	6 400	1 395
110	77,4	2,35	13,21	144	1,65	1,74	5 600	1 470
120	93,0	2,60	9,70	113	1,89	2,01	4 840	1 625
125							4 370	1 760
130	110,6	3,17	6,12	56	2,30	2,53	3 730	2 020
131,5							3 310	2 250
132,4	115,4	4,26	4,26	0,0			2 610	2 610

Таблица 4. Значения вязкости в области жидкости

$t, ^\circ\text{C}$	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
1	1,07	1,10	1,13	1,16	1,19	1,22	1,25	1,28	1,32	1,36	1,39
5	1,07	1,10	1,13	1,16	1,19	1,22	1,25	1,28	1,32	1,36	1,39
10			1,14	1,17	1,20	1,23	1,26	1,29	1,33	1,36	1,40
20					1,21	1,24	1,27	1,30	1,34	1,38	1,42
30	12,73	12,60				1,25	1,28	1,31	1,35	1,39	1,43
40	13,81	12,68	11,56	10,47		1,28	1,30	1,33	1,37	1,41	1,45
50	13,89	12,76	11,64	10,55	9,46	8,38	1,34	1,35	1,39	1,43	1,47
60	13,97	12,84	11,72	10,63	9,55	8,50	7,41	1,38	1,41	1,45	1,49
70	14,05	12,92	11,80	10,71	9,64	8,60	7,53	6,48		1,49	1,52
80	14,14	12,99	11,87	10,80	9,73	8,69	7,65	6,62	5,67	1,53	1,56
90	14,22	13,07	11,95	10,88	9,82	8,78	7,76	6,77	5,74		1,61
100	14,30	13,15	12,03	10,96	9,91	8,89	7,88	6,92	5,98	5,03	1,70
110	14,37	13,23	12,11	11,04	10,01	8,98	7,98	7,04	6,21	5,25	2,00
120	14,44	13,30	12,19	11,11	10,08	9,07	8,09	7,17	6,37	5,45	4,04
130	14,49	13,37	12,27	11,20	10,13	9,16	8,19	7,31	6,51	5,64	4,49
140	14,56	13,44	12,34	11,28	10,24	9,26	8,29	7,42	6,65	5,81	4,79
150	14,65	13,52	12,42	11,36	10,33	9,35	8,41	7,54	6,76	5,96	5,02
160	14,69	13,58	12,47	11,40	10,39	9,44	8,51	7,65	6,92	6,12	5,19
170	14,76	13,66	12,56	11,49	10,47	9,52	8,60	7,76	7,03	6,26	5,35
180	14,82	13,70	12,61	11,55	10,55	9,60	8,71	7,88	7,14	6,38	5,51
190	14,89	13,76	12,66	11,60	10,61	9,69	8,81	7,98	7,26	6,50	5,65
200	15,00	13,89	12,78	11,71	10,71	9,76	8,89	8,09	7,35	6,62	5,78
210	15,03	13,93	12,85	11,78	10,78	9,85	8,98	8,18	7,47	6,72	5,91
220	15,11	13,99	12,89	11,84	10,84	9,93	9,06	8,28	7,56	6,83	6,03
230	15,19	14,05	12,94	11,88	10,90	10,00	9,14	8,37	7,66	6,94	6,14
240	15,26	14,13	13,02	11,97	10,98	10,09	9,25	8,46	7,76	7,03	6,25
250	15,34	14,22	13,12	12,06	11,07	10,16	9,32	8,55	7,84	7,12	6,35
300	15,73	14,61	13,51	12,45	11,47	10,55	9,70	8,93	8,23	7,53	6,81
350	16,01	14,92	13,83	12,79	11,81	10,91	10,06	9,29	8,60	7,90	7,21
400	16,30	15,25	14,20	13,17	12,19	11,27	10,44	9,66	8,94	8,23	7,54
450	16,60	15,56	14,51	13,49	12,51	11,60	10,77	10,00	9,28	8,56	7,90
500	16,90	15,87	14,82	13,80	12,82	11,91	11,09	10,31	9,58	8,85	8,21
550	17,18	16,16	15,11	14,09	13,11	12,20	11,38	10,60	9,87	9,13	8,44
600	17,44	16,42	15,37	14,36	13,38	12,47	11,65	10,87	10,14	9,40	8,72
650	17,68	16,66	15,61	14,61	13,63	12,72	11,90	11,12	10,39	9,65	8,95
700	17,91	16,89	15,84	14,84	13,86	12,95	12,14	11,37	10,63	9,91	9,23
750	18,12	17,11	16,06	15,06	14,08	13,17	12,37	11,59	10,86	10,15	9,45
800	18,26	17,25	16,20	15,20	14,23	13,32	12,52	11,74	11,02	10,32	9,12

