



**ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ
И ГАЗОВЫХ КОНДЕНСАТОВ**

В. А. Казарян

622.32
У-14

622.32
К-14

ПРЕДУСЛОВИЕ

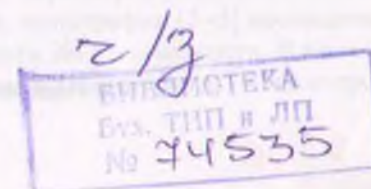
В. А. Казарян

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ И ГАЗОВЫХ КОНДЕНСАТОВ

74535



Москва
2002



И. А. Казарян

В. А. Казарян

Теплофизические свойства индивидуальных углеводородов и газовых конденсатов. — М.: Издательство «Техника».

ООО «ТУМА ГРУПП», 2002. — 448 с.

ISBN 5-93969-019-X

В книге рассмотрены методы исследования и конструкции приборов для измерения плотности, вязкости и теплопроводности газов и жидкостей в широком диапазоне давлений и температур. Приводится обширный справочный материал по теплофизическим свойствам индивидуальных углеводородов, газовых конденсатов и их фракций.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников научно-исследовательских институтов, проектных организаций и специалистов, работающих непосредственно в промышленности.

© В. А. Казарян, 2002

© Издательство «Техника». ООО «ТУМА ГРУПП», 2002

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая читателям монография В. А. Казаряна является первой работой такого масштаба, представляющей теплофизические свойства широкого класса индивидуальных углеводородов и их природных смесей — газовых конденсатов при различных значениях параметров состояния. В книге излагаются методы исследования и конструктивные решения по созданию установок и приборов по определению теплофизических свойств широкого класса органических жидкостей и газов при различных температурах и давлениях. В конце каждого раздела приводится табличный материал рекомендуемых данных по свойствам индивидуальных углеводородов и газовых конденсатов.

Знание теплофизических свойств индивидуальных углеводородов и газовых конденсатов для современной техники, в особенности для газовой и нефтяной промышленности, химической технологии, а так же, в целом, для энергетики трудно переоценить, если учесть, что диапазон температур и давлений, при которых реализуются процессы извлечения углеводородов из недр, промысловая подготовка и дальнейшая их транспортировка и переработка в промышленных установках, постоянно расширяется. Поэтому понятно, насколько нужны надежные данные по теплофизическим свойствам индивидуальных углеводородов и газовых конденсатов для реализации высокоэффективных технологий разработки газовых, газоконденсатных и нефтяных месторождений и для тепловых расчетов различных промышленных установок по переработке нефти, природного газа и газового конденсата, получения углеводородов и полимеров.

Теория жидкого состояния в настоящее время не может быть использована для описания свойств реальных жидкостей, в частности углеводородов, принадлежащих к различным гомологическим рядам и особенно их многокомпонентных смесей — газовых конденсатов и их фракций, в достаточно широком интервале температур и давлений. Поэтому для развития теории жидкого состояния очень важны экспериментальные исследования теплофизических свойств жидкости и их смесей.

В настоящее время имеется большое количество публикаций по теплофизическим свойствам индивидуальных углеводородов. Однако, существующие книги [1–9], каждая в отдельности, посвящены описанию, в основном, только одного из параметров теплофизических свойств газов и жидкостей. В частности, монографии [2–5] посвящены рассмотрению теплопроводности, а книги [6–8] — вязкости. В монографии [9] рассматриваются одновременно два параметра — теплопро-

водность и теплоемкость, а в справочник [1] не вошли данные по теплофизическим свойствам индивидуальных углеводородов, полученные в последние годы.

Таким образом, в настоящее время отсутствует монографическая или справочная литература, где систематизированно в одной книге одновременно даются значения нескольких параметров теплофизических свойств индивидуальных углеводородов, включая публикации в последние годы, удобные для пользования специалистами промышленности.

Что касается газовых конденсатов и их фракций, то опубликовано относительно небольшое количество работ по их теплофизическим свойствам, и все они представлены только в периодической литературе. По многим исследованиям вообще нет публикаций. В частности результаты многолетних исследований автора по свойствам газовых конденсатов и их фракций, представленные в данной книге, публикуются впервые.

Поэтому в настоящее время назрела необходимость собрать, проанализировать, систематизировать имеющийся в литературе материал по теплофизическим свойствам индивидуальных углеводородов (с учетом опубликованных в последние годы), газовых конденсатов и их фракций и представить в виде единой книги, где комплексно приводятся значения величин по трем параметрам — плотность, вязкость, теплопроводность в широком интервале параметров состояний.

Выше изложенное позволяет утверждать, что предлагаемая читателям книга безусловно вызовет интерес и будет полезной для широкого круга инженерно-технических работников научно-исследовательских институтов, проектных организаций и специалистов, работающих в различных отраслях промышленности.

Академик РАН А. И. Леонтьев

ВВЕДЕНИЕ

В книге приводятся результаты исследований и табличные данные по теплофизическим свойствам (плотность, вязкость, теплопроводность) индивидуальных углеводородов и их природных смесей — газовых конденсатов, имеющиеся в литературе по настоящему времени.

Необходимость написания книги обусловлена отсутствием систематизированного справочного материала по теплофизическим свойствам индивидуальных углеводородов и газовых конденсатов, удобных для пользования прежде всего специалистами при разработке проектов эксплуатации нефтяных и газовых, газонефтяных и газоконденсатных месторождений и газонефтеперерабатывающих заводов, а также транспортно-распределительных коммуникаций. В частности для расчета тепломассообменных процессов и аппаратов промышленной подготовки нефти и газа, газофракционирующих заводов, химических производств, а также при транспорте, хранении, распределении и использовании углеводородов и газовых конденсатов.

В настоящее время накоплен обширный экспериментальный и расчетный материал по теплофизическим свойствам индивидуальных углеводородов. Имеются многочисленные статьи в периодической литературе и десяток книг, монографии и справочники. Однако, каждая из этих книг и монографий посвящена описанию отдельно взятого только одного параметра теплофизических свойств.

В полном объеме имеющиеся в настоящее время данные по теплофизическим свойствам газовых конденсатов и их фракций в табличном виде в периодической литературе отсутствуют. Поэтому автор во многих случаях пользовался непосредственно диссертационными работами отдельных исследователей.

В приводятся методы и конструкции приборов и установок для исследования плотности, вязкости и теплопроводности индивидуальных углеводородов, газовых конденсатов и их фракций в широком интервале параметров состояния.

Книга состоит из четырех глав. В первой главе приводятся физико-химические свойства индивидуальных углеводородов, газовых конденсатов и их фракций, теплофизические свойства которых представлены и анализируются в книге. Показана графическая и аналитическая связь между молекулярной массой, плотностью, углеводородным составом и показателем преломления газовых конденсатов и их фракций.

Во второй главе приводится описание методов экспериментального исследования плотности газов и жидкостей, обоснован выбор метода гидростатического взвешивания, с помощью которого созданы установ-

ки для определения плотности большинства индивидуальных углеводородов, газовых конденсатов и их фракций. Обобщены имеющиеся значения плотности, представлены графические и аналитические зависимости от давления и температуры и таблицы, удобные для пользования.

В третьей главе излагаются экспериментальные методы определения вязкости газов и жидкостей. Дается обоснование выбора методики и описание экспериментальной установки, с помощью которой получено подавляющее большинство результатов по вязкости индивидуальных углеводородов и газовых конденсатов. Обобщены экспериментальные и расчетные данные по вязкости в виде графиков и аналитических выражений. В конце главы приводятся подробные таблицы значений вязкости углеводородов и газовых конденсатов при различных температурах и давлениях.

Четвертая глава посвящена описанию методов исследования теплопроводности газов и жидкостей, обоснованию метода регулярного режима и описанию установки по определению величин теплопроводности углеводородов и газовых конденсатов. Дается анализ существующих аналитических выражений по определению теплопроводности углеводородов и газовых конденсатов. Приводятся подробные таблицы значений коэффициента теплопроводности индивидуальных углеводородов, газовых конденсатов и их фракций при различных температурах и давлениях.

1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ И ГАЗОВЫХ КОНДЕНСАТОВ

В настоящей главе приведены рекомендуемые значения основных физических констант индивидуальных углеводородов и физико-химических характеристик газовых конденсатов и их фракций, величины теплофизических свойств которых приводятся в данной книге. В таблицах приведены: молекулярная масса; температуры кипения, плавления, критическая и кристаллизации; критическое давление; плотность при 20°C и критическая плотность; показатель преломления. Для газовых конденсатов и их фракций дополнительно приведены: температуры помутнения и застывания; фракционный состав; углеводородный состав.

Физические константы индивидуальных углеводородов общеизвестны как по значению величин, так и по методам их определения. Определение физико-химических характеристик газовых конденсатов и их фракций является трудоемкой работой. Результаты систематических исследований физико-химических свойств газовых конденсатов месторождений СНГ приводятся в работе [1].

Газовые конденсаты представляют собой природную смесь жидких углеводородов трех гомологических рядов: парафиновых, нафтеновых и ароматических.

Для подтверждения сказанного в табл. 1.1 приводятся результаты исследования бензиновых фракций (н.к.—150°C) газовых конденсатов Опошнянского и Солоховского месторождений. Исследованием было идентифицировано около 70 углеводородов.

Газовые конденсаты обычно являются бесцветными жидкостями, иногда имеют бледно-желтоватый цвет, что свидетельствует о практическом отсутствии смолистых веществ.

В табл. 1.2—1.5 приведены основные характеристики углеводородов (парафиновых, олефиновых, ароматических и нафтеновых), значения теплофизических свойств которых помещены в данной книге. В указанных таблицах приведены химическая формула углеводорода, его молекулярная масса, температуры кипения — $T_{\text{кип}}$, кристаллизации — $T_{\text{крис}}$ и критическая — $T_{\text{кд}}$, плотность при 20°C — ρ_{20} , критические плотность $\rho_{\text{кр}}$ и давление $P_{\text{кр}}$, показатель преломления n_D^{20} .

Газовые конденсаты различных месторождений существенно различаются как по фракционному так и, в особенности, групповому составу.

ву. В табл. 1.7 приведен фракционный состав 30 газовых конденсатов различных месторождений.

В табл. 1.8 приведены основные физико-химические свойства газовых конденсатов и их фракций. В таблице приведены молекулярная масса, температуры помутнения и застывания, плотность при 20°C и показатель преломления.

Плотность при температуре 20°C газовых конденсатов и их фракций определена пикнометрическим методом по ГОСТ 3900-47. Пикнометр емкостью 1 мл располагался в водяной бане, температура в которой поддерживалась на уровне 20°C.

Молекулярная масса газовых конденсатов и их фракций определена криоскопическим методом с использованием в качестве растворителя криоскопического бензола.

Для газовых конденсатов и их фракций понятие температуры застывания является весьма условным. По общепринятому стандарту предусматривается определение лишь температуры застывания. Однако, задолго до ее достижения происходит выпадение кристаллов парафина и других образующих кристаллический каркас с жидкой фазой низкозамерзающих углеводородов. Внешне это проявляется в помутнении продукта.

В табл. 1.9 приводится групповой углеводородный состав газовых конденсатов и их фракций.

За последние годы накоплен большой фактический материал по физико-химическим свойствам газовых конденсатов, позволивший установить связь молекулярной массы конденсата, его плотности с групповым углеводородным составом [1]. Наибольшей плотностью обладают высокоароматизированные конденсаты и наименьшей — парафиновые.

В работе [1] приводятся номограммы для определения молекулярной массы конденсатов и их фракций при известных значениях плотности, показателя преломления, содержании нафтеновых и ароматических углеводородов.

