

Н. В. Жаворонков

Справочник азотчика

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 54
ББК 24
Н11

Н11 **Н. В. Жаворонков**
Справочник азотчика / Н. В. Жаворонков – М.: Книга по Требованию, 2021. – 457 с.

ISBN 978-5-458-33402-0

Приведены теоретические основы и технология процессов получения разбавленной, концентрированной и особо чистой азотной кислоты и азотных удобрений. Рассмотрены современное оборудование, принципы автоматизации. Описаны свойства и области применения конструкционных материалов. Даны рекомендации для выбора тепло- и электротехнического оборудования

ISBN 978-5-458-33402-0

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

III. МАТЕРИАЛЫ, КОМПРЕССОРЫ И ГАЗГОЛЬДЕРЫ

Ответственный редактор <i>Б. М. Гусев</i>	288
1. Металлы и сплавы	288
Углеродистые и легированные стали и сплавы, контактирующие с паром и газовыми средами	
<i>О. М. Копьева, Н. Ф. Черменская</i>	288
Коррозионная стойкость в газовых средах	
<i>О. М. Копьева, Н. А. Михайлова</i>	289
Углеродистые теплостойкие стали для аппаратов и трубопроводов агрегатов аммиака	
<i>О. М. Копьева, В. А. Смирнова</i>	295
Жаропрочные стали и сплавы	
<i>Н. Ф. Черменская</i>	305
Нержавеющие стали и сплавы	
<i>Н. М. Пахомова</i>	314
Высокохромистые стали	
<i>И. М. Хохлова</i>	328
Высококремнистые стали	
<i>Н. М. Васильева, Л. М. Яковлев</i>	331
Титан	
<i>Л. М. Яковлев</i>	336
Алюминий	
<i>Н. М. Пахомова</i>	340
2. Неметаллические химически стойкие материалы	342
<i>С. М. Марухина</i>	
3. Тепловая защита оборудования блоков парового риформинга природного газа	
<i>Э. Г. Вакк</i>	347
Конструктивное оформление тепловой защиты	352
Огнеупоры	355
Причины нарушения тепловой защиты	357
4. Турбокомпрессорное оборудование агрегатов неконцентрированной азотной кислоты	
<i>В. Д. Доброхотов</i>	360
5. Компрессоры	
<i>С. К. Бененсон</i>	368
6. Газгольдеры	
<i>А. К. Упадышев</i>	368
7. Организация ремонтной службы	
<i>Э. И. Шкловский</i>	379

IV. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

1. Общая часть	
<i>Е. Н. Приклонский</i>	385
Расчет суммарных нагрузок	388
Расчет времени использования максимальной нагрузки и потерь	388
2. Классификация производственных помещений и наружных установок по пожаро- и взрывоопасности	
<i>Л. Г. Ежова</i>	389
3. Электроснабжение	
<i>Е. Н. Приклонский</i>	402
4. Электрооборудование	
<i>Л. Г. Ежова</i>	404

V. ДАННЫЕ О РАЗВИТИИ АЗОТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

<i>А. Н. Афанасьев</i>	419
------------------------	-----

VI. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

<i>В. Ф. Заказнов, Г. М. Антощенко, М. Т. Матюхина</i>	428
Библиографический список	444
Предметный указатель	456

ПРЕДИСЛОВИЕ

Азотная промышленность является одной из быстро развивающихся отраслей. За годы, прошедшие после выхода в свет первого издания «Справочника азотчика» (1 т. — 1967 г., 2 т. — 1969 г.), разработаны, запроектированы, построены и успешно эксплуатируются на основе энерготехнологических схем высокоавтоматизированные одиолинейные технологические линии большой единичной мощности (в 7—10 раз превышающие мощности агрегатов, введенных ранее в строй). В соответствии с решениями XXVII съезда КПСС в азотной промышленности развиваются и в перспективе будут развиваться энерго- и ресурсосберегающие технологии, повышается производительность труда, улучшается качество широкого ассортимента выпускаемых продуктов, в первую очередь аммиака, азотной кислоты (в частности, особой чистоты), минеральных удобрений. Количественный и качественный рост азотной промышленности, несомненно, будет способствовать успешной реализации Продовольственной программы и Комплексной программы химизации народного хозяйства СССР до 2000 года.

Все эти направления нашли отражение в первой книге второго издания «Справочника азотчика» (1986 г.) и во второй книге, предлагаемой вниманию читателей.