250° С и давлений 1—800 кг/см². Эти данные получены по совершенной методике и приняты нами при составлении таблиц в качестве основных. Нами проведено сравнение опытных данных И. Ф. Голубева [Л. 12] с данными Сэйджа [Л. 13], в результате чего установлено удовлетворительное согласие между ними.

Проверенная интерполяция и графоаналитическая обработка данных позволила устранить отдельные неточности эксперимента и получить надежные и подробные таблицы вязкости до 250° С и 800 кг/см² (табл. 4).

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. С. Казарновский. ЖФХ № 12, 1940.
2. Beattie a. Lawrence. J. Amer. Chem. Soc. № 52, 1930.
3. Mayers a. Jessup. Refrig. Engr. № 11, 1925.

4. Keyes. J. Amer. Chem. Soc. № 53, 1931.
5. И. Ф. Голубев, Э. Н. Вагина, Г. И. Волкова. Труды института азотной промышленности, вып. 7. Москва, 1957.
6. Osborne, Stimson, Sligh a. Gragoe. Sci. Pap. U. S. Bur. Stand. № 501, 1925.
7. P. Davies. Thermodynamic functions of gases, edited by F. Din. London, 1956.
8. Я. С. Казарновский, М. Х. Карапетьянц. ЖФХ 17, № 3, 1943.
9. Eucken a. Karwat. J. phys. Chem. № 112, 1924.
10. Glaugue a. Oversteet. J. Amer. Chem. Soc. № 59, 1937.
11. Osborne a. Van Dusen. J. Amer. Chem. Soc. № 40, 1918. Sci. Pap. u. S. Bur. Stand. № 315, 1917, A. S. R. E. J. 4, 1917.
12. И. Ф. Голубев. Вязкость газов и газовых смесей. Физматиздат, 1959.
13. Sage. Jnd. End. Chem. 44, № 11, 1952.