Наиболее общим показателем состава конденсата и легко определяемым является показатель преломления n_D^{20} . Поэтому на основе этого показателя обычно рассчитывают плотность и молекулярную массу конденсата. На основе анализа материалов по 94 газоконденсатным залежам авторами работы [1] выведены зависимости плотности и молекулярной массы конденсата от показателя преломления, а также для фракций газовых конденсатов зависимость молекулярной массы от показателя преломления и плотности:

$$\rho_4^{20} = -2,09066 + 1,9937n_D^{20}, \quad (1.1)$$

$$M = 4407 + 8618(n_D^{20})^3 - 21461(n_D^{20})^2 + 100067n_D^{20}. \quad (1.2)$$

Равноценной по точности является зависимость молекулярной массы от двух переменных: плотности и показателя преломления:

$$M = -19,25 + 109,25(\rho_4^{20})^2(n_D^{20}). \quad (1.3)$$

Для десятиградусных фракций, выкипающих до 200°C, зависимость молекулярной массы от плотности и показателя преломления имеет следующий вид:

$$M = 164,7 + 181(\rho_4^{20})^4(n_D^{20})^2 - 257,9(\rho_4^{20})^4(n_D^{20})^2. \quad (1.4)$$

Для фракций, выкипающих при температуре свыше 200°C, уравнение для определения молекулярной массы будет иметь следующий вид:

$$M = -0,2249 \cdot 10^6 + 0,396 \cdot 10^5 (\rho_4^{20})^4 (n_D^{20})^2 - 0,327 \cdot 10^6 (\rho_4^{20})^2 (n_D^{20})^2. \quad (1.5)$$

Таблица 1.1

**Индивидуальный углеводородный состав бензиновых фракций
газовых конденсатов Опошнянского и Солоховского
месторождений, % мас. [6]**

Углеводороды	Месторождения	
	Опошнянское	Солоховское
<i>n</i> -Бутан	0,40	0,15
Изопентан	2,20	1,71
<i>n</i> -Пентан	—	3,68
2,2-Диметилбутан	0,07	0,44
2,3-Диметилбутан	0,49	1,15
2-Диметилпентан	1,52	4,67
3-Диметилпентан	1,27	2,77
<i>n</i> -Гексан	5,38	8,30
2,2-Диметилпентан	—	0,23
Метилциклопентан	4,38	4,83
2,4-Диметилпентан	—	0,19
Бензол	5,68	2,10
3,3-Диметилбутан	0,20	0,19
Циклогексан	14,93	10,63
2-Метилгексан	3,90	3,10
2,3-Диметилпентан	1,45	0,97
1,1-Диметилциклопентан	0,87	0,61
3-Метилгексан	3,82	3,80
1,3-Диметилциклопентан, <i>цис</i>	1,62	0,98
1,3-Диметилциклопентан, <i>транс</i>	1,48	1,02
1,2-Диметилциклопентан, <i>транс</i>	2,14	1,38
<i>n</i> -Гептан	5,78	3,82
1,2-Диметилциклопентан, <i>цис</i>	0,11	—
1,1,3-Триметилциклопентан	—	0,11
Метилциклогексан	5,93	9,90
2,4-Диметилгексан	0,24	0,22
Этилциклопентан	0,39	0,38
1,2,4-Триметилциклопентан	0,22	0,13
3,3-Диметилгексан	—	—
1,2,3-Триметилциклопентан	0,16	0,11
Толуол	6,93	4,07
2,3-Диметилгексан	0,24	0,19
2-Метилгептан	0,39	0,92
4-Метилгептан	0,45	0,37
3-Метилгептан	1,04	0,85

Окончание таблицы 1.1

Углеводороды	Месторождения	
	Опошнянское	Солоховское
1,1 + 1,3 + 1,4-Диметилциклогексан	2,03	3,42
1,2 tr + 1,3 $транс$ -Метилэтилциклопентан	0,35	0,51
1,1-Метилэтилциклопентан	0,40	0,31
n -Октан	3,09	3,78
1,2-Диметилциклогексан, $транс$	0,77	1,34
1,3-Диметилциклогексан, $транс$ + 1,4-Диметилциклогексан, $цис$	0,44	0,90
2,3,5-Триметилгексан	0,15	0,15
2,2-Диметилгептан	0,21	0,21
2,4-Диметилгептан	0,58	0,34
2,6-Диметилгептан	0,66	0,59
1,2-Метилэтилциклопентан	—	0,33
Этилциклогексан	1,57	2,19
Этилбензол	1,19	1,18
1,3,5-Триметилциклогексан, $цис$, $цис$	1,04	0,84
1,2-Диметилтриэтилциклопентан, $транс$, $транс$	—	0,50
2,3-Диметилгептан	0,25	0,15
n -Ксилол	0,98	1,60
m -Ксилол	2,86	4,07
2-Метилоктан	0,37	0,61
1,2,4-Триметилциклогексан, $транс$, $цис$ + бициклооктан	0,67	—
3-Этилгептан	0,4	0,5
3-Метилоктан	0,63	0,31
o -Ксилол	1,26	1,02
1-метил 3-Этилциклогексан, $цис$	0,36	0,51
n -Нонан	2,27	1,38
i -С (парафины)	1,16	—
Кумол	—	—
n -Пропилбензол	0,63	—
m -, p -Этилтолуол	0,49	—
i -С (парафины)	0,23	—
o -Этилтолуол	0,22	—
Мезитилен	0,30	—

Таблица 1.2

Основные характеристики парафиновых углеводородов [2, 3]

Наименование вещества	Химическая формула	<i>M</i>	<i>T</i> _{кип} , К	<i>T</i> _{лр} , К	<i>T</i> _{крист} , К	ρ_{20}^* , кг/м ³	$\rho_{лр}^*$, кг/м ³	<i>P</i> _{нат} , МПа	μ_D^{20}
Этан	C ₂ H ₆	30,068	184,52	305,42	90,34	—	201	4,70	—
Пропан	C ₃ H ₈	44,094	231,09	369,99	85,50	—	225	4,13	—
<i>n</i> -Бутан	C ₄ H ₁₀	58,120	272,65	425,16	134,80	578,9	228	3,67	—
<i>i</i> -Бутан	C ₄ H ₁₀	58,120	261,43	408,13	113,55	557,3	221	3,53	—
<i>n</i> -Пентан	C ₅ H ₁₂	72,146	309,22	469,77	143,43	626,2	232	3,264	1,35745
<i>i</i> -Пентан	C ₅ H ₁₂	72,146	301,00	460,95	113,26	619,6	234	3,22	1,35369
<i>n</i> -Гексан	C ₆ H ₁₄	86,172	341,89	507,85	177,83	659,4	234	2,932	1,37486
<i>n</i> -Гептан	C ₇ H ₁₆	100,198	371,58	540,16	182,55	683,8	235	2,647	1,38764
<i>n</i> -Октан	C ₈ H ₁₈	114,224	398,81	569,35	216,35	702,5	235	2,415	1,39743
<i>i</i> -Октан	C ₈ H ₁₈	114,224	371,39	544,25	165,79	691,9	237	2,50	1,39145
<i>n</i> -Нонан	C ₉ H ₂₀	128,250	423,94	595,15	219,62	717,6	236	2,205	1,40542
<i>n</i> -Декан	C ₁₀ H ₂₂	142,276	447,27	619,15	243,48	730,1	236	2,038	1,41189
<i>n</i> -Ундекан	C ₁₁ H ₂₄	156,302	469,13	640,15	247,56	740,2	237	1,882	1,41725
<i>n</i> -Додекан	C ₁₂ H ₂₆	170,328	489,43	659,15	263,56	748,8	237	1,754	1,42152
<i>n</i> -Тридекан	C ₁₃ H ₂₈	184,354	508,62	677,15	267,77	756,2	240	1,666	1,42560
<i>n</i> -Тетрадекан	C ₁₄ H ₃₀	198,380	526,74	695,15	279,01	762,8	240	1,568	1,42892
<i>n</i> -Пентадекан	C ₁₅ H ₃₂	212,406	543,76	710,15	283,08	768,3	240	1,470	1,43188
<i>n</i> -Гексалекан	C ₁₆ H ₃₄	226,432	559,94	725,15	291,31	773,4	240	1,372	1,43453
<i>n</i> -Гепталекан	C ₁₇ H ₃₆	240,458	575,85	735,15	295,13	772,6*	240	1,274	1,43662
<i>n</i> -Октадекан	$\tilde{N}_{18}H_{38}$	254,484	590,55	750,15	301,33	727,6*	240	1,225	1,4269**
<i>n</i> -Нонадекан	$\tilde{N}_{19}H_{40}$	268,510	604,15	760,15	304,97	731,9*	240	1,176	1,4291**
<i>n</i> -Эйкозан	$\tilde{N}_{20}H_{42}$	282,536	618,15	775,15	309,55	735,6*	240	1,125	1,4309**
<i>n</i> -Генэйкозан	$\tilde{N}_{21}H_{44}$	296,562	631,55	800,85	313,35	739,0*	—	1,078	1,4321**
<i>n</i> -Докозан	$\tilde{N}_{22}H_{46}$	310,588	643,15	812,05	317,15	742,3*	—	1,215	1,4333**
<i>n</i> -Трикозан	$\tilde{N}_{23}H_{48}$	324,614	655,15	813,15	320,65	745,2*	—	1,186	1,4347**
<i>n</i> -Тетракозан	$\tilde{N}_{24}H_{50}$	338,640	667,15	834,65	323,75	747,8*	—	1,176	1,4359**
<i>n</i> -Пентакозан	$\tilde{N}_{25}H_{52}$	352,666	678,15	—	326,65	—	—	—	—

* значения при *T* = 373,15 К

** значения при *T* = 323,15 К

Таблица 1.3

Основные характеристики олефиновых углеводородов [2, 3]

Наименование вещества	Химическая формула	M	$T_{кип}^*$, К	$T_{пл}^*$, К	$T_{крист}^*$, К	ρ_{20}^* , кг/м ³	$\rho_{кр}^*$, кг/м ³	$P_{кр}^*$, МПа	$\eta_{D^{20}}$
Этилен	C_2H_4	28,052	169,44	283,05	104,0	—	211,0	4,929	—
Пропилен	C_3H_6	42,078	225,45	365,05	87,90	—	233	4,449	—
Бутен-1	C_4H_8	56,104	266,89	419,55	87,81	—	233	3,891	—
Изобутилен	C_4H_8	56,104	266,25	417,88	132,80	—	234	3,866	—
Пентен-1	C_5H_{10}	70,130	303,12	474,15	107,93	640,50	—	3,910	1,3715
Гексен-1	C_6H_{12}	84,156	336,64	—	133,35	673,17	—	—	1,3879
Гептен-1	C_7H_{14}	98,182	366,79	—	154,12	696,98	—	—	1,3998
Октен-1	C_8H_{16}	112,208	394,43	—	171,44	714,92	—	—	1,4087
Нонен-1	C_9H_{18}	126,244	420,01	—	191,78	729,22	—	—	1,4157
Децен-1	$C_{10}H_{20}$	140,271	443,72	—	191,78	729,22	—	—	1,4157
Ундецен-1	$C_{11}H_{22}$	154,298	465,82	—	206,85	740,81	—	—	1,4215
Додецен-1	$C_{12}H_{24}$	168,325	486,51	—	223,97	750,32	—	—	1,4261
Тридецен-1	$C_{13}H_{26}$	182,352	505,93	—	237,92	758,36	—	—	1,4300
Тетрадецен-1	$C_{14}H_{28}$	196,379	524,25	—	250,08	765,27	—	—	1,4312
Пентадецен-1	$C_{15}H_{30}$	210,406	541,54	—	260,30	771,27	—	—	1,4363
Гексадецен-1	$C_{16}H_{32}$	224,433	558,02	—	269,42	776,41	—	—	1,4388

Таблица 1.4

Основные характеристики ароматических углеводородов [2, 3]

Наименование вещества	Химическая формула	M	$T_{кип}^*$, К	$T_{пл}^*$, К	$T_{крист}^*$, К	ρ_{20}^* , кг/м ³	$\rho_{кр}^*$, кг/м ³	$P_{кр}^*$, МПа	$\eta_{D^{20}}$
Бензол	C_6H_6	78,108	353,25	562,60	278,67	879,2	302	4,89	1,5011
Толуол	C_7H_8	92,134	383,78	593,95	178,16	866,9	292	4,11	1,4941
o-Ксилол	C_8H_{10}	106,160	417,56	632,15	247,98	880,3	288	3,73	1,5055
m-Ксилол	C_8H_{10}	106,160	412,25	619,15	225,28	864,2	282	3,54	1,4972
p-Ксилол	C_8H_{10}	106,160	411,50	618,15	259,89	860,8	280	3,51	1,4958
Этилбензол	C_8H_{10}	106,160	409,34	617,55	178,20	866,7	284	3,61	1,4959
Кумол	C_9H_{12}	120,186	425,54	636,15	177,20	861,5	280	3,21	1,4916