Редколлегия и авторский коллектив «Справочника азотчика» стремились обеспечить многочисленный отряд инженерно-технических работников химических предприятий, сотрудников научно-исследовательских, проектно-конструкторских и других организаций, а также профессорско-преподавательский состав и студентов вузов современным справочным материалом, в основе которого лежат новейшие достижения науки и техники и обобщенный опыт работы предприятий азотной промышленности.

Редакционная коллегия надеется, что второе издание «Справочника азотчика» явится полезным руководством для работников быстро развивающейся азотной промышленности.

Редакционная коллегия

1. ПРОИЗВОДСТВО АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ

Ответственные редакторы: М. М. Караваев и В. М. Олевский

Азотная кислота является одним из исходных продуктов для получения большинства азотсодержащих веществ. До 70—80% ее количества расходуется на получение минеральных удобрений. Одновременно азотная кислота применяется при получении взрывчатых веществ почти всех видов, нитратов и ряда других технических солей; в промышленности органического синтеза; в ракетной технике, как окислитель в различных процессах и во многих других отраслях народного хозяйства.

Промышленностью вырабатывается неконцентрированная (до 60—62% HNO_3) и концентрированная (98—99% HNO_3) кислота. Имеются указания на организацию производства кислоты промежуточной (75—85% HNO_3) концентрации. В небольших объемах выпускается реактивная кислота и азотная кислота особой чистоты.

За послевоенный период производство азотной кислоты непрерывно возрастало и составило [1] в капиталистических и развивающихся странах (млн. т 100% HNO_3):

Годы	1953	1965	1974	1980
Выпуск	5,0	12,4	20,0	27,0

Основными производителями кислоты являются США, Франция, ФРГ, Италия, Испания и Англия, на долю которых приходится свыше 75% всей выработанной в 70-х годах азотной кислоты. К 80-м годам производство азотной кислоты в капиталистических странах стабилизировалось. Рост производства происходит за счет обновления предприятий, а также организации выпуска азотной кислоты в развивающихся странах.

В Советском Союзе производство неконцентрированной азотной кислоты увеличивается более высокими темпами:

Годы	1960	1970	1975	1980
Выпуск, %	100	317,8	506,5	562,8

В ближайшие десятилетия ожидается увеличение доли азотной кислоты, используемой для производства сложных удобрений. Возможно также некоторое повышение ее концентрации.

Все промышленные способы получения азотной кислоты основаны на контактном окислении аммиака кислородом воздуха с последующей переработкой оксидов азота в кислоту путем поглощения их водой. Основными стадиями производства неконцентрированной азотной кислоты являются очистка сырья, каталитическое окисление аммиака, утилизация тепла, вывод из нитрозного газа реакционной воды, абсорбция оксидов азота, очистка газовых выбросов. К современным тенденциям развития технологии относятся: обеспечение наибольшей надежности конструкций аппаратуры и машинных агрегатов; повышение степени кислотной абсорбции, а также степени использования тепла химических реакций и к. п. д. энергии сжатых газов; снижение вредных выбросов в атмосферу.

Неконцентрированная азотная кислота должна удовлетворять требованиям ОСТ-6-03-270—76:

	Высший сорт	1-й сорт	2-й сорт
Внешний вид	Бесцветная или слегка желтоватая прозрачная жидкость без механических примесей		
Содержание, %			
азотной кислоты, не менее . .	57,0	56,0	46,0
оксидов азота в пересчете на N_2O_4 , не более	0,07	0,1	0,2
прокаленного остатка, не более	0,004	0,02	0,05

Концентрированную азотную кислоту получают путем перегонки 56—60% HNO_3 в присутствии водоотнимающих средств (серной кислоты или плава нитрата магния) и прямым синтезом. В последние годы освоено производство концентрированной азотной кислоты путем разгонки 75—85%-ной HNO_3 , которую получают под давлением до 1,0 МПа из обычных нитрозных газов, образующихся при конверсии аммиака воздухом.

Концентрированная азотная кислота должна соответствовать требованиям ГОСТ 701—78:

Содержание, % (масс.)	Высший сорт	1-й сорт	2-й сорт
Азотная кислота, не менее			
полученная методом концентрирования	98,9	98,2	97,5
полученная прямым синтезом	98,6	98,2	97,5
Серная кислота, не более . .	0,04	0,05	0,06
Оксиды азота N_2O_4 , не более	0,2	0,3	0,3
Остаток после прокаливания, не более			
для кислоты, получаемой методом концентрирования	0,005	0,015	0,030
для кислоты, получаемой прямым синтезом	0,009	0,015	0,030

Для кислоты 2-го сорта, получаемой прямым синтезом и являющейся побочным продуктом, допускается концентрация не менее 97,0% HNO_3 . Для кислоты, получаемой прямым синтезом, содержание серной кислоты не определяют.

1. СЫРЬЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

М. М. Караваяев, А. К. Чернышев, А. Ф. Ильченко, М. И. Куча

Сырьем для производства азотной кислоты являются аммиак, воздух и вода. При получении концентрированной азотной кислоты методом прямого синтеза используется технический кислород. Вспомогательными материальными и энергетическими ресурсами являются катализаторы окисления аммиака и очистки выхлопных газов, природный газ, пар и электроэнергия.

Т а б л и ц а I,1. Энтальпия газов и газовых смесей при различных температурах (Дж/моль)

Температура, °С	Воздух (сух.)	O ₂	N ₂	NH ₃	NO	Водяной пар
100	2834,5	2960,0	2867,9	3617,4	2897,2	3311,7
200	5706,6	6008,1	5802,9	7548,8	5890,6	6753,3
300	8620,6	9143,9	8800,6	11790,0	8951,4	10320,4
400	11568,1	12355,2	11852,8	16315,9	12087,3	14004,8
500	14553,3	15637,7	14967,8	21126,6	15286,0	17843,3
600	17576,2	18987,1	18133,0	26188,4	18555,9	21725,3
700	20636,7	22995,2	21352,2	31497,3	21867,0	25757,2
800	23739,1	25853,5	24614,2	37040,6	25254,8	29897,9
900	26875,0	29357,8	27925,9	42814,2	28679,6	34143,3
1000	30048,6	32904,0	31279,6	48780,4	32133,7	38493,4

Аммиак. В обычных условиях представляет собой бесцветный газ с резким запахом, хорошо растворим в воде и других растворителях, образует геми- и моногидраты. В жидком состоянии аммиак — бесцветная подвижная ассоциированная жидкость, практически не проводит электрического тока. Основные свойства аммиака приведены в Справочнике азотчика, книга I и в работах [2, 3].

Содержание примесей в жидком аммиаке регламентируется ГОСТ 6221—82. Наиболее типичными примесями являются вода, смазочные масла, катализаторная пыль, окалина, карбонат аммония, растворенные газы (водород, азот, метан). При нарушении требований ГОСТ содержащиеся в аммиаке примеси могут попасть в аммиачно-воздушную смесь и снизить выход оксида азота II, а водород и метан могут изменить пределы взрываемости АВС.

Воздух. Для технических расчетов принимают, что сухой воздух содержит [% (об.)]: N₂—78,1, O₂—21,0, Ar₂—0,9; содержание водяных паров колеблется от 0,1 до 2,8% (об.).

В воздухе могут присутствовать также следы SO₂, NH₃, CO₂. В районе промышленных площадок воздух загрязнен пылью различного происхождения, а также разнообразными компонентами неорганизованных газовых выбросов (SO₂, SO₃, H₂S, C₂H₂, Cl и др.). Количество пыли в воздухе составляет 0,5—1,0 мг/м³.

В табл. I,1 приведены энтальпии воздуха и других газов, присутствующих в газовой смеси на стадии конверсии аммиака.

Смеси аммиака с воздухом и кислородом взрывоопасны. Концентрационные пределы взрываемости (КПВ) смесей NH₃—O₂—N₂ (при 20 °С и 0,1013 МПа) приведены в табл. I,2.

Т а б л и ц а I,2. Пределы взрываемости смесей NH₃—O₂—N₂ [% (об.) NH₃]

Предел взрываемости	Содержание кислорода в смеси, % (об.)						
	100	80	60	50	40	30	20
Нижний	13,5	18,0	19,0	19,0	18,0	17,0	22,0
Верхний	82,0	77,0	69,0	64,0	57,0	46,0	31,0

С повышением температуры концентрационные пределы взрываемости аммиачно-воздушной смеси (АВС) расширяются, а с увеличением содержания водяного пара сужаются. Увеличение давления способствует снижению нижнего КПВ.

Температура горения стехиометрической АВС (22% NH_3) составляет 2040 °С. Скорость распространения пламени не превышает 0,3 м/с [3, 4].