и перегретого пара аммиака $\tau \cdot 10^4$, кг/м·сек

140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
1,43	1,46	1,50	1,53	1,57	1,60	1,64	1,67	1,71	1,74	1,78	1,81
1,43	1,46	1,50	1,53	1,57	1,61	1,64	1,68	1,71	1,75	1,78	1,82
1,44	1,47	1,50	1,54	1,58	1,61	1,65	1,69	1,72	1,75	1,79	1,82
1,45	1,48	1,51	1,55	1,59	1,62	1,66	1,70	1,73	1,76	1,80	1,83
1,47	1,50	1,53	1,56	1,60	1,64	1,67	1,71	1,74	1,77	1,81	1,84
1,48	1,52	1,55	1,58	1,62	1,65	1,69	1,72	1,75	1,78	1,82	1,85
1,51	1,54	1,56	1,60	1,63	1,66	1,69	1,72	1,76	1,79	1,82	1,86
1,52	1,56	1,59	1,62	1,65	1,68	1,72	1,75	1,78	1,81	1,85	1,88
1,55	1,59	1,62	1,65	1,68	1,70	1,73	1,77	1,80	1,83	1,86	1,89
1,58	1,62	1,64	1,67	1,70	1,72	1,75	1,78	1,81	1,85	1,88	1,91
1,63	1,65	1,68	1,70	1,73	1,75	1,77	1,80	1,83	1,86	1,89	1,92
1,69	1,69	1,70	1,73	1,75	1,78	1,80	1,83	1,86	1,89	1,92	1,94
1,80	1,73	1,74	1,76	1,78	1,81	1,84	1,87	1,89	1,92	1,94	1,96
2,04	1,79	1,78	1,79	1,82	1,84	1,87	1,90	1,92	1,94	1,96	1,98
2,72	1,99	1,83	1,85	1,87	1,89	1,91	1,93	1,94	1,96	1,98	2,00
3,45	2,21	1,90	1,90	1,92	1,92	1,93	1,95	1,97	1,99	2,01	2,03
3,85	2,51	2,03	1,98	1,96	1,96	1,97	1,99	2,00	2,02	2,04	2,04
4,15	3,07	2,22	2,14	2,08	2,04	2,02	2,03	2,04	2,05	2,07	2,08
4,37	3,42	2,50	2,30	2,19	2,12	2,08	2,09	2,09	2,09	2,10	2,10
4,57	3,69	2,82	2,50	2,31	2,20	2,14	2,14	2,14	2,14	2,13	2,13
4,75	3,92	3,09	2,65	2,41	2,27	2,21	2,20	2,19	2,18	2,17	2,16
4,91	4,08	3,32	2,80	2,51	2,35	2,27	2,23	2,21	2,21	2,21	2,19
5,05	4,28	3,53	2,98	2,65	2,46	2,36	2,28	2,24	2,23	2,23	2,23
5,20	4,44	3,72	3,21	2,86	2,61	2,44	2,34	2,29	2,26	2,26	2,27
5,34	4,59	3,89	3,37	2,99	2,72	2,54	2,41	2,33	2,30	2,30	2,31
5,46	4,73	4,06	3,55	3,15	2,84	2,63	2,49	2,41	2,36	2,35	2,35
5,58	4,86	4,21	3,69	3,29	2,97	2,73	2,59	2,50	2,44	2,40	2,39
6,11	5,44	4,86	4,35	3,92	3,56	3,28	3,08	2,93	2,82	2,73	2,65
6,53	5,94	5,40	4,90	4,46	4,09	3,80	3,57	3,38	3,21	3,07	2,93
6,89	6,34	5,84	5,37	4,94	4,56	4,24	3,93	3,76	3,57	3,39	3,23
7,28	6,72	6,21	5,75	5,33	4,96	4,64	4,36	4,12	3,91	3,71	3,58
7,59	7,01	6,54	6,09	5,68	5,32	4,99	4,72	4,46	4,23	4,02	3,82
7,83	7,27	6,80	6,37	5,98	5,64	5,30	5,01	4,74	4,52	4,32	4,11
8,09	7,52	7,04	6,61	6,23	5,89	5,58	5,30	5,03	4,79	4,58	4,39
8,32	7,76	7,26	6,84	6,47	6,13	5,84	5,54	5,27	5,04	4,84	4,65
8,58	8,00	7,50	7,08	6,71	6,39	6,09	5,82	5,56	5,32	5,12	4,91
8,80	8,25	7,76	7,34	6,98	6,64	6,33	6,04	5,78	5,54	5,32	5,12
8,97	8,40	7,93	7,51	7,16	6,82	6,51	6,21	5,95	5,69	5,47	5,28

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭНТРОПИЙНЫХ ДИАГРАММ ДЛЯ ПАРОГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

Канд. техн. наук Г. А. МИХАЙЛОВСКИЙ
Ленинградский институт водного транспорта

Состояние парогазовой смеси определяется в общем случае тремя независимыми параметрами, что чрезвычайно усложняет аналитические методы расчета. Это вызывает настоятельную необходимость в создании диаграммы $i-s$ для смеси и в то же время исключает возможность стро-го и просто построить такую диаграмму на плоскости, так как уравнение с тремя независимыми

переменными геометрически интерпретируется поверхностью.

Совмещенные диаграммы $i-s$, предложенные Бошняковичем [Л. 1] для преодоления этих трудностей, позволяют изображать только проекции кривой процесса. Это наиболее легкое решение сложной проблемы не может быть признано удовлетворительным, так как оно чрезвычайно