Таблица 1.5

Основные характеристики нафтеновых углеводородов [2, 3]

Наименование вещества	Химическая формула	M	$T_{кип}^*$, К	$T_{пл}^*$, К	$T_{крист}^*$, К	ρ_{20}^* , кг/м ³	$\rho_{кр}^*$, кг/м ³	$P_{кр}^*$, МПа	$\eta_{D^{20}}$
Циклопентан	C_5H_{10}	70,130	322,41	511,75	179,38	745,38	270	4,366	1,4065
Циклогексан	C_6H_{12}	84,156	353,89	553,05	279,70	778,55	—	3,900	1,4262
Метилциклопентан	C_6H_{12}	84,156	344,96	532,76	130,71	748,60	264	3,661	1,4097
Этилциклопентан	C_7H_{14}	98,182	376,62	569,45	134,72	766,47	262	3,286	1,4198
Метилциклогексан	C_7H_{14}	98,182	374,08	—	146,58	769,36	—	—	1,4231
1,1-Диметилциклопентан	C_7H_{14}	98,182	360,99	—	203,42	754,48	—	—	1,4109
1,цис-2-Диметилциклопентан	C_7H_{14}	98,182	372,68	—	219,30	772,62	—	—	1,4196

Окончание таблицы 1.5

Наименование вещества	Химическая формула	M	$T_{кип}^*$ К	$T_{пл}^*$ К	$T_{субл}^*$ К	$\rho_{ж}^{20^*}$ кг/м ³	$\rho_{кр}^*$ кг/м ³	$P_{кр}^*$ МПа	n_D^{20}
1, <i>транс</i> -2-Диметил-циклопентан	C_7H_{14}	98,172	365,02	—	155,58	751,44	—	—	1,4092
1, <i>цис</i> -3-Диметил-циклопентан	C_7H_{14}	98,182	363,92	—	139,46	744,79	—	—	1,4063
1, <i>транс</i> -3-Диметил-циклопентан	C_7H_{14}	98,182	364,88	—	139,25	748,80	—	—	1,4081
Этилциклогексан	C_8H_{16}	112,208	404,93	—	161,85	787,92	—	—	1,4330
1, <i>транс</i> -2-Диметил-циклогексан	C_8H_{16}	112,208	396,57	—	184,97	776,01	—	—	1,4269
1, <i>цис</i> -3-Диметил-циклогексан	C_8H_{16}	112,208	393,24	—	197,59	766,03	—	—	1,4229
1, <i>транс</i> -4-Диметил-циклогексан	C_8H_{16}	112,208	392,50	—	183,05	784,72	—	—	1,4309

Таблица 1.6

Значения давления насыщенного пара углеводородов [3]

Давление насыщенного пара этана							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
-180	0,0151	-120	94,6	-60	3,73	-10	18,31
-170	0,150	-110	202,5	-50	5,44	0	23,55
-160	0,93	-100	393,3	-40	7,67	+10	29,81
-150	4,09	-90	705,4	-30	10,50	20	37,21
-140	13,95	-80	1,552	-20	14,00	25	41,37
-130	39,17	-70	2,460			30	45,85
Давление насыщенного пара этилена							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$		
-160	3,94	-100	1,237	-40	14,32		
-150	15,11	-90	2,098	-30	19,12		
-140	45,9	-80	3,36	-20	24,98		
-130	117,0	-70	5,11	-10	32,0		
-120	259,5	-60	7,43	0	40,3		
-110	516,2	-50	10,46				
Давление насыщенного пара пропана							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
-180	$7,6 \cdot 10^{-6}$	-100	21,66	-40	1,092	30	10,80
-170	$2,6 \cdot 10^{-4}$	-90	48,2	-30	1,639	40	13,62
-160	$3,9 \cdot 10^{-3}$	-80	97,6	-20	2,386	50	16,99
-150	0,034	-70	182,5	-10	3,376	60	20,96
-140	0,201	-60	319,3	0	4,66	70	25,62
-130	0,87	-50	527,9	+10	6,29	80	31,03
-120	3,01			20	8,33	90	37,26
-110	8,67			25	9,51		

Продолжение таблицы 1.6

Давление насыщенного пара пропилена							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
-180	$1,64 \cdot 10^{-5}$	-100	30,4	-40	1,407	30	12,81
-170	$4,96 \cdot 10^{-4}$	-90	66,3	-30	2,105	40	16,24
-160	$6,94 \cdot 10^{-3}$	-80	131,9	-20	3,04	50	20,28
-150	0,0572	-70	242,9	-10	4,24	60	25,05
-140	0,318	-60	419,3	0	5,75	70	30,60
-130	1,33	-50	685,1	10	7,64	80	36,99
-120	4,43			20	9,97	90	44,30
-110	12,44			25	11,32		
Давление насыщенного пара <i>n</i> -бутана							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
-130	0,019	-40	126,1	0	1,019	80	10,00
-120	0,096	-30	211,7	10	1,464	90	12,34
-110	0,38	-20	339,1	20	2,047	100	15,09
-100	1,23	-10	521,7	25	2,40	110	18,28
-90	3,42			30	2,79	120	21,94
-80	8,41			40	3,73	130	26,14
-70	18,62			50	4,90	140	30,89
-60	37,8			60	6,31	150	36,26
-50	71,2			70	8,00		
Давление насыщенного пара <i>i</i> -бутана							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
-150	0,00115	-70	36,06	-10	1,067	60	8,52
-140	0,0100	-60	69,79	0	1,533	70	10,70
-130	0,060	-50	126,2	10	2,15	80	13,26
-120	0,268	-40	215,3	20	2,94	90	16,24
-110	0,96	-30	349,4	25	3,41	100	19,67
-100	2,87	-20	543,0	30	3,94	110	23,58
-90	7,44			40	5,18	120	28,02
-80	17,19			50	6,70	130	33,01
Давление насыщенного пара бутена-1							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
-130	0,0309	-40	162,80	0	1,269	80	11,78
-120	0,148	-30	270,35	10	1,815	90	14,49
-110	0,561	-20	429,07	20	2,524	100	17,66
-100	1,77	-10	654,6	25	2,953	110	21,31
-90	4,80			30	3,428	120	25,51
-80	11,53			40	4,56	130	30,29
-70	25,05			50	5,94	140	35,69
-60	50,05			60	7,53	146,4	39,7
-50	93,04			70	9,47		

Давление насыщенного пара изобутилена							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
-140	0,0062	-60	53,3	0	1,298	70	9,69
-130	0,038	-50	98,2	10	1,84	80	12,09
-120	0,175	-40	171	20	2,55	90	14,89
-110	0,646	-30	282	25	2,97	100	18,14
-100	1,99	-20	445	30	3,45	110	21,86
-90	5,30	-10	675	40	4,58	120	26,09
-80	12,5			50	5,98	130	30,87
-70	26,9			60	7,67	140	36,22
Давление насыщенного пара <i>n</i> -пентана							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
-100	0,064	-20	67,83	40	1,141	130	10,80
-90	0,234	-10	114,07	50	1,571	140	13,03
-80	0,722	0	183,48	60	2,117	150	15,59
-70	1,94	10	283,81	70	2,796	160	18,50
-60	4,66	20	424,14	80	3,629	170	21,80
-50	10,15	25	512,49	90	4,633	180	25,51
-40	20,41	30	614,81	100	5,830	190	29,65
-30	38,33			110	7,239	196,62 кр	33,31 кр
Давление насыщенного пара <i>i</i> -пентана							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
-100	0,134	-10	165,05	30	1,076	120	10,55
-90	0,459	0	259,27	40	1,492	130	12,76
-80	1,34	10	392,43	50	2,022	140	15,29
-70	3,43	20	574,84	60	2,684	150	18,19
-60	7,89			70	3,496	160	21,47
-50	16,55			80	4,478	170	25,18
-40	32,16			90	5,648	180	29,33
-30	58,33			100	7,02	187,8 кр	32,9 кр
-20	100,71			110	8,66		
Давление насыщенного пара пентена-1							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
-60	6,70	25	637,65	40	1,3980	130	12,57
-50	14,24	30	760,83	50	1,9070	140	15,07
-40	28,02			60	2,5466	150	17,96
-30	51,59			70	3,337	160	21,28
-20	89,71			80	4,298	170	25,07
-10	148,49			90	5,449	180	29,38
0	235,42			100	6,812	190	34,25
10	359,40			110	8,406	200	39,74
20	530,70			120	10,41	201 кр	39,9 кр

Продолжение таблицы 1.6

Давление насыщенного пара цикlopентана							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
-80	0,32	20	259,61	50	1,0245	150	11,52
-70	0,82	25	317,39	60	1,4048	160	13,79
-60	2,10	30	385,05	70	1,8864	170	16,37
-50	4,85	40	554,71	80	2,485	180	19,29
-40	10,24			90	3,219	190	22,58
-30	20,07			100	4,104	200	26,25
-20	36,90			110	5,158	210	30,35
-10	64,22			120	6,400	220	34,88
0	106,52			130	7,845	230	39,87
10	169,40			140	9,55		
Давление насыщенного пара н-гексана							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
-90	0,0144	0	45,32	70	1,0402	160	8,92
-80	0,0579	10	75,69	80	1,4056	170	10,71
-70	0,194	20	121,23	90	1,8634	180	12,77
-60	0,563	25	151,26	100	2,428	190	15,12
-50	1,44	30	187,10	110	3,113	200	17,79
-40	3,34	40	279,44	120	3,935	210	20,81
-30	7,08	50	405,33	130	4,909	220	24,21
-20	13,97	60	572,75	140	6,049	230	28,01
-10	25,86			150	7,372	234,7 кр	29,92 кр
Давление насыщенного пара гексена-1							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
-60	0,100	0	14,57	60	249,11	120	2,0530
-50	0,294	10	25,92	70	356,58	130	2,6215
-40	0,763	20	43,96	80	498,32	140	3,302
-30	1,79	30	71,47	90	681,48	150	4,108
-20	3,87	40	111,90	100	1,2024		
-10	7,75	50	169,46	110	1,5840		
Давление насыщенного пара бензола							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
-20	5,78	30	119,35	90	1,3435	190	11,91
-10	12,63	40	182,79	100	1,7773	200	14,02
0	25,28	50	271,27	110	2,3117	210	16,41
10	45,56	60	391,45	120	2,961	220	19,11
20	75,23	70	550,81	130	3,739	230	22,15
25	95,20	80	757,67	140	4,662	240	25,55
				150	5,743	250	29,35
				160	6,998	260	33,55
				170	8,44	270	38,21
				180	10,09		

Продолжение таблицы 1.6

Давление насыщенного пара циклогексана							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$		
10	47,49	90	1,3102	190	11,20		
20	77,52	100	1,7238	200	13,13		
25	97,58	110	2,231	210	15,32		
30	121,73	120	2,844	220	17,78		
40	184,69	130	3,576	230	20,55		
50	271,80	140	4,440	240	23,65		
60	389,20	150	5,45	250	27,10		
70	543,83	160	6,617	260	30,92		
80	743,28	170	7,956	270	35,15		
		180	9,478				
Давление насыщенного пара метилциклопентана							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
-90	0,0139	10	68,87	80	1,2780	170	9,73
-80	0,0551	20	110,22	90	1,6950	180	11,58
-70	0,183	30	170,04	100	2,209	190	13,69
-60	0,524	40	253,90	110	2,835	200	16,07
-50	1,33	50	368,27	120	3,585	210	18,76
-40	3,07	60	520,45	130	4,475	220	21,77
-30	6,50	70	718,53	140	5,52	230	25,14
-20	12,78			150	6,73	240	28,87
-10	23,60			160	8,11	250	23,00
Давление насыщенного пара <i>n</i> -гептана							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
-70	0,0186	20	35,43	100	1,0470	190	8,04
-60	0,0661	25	45,71	110	1,3881	200	9,59
-50	0,202	30	58,37	120	1,8095	210	11,36
-40	0,542	40	92,50	130	2,323	220	13,37
-30	1,31	50	141,62	140	2,941	230	15,66
-20	2,90	60	210,24	150	3,676	240	18,23
-10	5,93	70	303,63	160	4,540	250	21,11
0	11,37	80	427,78	170	5,53	260	24,33
10	20,58	90	589,37	180	6,69	267,01	27,01
Давление насыщенного пара гептана- I							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$
-60	0,100	-30	1,79	0	14,57	30	71,47
-50	0,294	-20	3,87	10	25,92	40	111,90
-40	0,763	-10	7,75	20	43,96	50	169,46