Вода. Используется в производстве азотной кислоты для орошения абсорбционной колонны, для выработки пара при утилизации тепла в котлах-утилизаторах, для охлаждения реакционных аппаратов. Для абсорбции оксидов азота используют чаще всего паровой конденсат и химически очищенную воду. В некоторых схемах разрешено применение конденсата сокового пара (КСП) аммиачной селитры. В любом случае вода, используемая для орошения колонн, не должна содержать свободного аммиака и твердых взвесей, содержание хлорид-иона должно быть не более 2 мг/л, масла — не более 1 мг/л, NH_4NO_3 — не более 0,5 г/л (особое разрешение). Химически очищенная вода для котлов-утилизаторов должна соответствовать требованиям ГОСТ 20995—75 и ОСТ-108.034.02—79.

Техническая вода, предназначенная для отвода тепла в теплообменниках и охлаждения оборудования (оборотная вода), должна соответствовать следующим требованиям:

Жесткость карбонатная, мэкв/кг . . .	Не более 3,6
Содержание взвешенных веществ, мг/кг	Не более 50
Значение pH	6,5—8,5

Кислород. Применяется преимущественно в производстве концентрированной азотной кислоты по методу прямого синтеза. В отдельных случаях используется для обогащения АВС при получении неконцентрированной азотной кислоты. Сведения о свойствах кислорода и требования к его составу приведены в Справочнике азотчика, книга 1.

2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОКСИДОВ АЗОТА И АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ

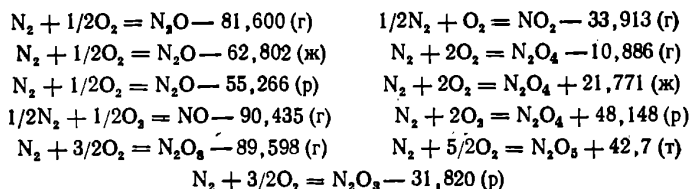
М. М. Караваев, А. К. Чернышев, А. Ф. Ильченко, М. И. Куца

Из многочисленных кислородных соединений азота в технологии азотной кислоты наибольшее значение имеют оксид NO и диоксид NO_2 азота, его димер N_2O_4 и азотная кислота. В меньшей степени исследователей и технологов интересуют свойства оксидов азота (I) N_2O , (III) N_2O_3 и (V) N_2O_5 и азотистой кислоты HNO_2 . Особый интерес представляют свойства растворов азотной кислоты и оксидов азота.

Свойства оксидов азота

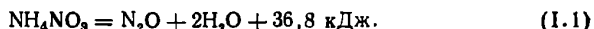
Оксиды азота (I), (II), (III), (IV) при нормальных условиях находятся в газообразном состоянии, оксид азота (V) — в твердом. Все оксиды, за исключением NO_2 , бесцветны, молекулы NO_2 окрашены в коричнево-красный цвет.

Ниже приведены теплоты образования оксидов азота $-\Delta H^\circ_{298}$ из простых веществ [5] (кДж/моль):



Оксид азота (I) N_2O — единственный оксид азота, который не оказывает вредного воздействия на организм. Имеет приятный запах, сладковатый вкус, является анестезирующим средством. При высокой температуре проявляет окислительные свойства. Смеси оксида азота (I) с водородом, аммиаком и оксидом углерода (II) взрывоопасны.

В промышленных условиях N_2O получают термическим разложением нитрата аммония при 200—270 °C:

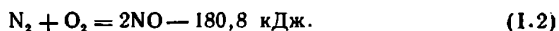


В качестве побочного продукта в небольших количествах N_2O образуется при конверсии аммиака на платиноидном катализаторе. При использовании оксидных катализаторов на основе марганца [6] можно достичь значительной степени превращения аммиака в N_2O (см. также [7]).

Оксид азота NO обладает парамагнитными свойствами из-за нечетного числа внешних электронов. Образуется при каталитическом окислении аммиака и является промежуточным соединением в технологии азотной кислоты. На воздухе окисляется до NO_2 .

В лабораторных условиях NO может быть получен по методике, описанной в работе [18].

Может быть получен при взаимодействии азота и кислорода при высоких температурах и давлениях [6, 8]



Основные свойства оксида азота (II) [6, 9, 10]:

Относительная молекулярная масса	30,006
Молярный объем, м ³ /кмоль*	22,388
Плотность при 20 °C, т/м ³	1340
Стандартная энергия Гиббса, кДж/моль	86,746
Стандартная энтропия, Дж/(моль·K)	210,759
Критическая температура, °C	-92,9
Критическое давление, МПа	6,335
Температура (при 0,1013 МПа), °C	
кипения	-151,8
плавления	-163,6
Теплоемкость при 0,1013 МПа, Дж/(кг·K) при	
13—171 °C	4065[11]

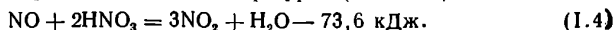
* Объем газа приведен к нормальным условиям.