Продолжение таблицы 1.6

$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
60	249,11	80	498,32	110	1,5840	140	3,302
70	356,58	90	681,48	120	2,0530	150	4,108
		100	1,2024	130	2,6215	160	5,052
Давление насыщенного пара толуола							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
-70	0,00904	25	28,44	120	1,2958	220	10,79
-60	0,0332	30	36,67	130	1,6822	230	12,81
-50	0,104	40	59,16	140	2,152	240	15,06
-40	0,289	50	92,12	150	2,717	250	17,54
-30	0,720	60	138,96	160	3,389	260	20,24
-20	1,63	70	203,75	170	4,179	270	23,18
-10	3,43	80	291,21	180	5,099	280	26,35
0	6,72	90	406,73	190	6,161	290	29,76
10	12,43	100	556,31	200	7,378	300	33,39
20	21,84	110	746,57	210	8,977	310	37,26
Давление насыщенного пара этилциклопентана							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
0	10,06	100	687,9	110	1,200	210	9,88
10	18,09			120	1,565	220	11,61
20	31,01			130	2,010	230	13,57
30	50,90			140	2,546	240	15,77
40	80,40			150	3,194	250	18,23
50	122,9			160	3,935	260	20,97
60	182,1			170	4,812	270	24,00
70	262,8			180	5,85	280	27,35
80	370,0			190	7,01	290	31,03
90	509,5			200	8,35		
Давление насыщенного пара метилциклопентана							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
-90	0,0139	10	68,87	80	1,2780	170	9,73
-80	0,0551	20	110,22	90	1,6950	180	11,58
-70	0,183	30	170,04	100	2,209	190	13,69
-60	0,524	40	253,90	110	2,835	200	16,07
-50	1,33	50	368,27	120	3,585	210	18,76
-40	3,07	60	520,45	130	4,475	220	21,77
-30	6,50	70	718,53	140	5,52	230	25,14
-20	12,78			150	6,73	240	28,87
-10	23,60			160	8,11	250	23,00

Давление насыщенного пара <i>n</i> -октана							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
-30	0,237	50	50,36	130	1,1262	220	7,726
-20	0,593	60	78,67	140	1,4649	230	9,151
-10	1,35	70	119,03	150	1,8778	240	10,78
0	2,86	80	175,04	160	2,375	250	12,63
10	5,63	90	250,84	170	2,967	260	14,72
20	10,46	100	351,22	180	3,664	270	17,07
25	13,98	110	481,50	190	4,478	280	19,71
30	18,45	120	647,60	200	5,418	290	22,65
40	31,10			210	6,498	296,2	24,64
Давление насыщенного пара <i>i</i> -октана							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
-30	1,65	60	241,47	100	1,0217	200	8,820
-20	3,51	70	305,83	110	1,3425	210	10,41
-10	6,97	80	425,93	120	1,7359	220	12,22
0	12,99	90	580,68	130	2,212	230	14,26
10	22,93			140	2,781	240	16,55
20	38,63			150	3,453	250	19,11
25	49,34			160	4,240	260	21,96
30	62,41			170	5,152	270	25,12
40	97,20			180	6,240	271,1	25,50
50	146,51			190	7,422		
Давление насыщенного пара октана-1							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
-30	0,336	30	22,77	90	289,86	130	1,2678
-20	0,815	40	37,83	100	402,83	140	1,6406
-10	1,81	50	60,49	110	548,53	150	2,0930
0	3,73	60	93,43	120	733,19	160	2,6355
10	7,19	70	239,96			170	3,279
20	13,12	80	203,93			180	4,034
Давление насыщенного пара <i>o</i> -ксилола							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
-20	0,243	60	40,80	140	675,23	150	1,1569
-10	0,574	70	63,19			160	1,4852
0	1,25	80	94,98			170	1,8821
10	2,55	90	138,99			180	2,357
20	4,88	100	198,51			190	2,918
30	8,86	110	277,34			200	3,576
40	15,34	120	379,80			210	4,340

Продолжение таблицы 1.6

Давление насыщенного пара <i>m</i> -ксилола							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
-30	0,127	60	49,35	140			1,0243
-20	0,324	70	75,83	150			1,3281
-10	0,753	80	113,18	160			1,6982
0	1,62	90	164,54	170			2,144
10	3,24	100	233,57	180			2,675
20	6,14	110	324,50	190			3,301
30	11,02	120	442,04	200			4,032
40	18,89	130	591,46	210			4,879
50	31,09			220			5,853
Давление насыщенного пара <i>n</i> -ксилола							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
20	6,50	80	117,15	140	1,0450	200	4,073
30	11,62	90	169,81	150	1,3523	210	4,923
40	19,83	100	240,42	160	1,7261	220	5,898
50	32,51	110	333,19	170	2,175		
60	51,41	120	452,83	180	2,710		
70	78,74	130	604,60	190	3,339		
Давление насыщенного пара этилбензола							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
-30	0,153	60	55,48	140			1,1067
-20	0,386	70	84,76	150			1,4291
-10	0,889	80	125,80	160			1,8203
0	1,90	90	181,92	170			2,289
10	3,77	100	256,95	180			2,846
20	7,08	110	355,26	190			3,501
30	12,63	120	481,72	200			4,262
40	21,50	130	641,72	210			5,141
50	35,17			220			6,149
Давление насыщенного пара этилциклогексана							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
-30	0,248	30	16,76	90	216,02	140	1,237
-20	0,599	40	27,29	100	300,19	150	1,5814
-10	1,33	50	44,68	110	410,69	160	1,9957
0	2,73	60	69,17	120	550,22	170	2,488
10	5,28	70	103,83	130	724,77	180	3,068
20	9,64	80	151,63				

Давление насыщенного пара 1-транс-2-диметилциклогексана							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
-30	0,473	30	25,03	80	202,74	130	1,1872
-20	1,08	40	40,57	90	284,05	140	1,5225
-10	2,29	50	63,44	100	389,65	150	1,9264
0	4,51	60	96,07	110	524,34	160	2,407
10	8,40	70	141,38	120	693,36	170	2,974
20	14,83					180	3,636
Давление насыщенного пара 1-цис-3-диметилциклогексана							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
-30	0,528	30	27,74	90	311,97	130	1,2965
-20	1,21	40	44,90	100	427,31	140	1,6604
-10	2,55	50	70,10	110	574,20	150	2,098
0	5,02	60	106,00	120	758,20	160	2,618
10	9,33	70	155,74			170	3,231
20	16,46	80	223,00			180	3,945
Давление насыщенного пара 1-транс-4-диметилциклогексана							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$		
-30	0,580	50	73,11	120	1,0175		
-20	1,31	60	110,11	130	1,3192		
-10	2,75	70	161,19	140	1,6858		
0	5,38	80	230,03	150	2,126		
10	9,94	90	320,79	160	2,648		
20	17,42	100	438,12	170	3,261		
30	29,20	110	587,12	180	3,975		
Давление насыщенного пара <i>n</i> -нонана							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$		
-20	0,117	70	47,29	160	1,2681		
-10	0,301	80	72,71	170	1,6199		
0	0,705	90	108,53	180	2,043		
10	1,53	100	157,76	190	2,546		
20	3,08	110	223,88	200	3,138		
30	5,84	120	310,87	210	3,829		
40	10,51	130	423,19	220	4,629		
50	18,06	140	565,80	230	5,546		
Давление насыщенного пара нонена-1							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$
-30	0,060	0	0,934	30	7,24	60	35,35
-20	0,165	10	1,97	40	12,82	70	55,53
-10	0,410	20	3,89	50	21,72	80	84,52

Продолжение таблицы 1.6

$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
90	125,05	120	350,48	150	1,0862	180	2,2390
100	180,32	130	474,32	160	1,4007	190	2,7808
110	254,05	140	630,77	170	1,7820	200	3,417
Давление насыщенного пара кумола							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$		
-20	0,144	70	47,63	160	1,2132		
-10	0,356	80	72,54	170	1,5455		
0	0,807	90	107,40	180	1,9445		
10	1,70	100	155,02	190	2,4184		
20	3,34	110	218,65	200	2,9759		
30	6,22	120	301,98	210	3,626		
40	11,00	130	404,19	220	4,377		
50	18,62	140	544,86	230	5,238		
Давление насыщенного пара <i>n</i> -декана							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$		
-10	0,065	90	47,47	180	1,1586		
0	0,172	100	71,72	190	1,4730		
10	0,409	110	105,46	200	1,8500		
20	0,900	120	151,31	210	2,2975		
30	1,84	130	212,32	220	2,8236		
40	3,56	140	291,95	230	3,437		
50	6,50	150	394,09	240	4,145		
60	11,33	160	523,05	250	4,958		
70	18,94	170	683,50	346	20,8		
80	30,49						
Давление насыщенного пара децена-1							
$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм.}$
-10	0,090	60	13,48	130	237,46	180	1,2644
0	0,229	70	22,26	140	324,64	190	1,6015
10	0,531	80	35,46	150	435,91	200	2,004
20	1,14	90	54,69	160	575,75	210	2,481
30	2,30	100	81,92	170	749,03	220	3,040
40	4,35	110	119,53				
50	7,84	120	170,30				

Давление насыщенного пара <i>n</i> -ундекана							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
0	0,040	70	7,60	140	152,37	200	1,1049
10	0,107	80	12,85	150	211,23	210	1,3967
20	0,259	90	20,90	160	287,37	220	1,7454
30	0,576	100	32,86	170	384,28	230	2,158
40	1,20	110	50,17	180	505,80	367	19,2
50	2,33	120	74,38	190	656,13		
60	4,31	130	107,67				
Давление насыщенного пара ундецена-1							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
0	0,054	70	8,94	140	169,11	200	1,1935
10	0,139	80	14,93	150	239,16	210	1,5036
20	0,329	90	24,06	160	215,60	220	1,8729
30	0,718	100	37,50	170	420,08	230	2,309
40	1,46	110	56,74	180	550,55	240	2,818
50	2,81	120	83,60	190	711,34		
60	5,13	130	120,2				
Давление насыщенного пара <i>n</i> -додекана							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
0	0,0092	80	5,43	160	159,52	220	1,0917
10	0,028	90	9,24	170	218,38	230	1,3712
20	0,073	100	15,14	180	293,78	240	1,7037
30	0,178	110	23,99	190	388,94	250	2,0955
40	0,399	120	36,85	200	507,38	386	17,9
50	0,833	130	55,07	210	652,93		
60	1,64	140	80,26				
70	3,05	150	114,33				
Давление насыщенного пара додекена-1							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
10	0,0355	80	6,29	150	125,92	220	1,1685
20	0,093	90	10,61	160	174,80	230	1,4631
30	0,221	100	17,24	170	238,17	240	1,8127
40	0,487	110	27,10	180	319,01	250	2,2237
50	1,00	120	41,33	190	420,65		
60	1,95	130	61,36	200	546,70		
70	3,58	140	88,88	210	701,09		

Продолжение таблицы 1.6

Давление насыщенного пара <i>n</i> -тридекана							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
70	1,25	130	28,60	190	233,27	240	1,1086
80	2,33	140	42,91	200	309,99	404	17,0
90	4,16	150	62,77	210	405,87		
100	7,10	160	89,76	220	524,20		
110	11,67	170	125,71	230	668,50		
120	18,55	180	172,75				
Давление насыщенного пара тридекана-1							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.
150	68,56	180	186,59	210	434,58		
160	97,63	190	251,18	220	559,87		
170	135,68	200	332,82	230	712,28		
Давление насыщенного пара <i>n</i> -тетрадекана							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
120	9,31	170	72,79	220	334,34	260	1,152
130	14,85	180	102,28	230	433,10	422 кр	16,0 кр
140	22,97	190	140,99	240	553,9		
150	34,57	200	190,99	250	700,2		
160	50,73	210	254,58				
Давление насыщенного пара тетрадецена-1							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.
160	54,92	190	151,08	220	355,72		
170	78,49	200	204,12	230	459,96		
180	109,92	210	271,44	240	587,33		
Давление насыщенного пара <i>n</i> -пентадекана							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
140	12,33	190	85,66	240	366,86	280	1,2188
150	19,10	200	118,33	250	470,33	437	15,0
160	28,79	210	160,65	260	595,9		
170	42,33	220	214,64	270	746,8		
180	60,84	230	282,54				
Давление насыщенного пара пентадецена-1							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.
180	65,16	210	170,92	240	388,32		
190	91,51	220	227,93	250	497,13		
200	126,14	230	299,53	260	629,04		

Давление насыщенного пара <i>n</i> -гексадекана							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.		
190	51,88	230	185,32	270	522,00		
200	73,27	240	244,76	280	654,67		
210	101,64	250	318,71				
220	139,24	260	409,83				
Давление насыщенного пара гексадецена-1							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.		
190	55,65	230	195,82	270	544,62		
200	78,25	240	257,81	280	670,70		
210	108,02	250	335,64				
220	146,59	260	429,55				
Давление насыщенного пара <i>n</i> -гептадекана							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
160	9,37	210	65,14	260	281,68	310	1,1643
170	14,50	220	90,13	270	361,98	462	13,0
180	21,84	230	122,57	280	459,8		
190	32,13	240	164,08	290	557,6		
200	46,21	250	216,44	300	718,3		
Давление насыщенного пара <i>n</i> -октадекана							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
180	13,15	230	81,40	280	326,9	320	1,0528
190	19,79	240	110,67	290	415,3	477	13,0
200	29,07	250	148,13	300	521,9		
210	41,78	260	195,40	310	649,3		
220	58,86	270	254,31				
Давление насыщенного пара <i>n</i> -нонадекана							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
190	12,19	240	74,87	290	299,9	340	1,180
200	18,31	250	101,71	300	381,0	487	12,0
210	26,84	260	136,06	310	478,9		
220	38,52	270	179,4	320	595,8		
230	54,19	280	233,4	330	734,3		
Давление насыщенного пара <i>n</i> -эйкозана							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
200	11,53	250	70,02	300	279,2	350	1,098
210	17,26	260	95,00	310	354,6	502	11,0
220	25,25	270	126,9	320	445,5		
230	36,15	280	167,2	330	554,2		
240	50,76	290	217,4	340	683,0		

Продолжение таблицы 1.6

Давление насыщенного пара <i>n</i> -гептэкозана							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
200	7,3	260	66,4	320	333,6	360	1,031
210	11,1	270	89,9	330	418,9		
220	16,6	280	120,0	340	521		
230	24,1	290	157,8	350	642		
240	34,5	300	204,9				
250	48,3	310	263,0				
Давление насыщенного пара <i>n</i> -докозана							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
210	7,2	270	64,4	330	320,1	380	1,192
220	11,0	280	87,0	340	401,3		
230	16,3	290	115,8	350	498,4		
240	23,6	300	152,1	360	613		
250	33,6	310	197,2	370	749		
260	46,9	320	252,6				
Давление насыщенного пара <i>n</i> -трикозана							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
220	7,2	280	62,9	340	308,7	390	1,144
230	10,9	290	84,7	350	386,6		
240	16,1	300	112,5	360	479,6		
250	23,3	310	147,4	370	590		
260	33,0	320	190,8	380	719		
270	45,9	330	244,0				
Давление насыщенного пара <i>n</i> -тетракозана							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
240	11,0	300	83,3	360	375,8	400	1,107
250	16,1	310	110,4	370	465,6		
260	23,2	320	144,3	380	572		
270	32,8	330	186,4	390	696		
280	45,5	340	237,9				
290	62,0	350	300,5				
Давление насыщенного пара <i>n</i> -пентакозана							
<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , мм рт. ст.	<i>t</i> , °C	<i>P</i> , атм.
250	11,2	310	82,8	370	368	410	1,079
260	16,4	320	109,4	380	456		
270	23,4	330	142,7	390	559		
280	32,9	340	183,8	400	680		
290	45,5	350	234,1				
300	61,9	360	295,1				

Таблица 1.7

Фракционный состав газовых конденсатов [5-7]

Наименование параметра	Месторождения. Температура отгона, °С				
	Астраханское	Вуктыльское	Карачаганакское	Ленинградское	Оренбургское
Температура начала кипения, °С	43	35	56	43	38
10% отгона по объему	78	62	96	71	53
20% отгона по объему	111	80	120	80	60
30% отгона по объему	137	94	144	85	69
40% отгона по объему	157	107	169	91	78
50% отгона по объему	187	122	198	100	88
60% отгона по объему	228	142	245	105	98
70% отгона по объему	266	170	295	111	111
80% отгона по объему	312	222	347	147	127
90% отгона по объему	—	—	—	—	—
95% отгона по объему	—	—	—	—	—
Температура конца кипения, °С	335	234	< 360	191	210
Отогнано всего, % по объему	96,65	97,4	88,0	97,0	95,0
Остаток, % по объему	1,6	1,2	11,6	1,3	2,2
Потери, % по объему	1,75	1,4	0,4	1,7	2,8
	Совхозное	Староминское	Харасовэйское	Харьковцы	Ямбургское
Температура начала кипения, °С	36	32	94	37	47
10% отгона по объему	53	56	112	61	79
20% отгона по объему	62	64	125	85	93
30% отгона по объему	70	71	130	107	109
40% отгона по объему	77	80	143	130	122
50% отгона по объему	86	91	154	156	136
60% отгона по объему	98	100	164	188	157
70% отгона по объему	111	113	185	250	195
80% отгона по объему	128	130	205	314	235
90% отгона по объему	—	—	—	—	—
95% отгона по объему	—	—	—	—	—
Температура конца кипения, °С	210	179	268	360	< 360
Отогнано всего, % по объему	97,5	97,2	97,8	97,0	97,0
Остаток, % по объему	1,2	1,0	1,0	1,9	1,7
Потери, % по объему	1,3	1,8	1,2	1,1	1,3

Продолжение таблицы 1.7

Наименование параметра	Месторождения. Температура отгона, °С				
	Шатлык	Шахпахты	Гугуртли	Северный Мубарек	Ачак
Температура начала кипения, °С	111	106	110	78	90
10% отгона по объему	156	146	120	109	114
20% отгона по объему	—	—	—	—	—
30% отгона по объему	—	—	—	—	—
40% отгона по объему	—	—	—	—	—
50% отгона по объему	226	203	150	152	148
60% отгона по объему	—	—	—	—	—
70% отгона по объему	—	—	—	—	—
80% отгона по объему	—	—	—	—	—
90% отгона по объему	283	254	230	224	213
95% отгона по объему	—	—	—	—	—
Температура конца кипения, °С	340	304	238	288	312
Отгонано всего, % по объему	—	—	—	—	—
Остаток, % по объему	—	—	—	—	—
Потери, % по объему	—	—	—	—	—
	Наип	Газли	Учкыр	Опошнянское	Солоховское
Температура начала кипения, °С	100	80	60	33,5	33,0
10% отгона по объему	111	112	102	132	86
20% отгона по объему	—	—	—	150	103
30% отгона по объему	—	—	—	170	122
40% отгона по объему	—	—	—	203	145
50% отгона по объему	146	156	138	225	169
60% отгона по объему	—	—	—	260	210
70% отгона по объему	—	—	—	290	260
80% отгона по объему	—	—	—	325	310
90% отгона по объему	230	212	202	345	341
95% отгона по объему	—	—	—	—	—
Температура конца кипения, °С	280	234	241	345	341
Отгонано всего, % по объему	—	—	—	—	—
Остаток, % по объему	—	—	—	15	14,5
Потери, % по объему	—	—	—	—	—

Продолжение таблицы 1.7

Наименование параметра	Месторождения. Температура отгона, °С				
	Рыбальское	Юбилейное	Нескрасовское	Перешепинское	Шебепинское
Температура начала кипения, °С	52,5	29,0	27,0	40,0	50,0
10% отгона по объему	122	98	97	70	88
20% отгона по объему	131	110	105	83	101
30% отгона по объему	144	121	113	94	116
40% отгона по объему	161	130	120	105	134
50% отгона по объему	175	148	128	115	151
60% отгона по объему	190	170	141	129	184
70% отгона по объему	214	202	155	144	232
80% отгона по объему	238	250	190	197	265
90% отгона по объему	269	289	240	—	—
95% отгона по объему	—	—	—	—	—
Температура конца кипения, °С	269	289	268	224	287
Отогнано всего, % по объему	—	—	—	—	—
Остаток, % по объему	10	10	5	15	14
Потери, % по объему	—	—	—	—	—
	Майкопское I горизонт	Майкопское II горизонт	Майкопское III горизонт	Ставропольское	Бухарское
Температура начала кипения, °С	35	40	40	55	80
10% отгона по объему	98	90	92	80	110
20% отгона по объему	104	100	101	90	120
30% отгона по объему	113	107	107	98	131
40% отгона по объему	119	114	114	108	139
50% отгона по объему	128	122	123	118	147
60% отгона по объему	139	132	133	134	161
70% отгона по объему	155	146	145	160	173
80% отгона по объему	171	163	164	199	187
90% отгона по объему	205	202	200	257	210
95% отгона по объему	237	240	236	298	225
Температура конца кипения, °С	245	244	246	307	239
Отогнано всего, % по объему	—	—	—	—	—
Остаток, % по объему	—	—	—	—	—
Потери, % по объему	—	—	—	—	—

Таблица 1.8

Физико-химические свойства газовых конденсатов и их фракций

Наименование месторождения	<i>M</i>	Температура помутнения, $T_{\text{мут}}, \text{K}$	Температура застывания, $T_{\text{з}}, \text{K}$	Плотность $\rho_{20}, \text{кг/м}^3$	Показатель преломления, n_{D}^{20}	Литература
Вуктыльское	115	234	202	726,7	1,4165	
Фракция н.к.—60°C	83	180	> 173	654,8	1,3729	
Фракция 60—95°C	93	192	> 173	701,0	1,3973	
Фракция 95—122°C	102	171	> 173	735,7	1,4130	
Фракция 122—150°C	119	184	175	753,2	1,4227	
Фракция 150—175°C	126	204	201	762,0	1,4287	
Фракция 175—200°C	143	220	208	775,7	1,3390	
Фракция 220—к.к.	165	272	263	814,8	1,4520	
Оренбургское	97	182	> 173	705,4	1,3993	
Фракция н.к.—60°C	80	190	> 173	671,1	1,3809	
Фракция 60—95°C	92	173	> 173	682,9	1,3870	
Фракция 95—122°C	101	176	> 173	736,2	1,4148	
Фракция 122—150°C	118	189	165	757,0	1,4253	
Фракция 150—к.к.	142	219	210	787,4	1,4400	
Майкопское I горизонт	108,9	218,15	200,15	762,5	1,4330	[4]
Фракция н.к.—60°C	83,6	205,15	185,15	671,5	1,390	[4]
Фракция 60—95°C	96,8	195,15	175,15	727,7	1,415	[4]
Фракция 95—122°C	106,5	173,15	—	753,0	1,423	[4]
Фракция 122—150°C	108,5	193,15	184,15	764,7	1,434	[4]
Фракция 150—175°C	118,2	211,15	199,15	775,1	1,438	[4]
Фракция 175—200°C	153,7	222,15	216,15	782,2	1,444	[4]
Фракция 200—225°C	206,0	234,15	231,15	797,8	1,449	[4]
Фракция 225—250°C	222,4	246,15	241,15	814,5	1,459	[4]
Майкопское II горизонт	112,8	220,15	198,15	762,5	1,4370	[4]
Фракция н.к.—60°C	66,3	205,15	193,15	671,5	1,390	[4]
Фракция 60—95°C	88,2	183,15	—	727,7	1,416	[4]
Фракция 95—122°C	84,6	185,15	—	753,0	1,428	[4]
Фракция 122—150°C	90,0	186,15	183,15	764,7	1,439	[4]
Фракция 150—175°C	118,8	206,15	201,15	775,1	1,443	[4]
Фракция 175—200°C	140,2	223,15	219,15	782,2	1,446	[4]
Фракция 200—225°C	146,5	241,15	230,15	797,8	1,453	[4]
Фракция 225—250°C	159,4	245,15	240,15	814,5	1,462	[4]