Давление паров над жидким оксидом азота (II) можно вычислить по уравнению (Па)

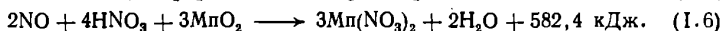
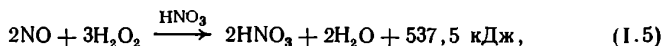
$$\lg P = 11,687 - 776/T - 0,002364T. \quad (\text{I.3})$$

Оксид азота (II) вступает в реакции окисления, восстановления, присоединения. Со щелочами и кислотами не взаимодействует. Проявляет окислительные свойства в реакциях с такими восстановителями, как водород, метан, аммиак и др. На этом основаны промышленные способы обезвреживания выхлопных газов азотнокислотных производств.

Восстановительные свойства NO проявляет в реакциях с сильными окислителями: кислородом, пероксидом водорода, перманганатом калия, диоксидом марганца и др. Энергично идет окисление оксида азота NO азотной кислотой, особенно при повышенных температурах (65—75 °C)



При добавлении к раствору азотной кислоты окислителя, например H_2O_2 или MnO_2 увеличивается скорость и степень окисления NO [12]. Причем в растворе азотной кислоты H_2O_2 и MnO_2 окисляют NO необратимо и предельно глубоко — до образования соединений азота (V):



Оксид азота (II) легко реагирует с хлором в газовой и жидкой средах, образуя коррозионно-активный нитрозилхлорид, способный накапливаться в 28—32%-ных растворах азотной кислоты.

Оксид азота (II) слабо растворим в воде. Растворимость NO в воде $\beta \cdot 10^3$ при 0,1013 МПа составляет:

Температура, °C	0	10	20	40	60	80
$\beta \cdot 10^3, \text{ м}^3/\text{м}^3$	73,81	57,09	47,06	35,07	29,54	27,0

Наименее растворим NO в серной кислоте и насыщенном растворе NaCl, относительно хорошо поглощается водными растворами солей железа (II) и сульфата натрия с образованием комплексных соединений $[\text{Fe}(\text{NO})\text{SO}_4]$, $[\text{Fe}(\text{NO})\text{Cl}_2]$, $\text{Na}_2[\text{SO}_3(\text{NO})_2]$ [13].

Оксид азота (IV) существует в виде коричнево-красного соединения и его бесцветного димера — тетроксид азота N_2O_4 . В твердом и жидком состоянии находится преимущественно в виде N_2O_4 . Жидкий тетроксид окрашен примесью NO_2 (0,03—0,13%) в красно-бурый цвет.

Физико-химические свойства оксида азота (IV), представляющего собой равновесную смесь NO_2 и N_2O_4 , приведены ниже:

Относительная молекулярная масса	
NO_2	46,008
N_2O_4	92,016
Молярный объем N_2O_4 при н. у., $\text{м}^3/\text{кмоль}$	22,370
Плотность жидкого оксида азота (IV) при 0 °C, $\text{кг}/\text{м}^3$	1490,5
Стандартная энергия Гиббса, кДж/моль	
NO_2 (газ)	51,87
N_2O_4 (газ)	97,89
N_2O_4 (ж)	97,51
N_2O_4 (кр.)	99,58
Стандартная энтропия, Дж/(моль · К)	
NO_2 (газ)	240,32
N_2O_4 (газ)	304,38
N_2O_4 (ж)	209,34
N_2O_4 (кр.)	150,39

Изобарная теплоемкость при стандартных условиях, Дж/(моль·К)

NO ₂ (газ)	37,93
N ₂ O ₄ (газ)	79,13
N ₂ O ₄ (ж)	142,8
Критические параметры	
температура, °C	158,2
давление, МПа	9,807
объем, м ³ /кг	1,817·10 ⁻³
плотность, кг/м ³	557,0
Температура при 0,1013 МПа, °C:	
плавления	-11,2
кипения	21,15
Теплота при -11 °C, кДж/кг	
плавления	159,1
испарения	414,49
Удельная теплоемкость жидкости при -10÷20 °C, кДж/(кг·К)	
	1,5072
Вязкость при 0 °C, мПа·с	
	0,5275
Давление насыщенного пара, Па	
при 0 °C	35010
при 20 °C	93163
Поверхностное натяжение при 20 °C, Н/м	
	2,65·10 ⁻²

Более полные сведения о термодинамических свойствах оксида азота (IV) приведены в работе [14].