Наименование месторождения	<i>M</i>	Температура помутнения, $T_{\text{м}}$, К	Температура застывания, $T_{\text{з}}$, К	Плотность ρ_{20} , кг/м ³	Показатель преломления, n_D^{20}	Лите- ратура
Майкопское III горизонт	103,0	217,15	195,15	778,6	1,4476	[4]
Фракция н.к.—60°C	68,1	201,15	193,15	669,8	1,404	[4]
Фракция 60—95°C	89,0	215,15	185,15	747,3	1,424	[4]
Фракция 95—122°C	91,1	225,15	173,15	777,1	1,438	[4]
Фракция 122—150°C	98,0	191,15	175,15	798,1	1,452	[4]
Фракция 150—175°C	127,8	199,15	197,65	804,4	1,456	[4]
Фракция 175—200°C	135,6	236,15	215,15	813,7	1,458	[4]
Фракция 200—225°C	140,0	145,15	230,15	836,2	1,471	[4]
Фракция 225—250°C	143,5	242,15	240,15	872,4	1,493	[4]
Наипское	113,0	—	—	811,2	1,455	[4]
Ставропольское	108,0	256,15	> 203,15	769,7	1,435	[4]
Бухарское	127,0	265,15	255,15	779,4	1,4380	[4]
Березанское	110	—	—	764,8	1,4304	[7]
Каневское	110	—	—	757,6	1,4212	[7]
Кушевское	100	—	—	729,5	1,4145	[7]
Перещепинское	135,5	—	—	751,3	1,4200	[6]
Рыбальское	142	—	—	789,2	1,4406	[7]
Челбасское	118	—	—	763,4	1,4286	[7]
Ленинградское	117,5	—	—	748,0	1,4062	[7]
Староминское	100,5	—	—	715,0	1,6861	[7]
Шатлык	167	—	252,15	772,9	1,4335	[5]
Шахпахты	153	—	234,15	775,8	1,4291	[5]
Гугуртли	144	—	220,15	781,8	1,4382	[5]
Северный Мубарек	118	—	218,15	765,8	1,4320	[5]
Ачак	124	—	226,15	771,2	1,4320	[5]
Наин	129	—	221,15	784,1	1,4411	[5]
Газли	129	—	> 213,15	777,4	1,4389	[5]
Учкыр	123	—	> 213,15	778,0	1,4415	[5]
Ямбургское	133	—	—	768,4	1,4302	
Харьковцы	144	—	—	794,0	1,4420	
Харасовэйское	131	—	—	767,4	1,4297	
Карачаганакское	144	—	—	794,4	1,4423	
Астраханское	148	—	—	802,1	1,4484	
Юбилейное	115	—	—	801,0	1,4592	[6]
Некрасовское	146,1	—	—	793,7	1,4522	[6]

Продолжение таблицы 1.8

Наименование месторождения	<i>M</i>	Температура помутнения, $T_{\text{м}}$, К	Температура застывания, $T_{\text{з}}$, К	Плотность ρ_{20} , кг/м ³	Показатель преломления, n_D^{20}	Литература
Шибобинское	147,0	—	—	768,7	1,4340	[6]
Опошнянское	188	—	—	823,7	1,4605	[6]
Фракция н.к.—95°C	93,4	—	—	721,2	1,408	[6]
Фракция 95—122°C	114,6	—	—	770,9	1,436	[6]
Фракция 122—150°C	124,8	—	—	792,5	1,449	[6]
Фракция 150—175°C	132,4	—	—	809,7	1,455	[6]
Фракция 175—200°C	143,1	—	—	832,0	1,465	[6]
Фракция 200—225°C	152,4	—	—	848,0	1,478	[6]
Фракция 225—250°C	159,9	—	—	860,7	1,488	[6]
Фракция 250—275°C	161,0	—	—	862,4	1,4895	[6]
Фракция 275—300°C	159,5	—	—	859,9	1,4875	[6]
Фракция 300—325°C	—	—	—	834,2*	1,484	[6]
Фракция 325—к.к.	—	—	—	840,2*	1,4672*	[6]
Солоховское	142,2	—	—	789,2	1,4406	[6]
Фракция н.к.—60°C	—	—	—	645,3	1,3720	[6]
Фракция 60—95°C	77,4	—	—	717,0	1,4030	[6]
Фракция 95—122°C	103,8	—	—	761,2	1,427	[6]
Фракция 122—150°C	114,8	—	—	778,0	1,4400	[6]
Фракция 150—175°C	123,7	—	—	792,8	1,4495	[6]
Фракция 175—200°C	148,5	—	—	805,7	1,4562	[6]
Фракция 200—225°C	158,6	—	—	823,1	1,4658	[6]
Фракция 225—250°C	176,8	—	—	836,3	1,4750	[6]
Фракция 250—275°C	—	—	—	846,0	1,4775	[6]
Фракция 275—300°C	—	—	—	849,6	1,4785	[6]
Фракция 300—325°C	—	—	—	850,2	—	[6]
Фракция 325—к.к.	—	—	—	856,7	—	[6]

* Данные получены при $T = 323,15$ К.

Таблица 1.9

Групповой углеводородный состав газовых конденсатов и их фракций

Наименование месторождения	Содержание ароматических углеводородов, % мас.	Содержание нафтеновых углеводородов, % мас.	Содержание парафиновых углеводородов, % мас.	Литература
Опошнянское	33,3	60,0	6,7	[6]
Фракция н.к.—95°C	8,7	43,0	48,3	[6]
Фракция 95—122°C	21,9	47,8	30,3	[6]
Фракция 122—150°C	32,0	29,7	38,3	[6]
Фракция 150—175°C	32,0	13,0	55,0	[6]
Фракция 175—200°C	32,0	9,7	58,3	[6]

Продолжение таблицы 1.9

Наименование месторождения	Содержание ароматических углеводородов, % мас.	Содержание нафтеновых углеводородов, % мас.	Содержание парафиновых углеводородов, % мас.	Литература
Фракция 200–225°C	34,6	15,3	50,1	[6]
Фракция 225–250°C	39,6	13,3	47,1	[6]
Фракция 250–275°C	31,4	11,9	56,7	[6]
Фракция 275–300°C	23,6	46,4	40,0	[6]
Рыбальское	27,5	59,8	12,7	[6]
Юбилейное	39,7	54,9	5,4	[6]
Вуктыльское	12,20	33,20	54,6	[6]
Перещепинское	13,10	29,00	57,9	[6]
Солоховское	24,4	51,1	24,5	[6]
Фракция н.к.–60°C	—	—	100	[6]
Фракция 60–95°C	3,0	48,2	48,8	[6]
Фракция 95–122°C	18,4	53,3	28,3	[6]
Фракция 122–150°C	28,8	33,7	37,5	[6]
Фракция 150–175°C	27,8	21,2	51,0	[6]
Фракция 175–200°C	30,6	23,3	46,1	[6]
Фракция 200–225°C	26,8	24,2	49,0	[6]
Фракция 225–250°C	30,2	18,2	51,6	[6]
Фракция 250–275°C	30,0	12,2	57,8	[6]
Фракция 275–300°C	20,2	17,5	62,3	[6]
Некрасовское	42,6	51,8	5,6	[6]
Шебелинское	15,0	37,0	48,0	[6]
Шатлык	9,3	9,8	80,9	[5]
Шахпахты	8,5	17,8	71,7	[5]
Гугуртли	20,2	25,9	53,9	[5]
Сев. Мубарек	21,5	28,5	50,0	[5]
Ачак	23,8	27,5	48,7	[5]
Наин	23,3	30,3	46,4	[5]
Газли	24,7	31,4	43,9	[5]
Учкыр	28,9	39,5	31,6	[5]
Майкопское I горизонт	4,34	62,2	33,3	[4]
Фракция н.к.–60°C	1,04	27,8	71,0	[4]
Фракция 60–95°C	2,27	39,5	58,0	[4]
Фракция 95–122°C	4,34	46,3	49,2	[4]
Фракция 122–150°C	6,84	60,1	32,9	[4]
Фракция 150–175°C	9,48	14,5	75,8	[4]

Продолжение таблицы 1.9

Наименование месторождения	Содержание ароматических углеводородов, % мас.	Содержание нафтеновых углеводородов, % мас.	Содержание парафиновых углеводородов, % мас.	Литература
Фракция 175–200°C	4,24	16,4	79,2	[4]
Фракция 200–225°C	4,08	16,3	79,4	[4]
Фракция 225–250°C	3,20	27,6	69,0	[4]
Майкопское II горизонт	4,28	67,2	28,2	[4]
Фракция н.к.–60°C	2,43	21,6	75,8	[4]
Фракция 60–95°C	3,44	41,7	54,6	[4]
Фракция 95–122°C	4,49	54,6	40,8	[4]
Фракция 122–150°C	5,33	33,3	61,2	[4]
Фракция 150–175°C	4,96	18,9	75,9	[4]
Фракция 175–200°C	3,13	22,8	73,8	[4]
Фракция 200–225°C	3,23	29,5	67,1	[4]
Фракция 225–250°C	4,47	37,1	58,3	[4]
Майкопское III горизонт	7,85	74,2	15,8	[4]
Фракция н.к.–60°C	2,65	21,8	75,4	[4]
Фракция 60–95°C	6,05	43,2	50,5	[4]
Фракция 122–150°C	11,65	33,0	55,2	[4]
Фракция 150–175°C	8,99	19,4	71,5	[4]
Фракция 175–200°C	8,47	19,9	71,5	[4]
Фракция 200–225°C	9,85	29,9	60,0	[4]
Фракция 225–250°C	11,35	31,6	56,9	[4]
Панисское	6,46	76,3	16,1	[4]

2. ПЛОТНОСТЬ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ И ГАЗОВЫХ КОНДЕНСАТОВ

Плотность имеет важное значение для характеристики физико-химических и теплофизических свойств индивидуальных углеводородов и их природных смесей — газовых конденсатов. Она позволяет вычислить как термодинамические свойства веществ, так и переносные коэффициенты — вязкость, теплопроводность [1–4].

Теоретические методы расчета плотности индивидуальных углеводородов при различных температурах и повышенных давлениях представляют определенные трудности. Используемые эмпирические и полумпирические формулы требуют наличия величины плотности, так называемых, опорных точек.

Теоретические методы расчета плотности природных многокомпонентных углеводородных смесей не дают удовлетворительных результатов по точности полученных данных. Применение существующих формул по определению плотности индивидуальных углеводородов для газовых конденсатов не представляется возможным. Подавляющее большинство этих формул содержит параметры (критические температура и давление), трудно определяемые для газовых конденсатов. Поэтому для получения достоверных данных о плотности газовых конденсатов и их фракций при различных температурах и давлениях предпочтительными являются экспериментальные методы.

В этом разделе приводятся методы экспериментального исследования плотности газов и жидкостей и подробное описание экспериментальной установки, на которой автор исследовал плотность газовых конденсатов и их фракций различных газоконденсатных месторождений России.

2.1. Методы экспериментального определения плотности газов и жидкостей

Существующие методы экспериментального определения плотности (данных P - V - T) газов и жидкостей при различных температурах и давлениях подразделяются на две основные группы. В первую группу входят пьезометрические методы, а во вторую — методы, основанные на гидростатическом взвешивании. Первая группа, в свою очередь, включает метод пьезометра постоянного объема с изменением весового количества исследуемого вещества в нем при различных температурах и

давления опыта, и метод пьезометра переменного объема с постоянным весовым количеством исследуемого вещества, находящегося в нем.

Метод определения плотности с использованием пьезометра постоянного объема состоит в следующем. Пьезометр, объем которого определен с высокой точностью, заполняется исследуемым веществом. После того как исследуемое вещество принимает температуру термостата, в котором находится пьезометр, определяется его давление. Таким образом, в определенном объеме пьезометра V заключено исследуемое вещество при давлении P и температуре T . Для нахождения неизвестного удельного объема исследуемого вещества остается определить его вес G . Для этой цели специально изготавливается измерительный блок, в котором определяется объем (если исследуется газообразное вещество) или непосредственно вес (если исследуется жидкий продукт) в нормальных условиях выпущенного из пьезометра вещества определенного количества, соответствующего температуре и давлению исследуемого вещества в пьезометре. Определив взвешиванием количество жидкости или газомером объем газа, выпущенного из пьезометра, можно рассчитать плотность при заданной температуре.

По методу, описанному выше, был создан ряд экспериментальных установок, отличающихся по конструктивному оформлению. Ниже коротко рассмотрим некоторые работы, проведенные с использованием пьезометра постоянного давления.

Для определения зависимости P - V - T данных воздуха, аргона и гелия Хольборн и Шульц изготовили установку с пьезометром постоянного давления, работающего в области давления до 20 МПа и температуре до 470 К. На рис. 2.1 представлено схематическое изображение конструкции пьезометра и измерительного блока для определения объема газа, выпущенного из пьезометра.

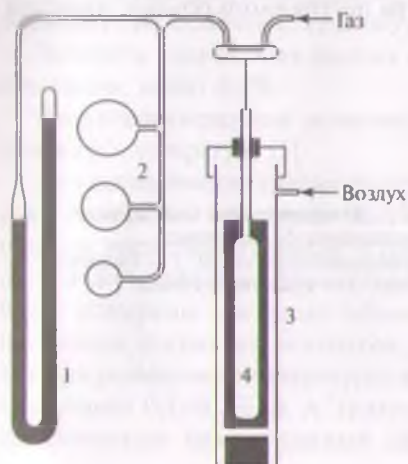


Рис. 2.1. Пьезоэлемент с измерительным блоком объема газа установки Хольборна и Шульца: 1 — ртутный манометр; 2 — измерительные сосуды; 3 — камера высокого давления; 4 — пьезометр

Пьезометр (4) цилиндрической формы вместимостью 100 см^3 помещается в камеру высокого давления (3). Пространство между пьезометром и стенками камеры высокого давления наполнено ртутью для поддержания пьезометра во время опыта в разгруженном состоянии от давления. В первых опытах пьезометр изготовлялся из стекла, а в дальнейших опытах применялся пьезометр, изготовленный из стали. Измерительные сосуды (2) — сухие, изготовленные из стекла, помещены в термостат и перед опытом вакууммируются. Давление газа в них измеряется ртутным манометром (1). Точность определения удельных объемов на рассмотренной установке составляла около 0,2%.

Другую конструкцию экспериментальной установки, работающей по методу пьезометра постоянного объема, применил Бартлетт при определении сжимаемости водорода, азота и их смесей при температурах от 270 до 670 К и давлениях до 100 МПа. В установке используются два пьезометра цилиндрической формы, изготовленные из ванадиевой стали. Один пьезометр вместимостью $2,38 \text{ см}^3$ применяется при высоких давлениях, а другой вместимостью $27,8 \text{ см}^3$ применяется при низких давлениях. На рис. 2.2 приводится схема измерительного блока для определения объема газа, выпущенного из пьезометра установки Бартлетта.

Измерительный сосуд (1), изготовляется из стекла в виде гирлянды, состоящей из шести шарообразных емкостей. Он помещается в термостат и заполняется полностью водой. Выпущенный из пьезометра исследуемый газ поступает в измерительный сосуд, при этом вытесняя воду, занимает определенный объем V_0 . Вытекающая вода из измерительного сосуда поступает в емкость (2). Для контроля уровня воды служит указатель уровня (3). Точность полученных экспериментальных значений на этой установке составляла около 0,3%.

Дальнейшим развитием конструкции экспериментальных установок, работающих по методу пьезометра постоянного объема, является

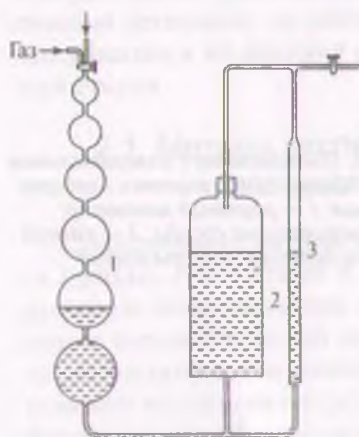


Рис. 2.2. Измерительный блок объема газа установки Бартлетта:
1 — измерительный сосуд; 2 — емкость для воды; 3 — указатель уровня

установка Вейбе и Гедди со стальным пьезометром для определения сжимаемости водорода и азото-водородных смесей при температурах от 273 до 573 К и давлениях до 100 МПа. Авторами этой установки для измерения объема газа при нормальных условиях в качестве затворной жидкости и измерительных сосудах использовалась ртуть. Замена воды ртутью повысила точность измерения и несколько упростила конструкцию установки по сравнению с конструкцией установки Бартлетта. Точность в определении сжимаемости на установке Вейбе и Гедди составляла 0,2%.

Для исследования удельных объемов углекислого газа в широком интервале давлений и температур Кириллин и Улыбин изготовили экспериментальную установку с применением металлического пьезометра цилиндрической формы, вместимостью 340 см³, рассчитанного на давление 100 МПа. Определение количества углекислоты, находящейся в пьезометре при данном равновесном состоянии, производилось по суммарным выпускам газа в газометр. Газометр представлял собой три параллельно соединенных баллона вместимостью около 4 л каждый, которые помещены в термостат. Каждый баллон соединяется металлическим капилляром с пьезометром. Предварительно, перед экспериментом баллоны вакууммировались. Давление газа в газометрах измерялось ртутными дифманометрами.

Тимрот и Борисоглебский так же использовали металлический пьезометр постоянного объема при исследовании удельных объемов жидкого кислорода в области температур от 83 до 153 К и давлений до 20 МПа, включая линию насыщения. Пьезометр помещается в криостат, представляющий собой большой стеклянный сосуд Дьюара с термостатирующей жидкостью. На каждой изотерме осуществлялось от двух до семи выпусков кислорода из пьезометра в газометр. Газометр предварительно хорошо вакууммировался. Давление кислорода в газометре измерялось при помощи открытого ртутного манометра.

Точность полученных данных по оценке авторов, включая ошибку отнесения, имеет 0,2%.

Вышеперечисленные установки и принцип их действия подробно описаны в литературе [5].

Для исследования удельных объемов углеводородов ароматического ряда в широком интервале температур и давлений Ахундовым была создана экспериментальная установка с использованием пьезометра постоянного объема сферической формы [6–10]. На этой установке были измерены удельные объемы бензола, толуола, этилбензола, *m*-ксилола, *o*-ксилола, *n*-ксилола, бинарной смеси бензол — этилбензол при различных температурах и давлениях с погрешностью, не превышающей 0,1–0,2%. Б. А. Григорьев, Ю. Л. Расторгуев, Р. М. Мурдаев, используя незагруженный сферический пьезометр постоянного

объема, измерили удельные объемы *n*-гексана и циклогексана в широком интервале температур и давлений [11]. Е. А. Головский, В. А. Елма, В. А. Загорученко, В. А. Цимарный, применяя пьезометр постоянного объема с безбалластным мембранным дифференциальным манометром, исследовали *P-V-T* зависимости жидкого этилена при температурах от 200 до 300 К и давлениях до 6 МПа [12].

В рассмотренных выше экспериментальных установках, работающих по методу пьезометра постоянного объема, определение весового количества исследуемого газа в пьезометре производилось, исходя из известных опытных данных по зависимости *P-V-T* исследуемых газов, близких к атмосферному давлению и комнатной температуре. Существуют методы, в которых вес газа, заполняющего пьезометр постоянного объема, определяется непосредственно взвешиванием. По этому принципу изготовлены установки: Бенедикта для измерения сжимаемости азота при давлениях от 10 до 125 МПа и температурах от 90 до 173 К с точностью определения удельных объемов до 0,3%; Шейндлина для исследования удельных объемов паров и газов; Вукаловича и Алтунина для исследования удельных объемов углекислого газа при давлениях до 60–80 МПа и температурах 973–1073 К. Погрешность измерения удельных объемов по оценке авторов составляла 0,2%.

Метод пьезометра переменного объема основан на постоянстве исследуемого количества вещества в пьезометре при изменяющемся во время опыта его объеме в пьезометре.

Весовое количество вещества в заполненном пьезометре будет равно $G = V_0/v_0$ (где V_0 — известный объем всего пьезометра, v_0 — удельный объем вещества при условиях наполнения). С повышением давления в пьезометре исследуемое вещество сжимается, принимая объем в соответствии давлению и температуры опыта. В этом случае искомый удельный объем будет равен $v = V/G$ (где V — объем части пьезометра, занятый исследуемым веществом, G — весовое количество исследуемого вещества). Проводя измерения в широком интервале давлений и температур, можно определить во всех этих условиях удельный объем исследуемого вещества. Эксперимент проводится снятием соответствующей серии изотерм.

На основе описанного метода были созданы три установки разной конструкции, разработанные Амага более 100 лет назад, но они до сих пор сохраняют свое практическое значение.

В первой установке Амага применял неразгруженный стеклянный пьезометр с расширительной частью внизу и тонким толстостенным капилляром (длиной 500 мм и внутренним диаметром 1 мм) вверх. На этой установке измерение удельных объемов велось до давлений 50 МПа.

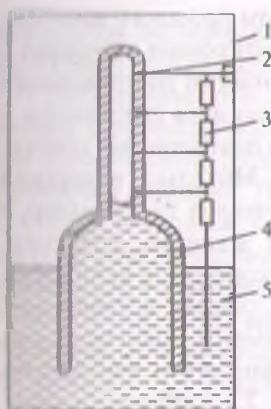


Рис. 2.3. Пьезометр Амага с впаянными в него платиновыми контактами: 1 — камера высокого давления; 2 — стеклянный пьезометр; 3 — платиновые контакты; 4 — сопротивления; 5 — ртуть

Для проведения исследования при высоких давлениях Амага применил пьезометр, полностью разгруженный от давления. Для определения уровня ртути в капилляре пьезометра использовался метод впаянных платиновых контактов.

На рис. 2.3 показана схема пьезометра Амага с впаянными в него платиновыми контактами. Стеклянный пьезометр находится в камере сжатия, которая помещена в термостат. На дне камеры сжатия имеется некоторое количество ртути (4), а остальной объем камеры наполнен глицерином и соединен с прессом.

Измерение осуществляется следующим образом. Заранее определяют объем пьезометра. Пьезометр наполняют исследуемым веществом и определяют его весовое количество. Затем пьезометр медленно наполняют ртутью под давлением глицерина, подаваемого из пресса. Уровень ртути поднимается по пьезометру, проходя платиновые контакты (2). Каждый контакт соответствует строго измеренному объему пьезометра. Таким образом, при известных давлении и температуре можно определить удельный объем вещества (газообразного или жидкого). На такой установке исследования удельных объемов проводились до давления 300 МПа.

Третья установка Амага также имеет пьезометр, разгруженный от давления на контроль уровня ртути, и тем самым фиксация объема пьезометра производилась визуально.

На этих установках Амага провел исследования зависимости P - V - T ряда газов (кислород, водород, азот, воздух, углекислый газ, этилен) и сжимаемости многих жидкостей (вода, этиловый эфир, этиловый спирт). Измерения проводились до давлений 300 МПа и температур 573 К. Полученные экспериментальные данные имеют высокую точность. Погрешность измерения удельных объемов составляет до 0,2%.