При взаимодействии с водой оксид азота (IV) образует азотную и азотистую кислоты, со щелочами — смесь нитратов и нитритов. Он хорошо поглощается серной кислотой с образованием нитрозилсерной кислоты HNSO₄, обладает высокой растворимостью в концентрированной азотной кислоте, трибутилфосфате, диметилфталате и других растворителях.

Т а б л и ц а 1,3. Плотность ρ газообразной смеси $N_2O_4 \rightleftharpoons 2NO_2$ (кг/м³)

T, К	Давление, Па			T, К	Давление, Па		
	0,1013·10 ⁶	74980	33440		0,1013·10 ⁶	74980	33440
290	3,414	3,352	3,152	400	1,428	1,422	1,411
300	3,130	3,053	2,819	420	1,346	1,343	1,339
320	2,540	2,449	2,216	440	1,280	1,278	1,276
340	2,043	1,974	1,828	460	1,221	1,221	1,220
360	1,726	1,688	1,621	490	1,145	1,145	1,145
380	1,542	1,526	1,499				

Т а б л и ц а 1,4. Вязкость μ и теплоемкость C_p системы $N_2O_4 \rightleftharpoons 2NO_2$ при атмосферном давлении и различных температурах

T, К	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	C_p , кДж/(кг·К)	T, К	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	C_p , кДж/(кг·К)
300	1,33	5,3989	900	4,03	1,1237
400	2,13	1,8125	1000	4,34	1,1484
500	2,58	0,9697	1100	4,64	1,1660
600	2,98	1,0078	1200	4,92	1,1815
700	3,35	1,0551	1280	5,15	1,1928
800	3,70	1,0365			

Т а б л и ц а 1.5. Вязкость μ и теплоемкость C_p системы $N_2O_4 \rightleftharpoons 2NO_2$ при различном давлении

P , Па	$\mu \cdot 10^5$, Па·с	C_p , кДж/(кг·К)	$\mu \cdot 10^5$, Па·с	C_p , кДж/(кг·К)
П р и 300 К			П р и 600 К	
1013,25	1,62	4,9371	2,98	1,0061
10132,5	1,49	9,9177	2,98	1,0065
$0,1013 \cdot 10^6$	1,33	5,3989	2,98	1,0078
$0,98067 \cdot 10^6$	1,25	2,3655	2,98	1,0224
$9,8067 \cdot 10^6$	1,23	1,3272	2,98	1,1614

Т а б л и ц а 1.6. Давление насыщенного пара оксида азота (IV) при различной температуре*

t , °C	P , Па	t , °C	P , кПа
-100	146,65	21	101,32
-80	706,60	38	207,53
-30	3502,4	66	627,50
-25	9332,5	93	1620,3
-11	18638	121	3750,1
+1	35464	149	7997,6
10	60528	159	101280
15	75913		

* Жидкий N_2O_4 способен к переохлаждению, поэтому давление насыщенного пара над ним измерено для температур более низких, чем температура кристаллизации.

Т а б л и ц а 1.7. Теплота испарения жидкого N_2O_4 (ΔH°) при различных давлениях и температурах

P , МПа	t , °C	ΔH° , кДж/кг	P , МПа	t , °C	ΔH° , кДж/кг
0,1013	21	410,73	2,7164	110	418,68
0,1667	32	430,00	3,7461	121	381,84
0,2158	38	435,85	4,3934	127	376,81
0,4119	54	443,38	5,9526	138	330,34
0,6276	66	444,19	7,9924	149	245,77
0,9316	77	461,39	9,2084	154	167,05
1,3533	88	441,29	10,1303	158	0,0
1,9417	99	433,33			

Т а б л и ц а 1.8. Теплоемкость N_2O_4 в условиях насыщения

T , К	C_p , кДж/(кг·К)	T , К	C_p , кДж/(кг·К)
294,26	1,6295	344,26	1,8171
299,82	1,6333	355,37	1,9410
310,93	1,6462	360,94	2,0130
322,04	1,6714	372,04	2,1717
333,15	1,7212	377,59	2,2638