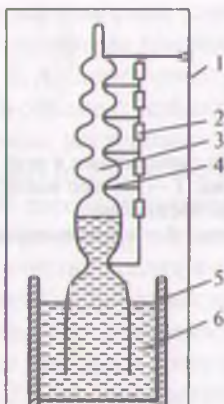


Рис. 2.4. Пьезометр Михельса:
1 — камера высокого давления;
2 — сопротивления;
3 — стеклянный пьезометр;
4 — платиновые контакты;
5 — стакан с ртутью; 6 — ртуть

В тридцатые годы прошлого века Михельсом была смонтирована установка с применением полностью разгруженного от давления стеклянного пьезометра с впаянными в него платиновыми контактами. Пьезометр Михельса в верхней своей части представлял не капилляр, а ряд пустотельных шариков, соединенных друг с другом короткими капиллярами. Определение объема исследуемого вещества в пьезометре производилось регистрацией уровня ртути контактным способом. На рис. 2.4 изображена принципиальная схема пьезометра Михельса. Нижняя часть стеклянного пьезометра (2) погружена в ртуть (4), помещенную в стакан (1). В таком виде пьезометр помещается в камеру сжатия, оставшийся объем которой наполняется маслом и соединяется с прессом. Дальнейшее определение удельного объема вещества происходит таким же образом как на установке Амага. Измерения удельных объемов по свидетельству Михельса проводились с погрешностью 0,05%.

Аналогичной конструкции пьезометр использовали при создании установки для исследования удельных объемов азото-водородо-аммиачных смесей при давлениях до 164 МПа и температурах до 573 К Казарновский, Симонов и Аристов. Пьезометр изготовлялся из стекла, объем составлял 8 см³. Точность измерения удельных объемов составляла 1%.

Аналогичной конструкции пьезометр использовали при создании установки для исследования удельных объемов азото-водородо-аммиачных смесей при давлениях до 164 МПа и температурах до 573 К Казарновский, Симонов и Аристов. Пьезометр изготовлялся из стекла, объем составлял 8 см³. Точность измерения удельных объемов составляла 1%.

Методы определения удельных объемов по перемещению поршня также широко применялись. В этом случае изменение объема исследуемого вещества в пьезометре производится путем перемещения в нем поршня. По положению поршня можно судить об объеме, занимаемом исследуемым веществом в пьезометре. Иногда поршень не помещают непосредственно в пьезометр, в этом случае он перемещает столб ртути, входящий в пьезометр, и фиксирующий в нем объем вещества. Используя указанный метод, была изготовлена установка и проведено изучение фазовых равновесий и сжимаемости пластовых нефтей [13]. По этому методу создана установка Кричевского и Циклиса для исследования удельных объемов газов [14]. У всех установок, работающих по этому методу, наиболее сложным является обеспечение полной герметизации устройства, что трудно осуществить ввиду наличия движущегося поршня. Появление утечек сразу же снижает возможную точность

результатов эксперимента. Присутствие ртути в самом пьезометре ограничивает верхний предел рабочей температуры.

Пьезометрическим методом свойственны также недостатки, связанные с необходимостью точного определения объема пьезометра, при этом большую роль играют поправки, учитывающие влияние температуры и давления. Поправки, однако, не всегда удается определить с высокой точностью, что вносит в результаты опыта заметные погрешности. В этом отношении известные преимущества может иметь метод, основанный на гидростатическом взвешивании.

Метод гидростатического взвешивания основан на действии выталкивающей силы по закону Архимеда на поплавков определенного объема, погруженный в исследуемую среду. Эта сила, равная весу жидкости или газа, вытесненных поплавком, определяется по разности весов поплавка в пустоте и в исследуемой среде.

Метод гидростатического взвешивания свободен от недостатков пьезометрического метода, связанных с наличием балластного объема, с необходимостью точно знать количество исследуемого вещества и объемом пьезометра, изменяющийся от температуры и давления, не требует измерения большого количества поправок, неизбежных в других методах.

Исследование плотности газовых конденсатов и их фракций в основном были проведены с использованием метода гидростатического взвешивания на установке Голубева. Поэтому ниже приводится описание установки, на которой автором были проведены измерения плотности газовых конденсатов и их фракций ряда месторождений России.

2.2. Экспериментальная установка по определению плотности газов и жидкостей методом гидростатического взвешивания

Для определения плотности газовых конденсатов и их фракций была изготовлена экспериментальная установка (рис. 2.5). Она состоит из прибора по определению плотности, системы создания и измерения давления, системы термостатирования и измерения температуры и электронно-следающей системы, позволяющей бесконтактным способом определить вес подвесной системы в исследуемой среде.

Прибор (5) по определению плотности представляет собой сосуд высокого давления. Он состоит из трех основных частей: поплавковой камеры, головки прибора и соединяющей их трубки. Головка прибора изготовлена из немагнитного материала — титана. Поплавковая камера с трубкой высокого давления выточена из одной болванки нержавеющей стали.

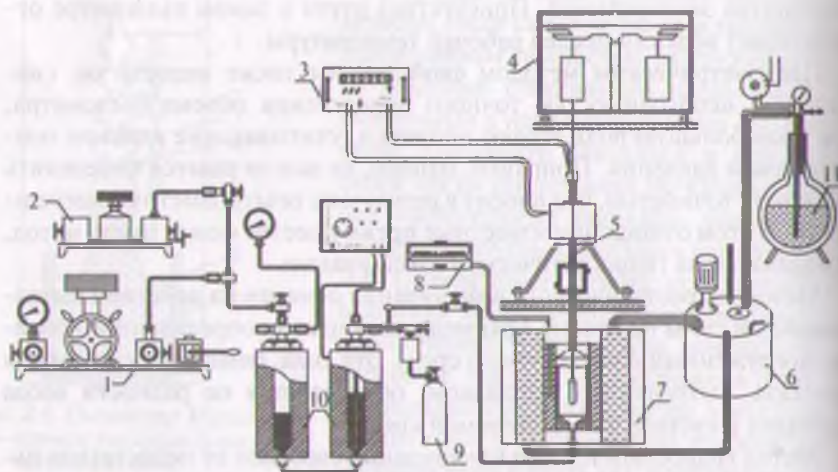


Рис. 2.5. Принципиальная схема экспериментальной установки по определению плотности газов и жидкостей: 1 — грузопоршневой манометр МП-600; 2 — грузопоршневой манометр МП-60; 3 — электронно-следящая система; 4 — весы электронные; 5 — прибор для исследования плотности; 6 — ультраманометр У-10; 7 — термостатирующая рубашка; 8 — гальванометр; 9 — баллон с конденсатом; 10 — пережимные сосуды; 11 — сосуд Дьюара

Поплавковая камера горячей посадкой плотно вставлена в медную рубашку, в которой имеются отверстия (карманы) для расположения термодатчика сопротивления и спаев дифференциальной термодатчика. Медная рубашка способствует сохранению равномерности температуры по длине поплавок-камеры и обеспечивает постоянство температуры в течение опыта.

В головке прибора расположена катушка-датчик (12) электронно-следящей системы (3) с подводными электропроводами.

Внутри прибора помещена откалиброванная подвесная система, состоящая из кварцевого поплавка, железного сердечника и соединяющих их манганиновой нити.

Поплавок изготовлен из кварцевой трубки в виде полого цилиндра, запаянного с двух сторон. На одном торце сделано ушко для присоединения манганиновой проволоки. Выбор кварца в качестве материала поплавка определяется его химической стойкостью и минимальными коэффициентами объемного расширения и сжатия.

В качестве сердечника использовали стержень из стали длиной 90 мм, диаметром 2 мм. В нижней части сердечника вставляется штифт, препятствующий падению его в поплавковую камеру.

Основными требованиями, предъявляемыми к нити подвесной системы являются: малый объем, механическая прочность и строгая прямолинейность во всем диапазоне нагрузок.

Таблица 2.1

Характеристика подвесной системы

Наименование составных частей подвесной системы	Вес в воздухе	Вес в воде, г	Вес в пустоте G , г	Объем V , см ³
Подвеска	8,3887	3,7017	8,3948	4,7014
Сердечник	2,5607	2,2320	2,5611	0,3297
Плита	0,0513	0,0498	0,0514	0,00477
Вся подвесная система	10,9007	5,9835	11,0073	5,03587

Калибровка подвесной системы проводилась путем взвешивания постоянных частей в воздухе и воде, что подробно описано в [4]. В результате калибровки определялись объемы и веса поплавка, сердечника и плиты, отнесенные к пустоте. В табл. 2.1 приводятся характеристики подвесной системы, примененной при исследовании газовых конденсатов и их фракций.

Для исключения перегрева головки прибора при температуре опыта выше 373 К на трубке высокого давления смонтирован холодильник, в который подавали постоянный поток охлаждающей воды. Головка прибора имеет карман для термометра.

Прибор располагается строго вертикально, что контролируется с помощью круглого уровня, установленного на головке прибора.

Исследуемое вещество подается в прибор через стальной капилляр.

Создание и измерение давления опыта. Система создания и измерения давления состоит из двух поршневых манометров (МП-60 и МП-600 класса точности 0,05) (1), (2), двух пережимных сосудов (10), заполненных до половины своего объема ртутью, и схемы измерения уровня ртути в пережимных сосудах.

Один из сосудов соединен с прибором для определения плотности, и пространство над ртутью в нем заполнено исследуемым газовым конденсатом. Во втором сосуде пространство над ртутью заполнено маслом и соединено с гидравлическим прессом.

При определении давления опыта (в приборе) учтены перепады давления за счет разности уровней ртути, масла и газового конденсата в пережимных сосудах по формуле:

$$P = P_n + \Delta P_{pm} + \Delta P_M + \Delta P_K,$$

где P_n — показания поршневого манометра; ΔP_{pm} — перепад давления за счет разности уровней ртути в пережимных сосудах; ΔP_M , ΔP_K — соответственно перепад давления за счет разности уровней масла и конденсата в линии измерения давления.

Для определения уровня ртути в пережимных сосудах в одном из них помещен электроввод, состоящий из множества сопротивлений, между которыми находятся платиновые контакты. Перемещение уров-

ня ртути меняет сопротивление электроввода и соответственно напряжение на нем, которое фиксируется милливольтметром.

Перепад давления за счет разности уровней конденсата очень мал, так как прибор находится на одном уровне с пережимными сосудами. В этом случае эту величину можно не учитывать, так как она меньше точности измерения применяемых приборов.

Перепад давления за счет разности уровней масла определяется столбом масла между отметками уровней пресса и пережимных сосудов.

Таким образом давление опыта рассчитывается по уравнению:

$$P = P_n + \Delta P_{pm} + \Delta P_M$$

Создание и измерение температуры опыта. Прибор в собранном виде помещается в термостат (7). В качестве термостата использован специально изготовленный двухстеночный цилиндрический сосуд из нержавеющей стали, соединенный с ультратермостатом У-10 (6). В качестве термостатирующего агента использовалась полиметилсилоксановая жидкость ПМС-10, которая обеспечивает работу термостата в пределах от 210 до 460 К без замены термостатирующего агента. Отрицательные температуры создавались при помощи паров азота, получаемых в сосуде Дьюара и прокачиваемых через змеевик термостата.

Измерение температуры опыта проводилось образцовым платиновым термометром сопротивления ПТС-10 в комплекте с потенциометром Р-363 (8) класса точности 0,002, что обеспечивало точность измерения температуры 0,03°C. Температура головки прибора измеряется ртутным термометром с ценой деления 0,1°C.

Равномерность температурного поля по высоте и диаметру медной рубашки прибора контролировалась дифференциальной медь-константановой термопарой. Градиент температуры по высоте и диаметру рубашки был незначительным. Разность температур медной рубашки прибора и в поплавковой камере не превышала 0,01°C.

Взвешивание подвесной системы. Взвешивание подвесной системы в исследуемой среде проводится с помощью аналитических весов типа АДВ-200 (4). Связь подвесной системы с аналитическими весами осуществляется с помощью электромагнитной катушки с регулируемым магнитным полем.

Для приведения подвесной системы во взвешенное состояние в электромагнитную катушку, подвешенную к чашке аналитических весов, подается ток от электронно-следающей системы, вследствие чего, сердечник поднимается на 3–4 мм. При этом электронно-следающая система обеспечивает регулирование и строгое центрирование положения ферромагнитного сердечника и, следовательно, всей подвесной системы.

Вес подвесной системы в исследуемой среде определяется как разность между весом электромагнитной катушки вместе с подвесной системой и весом обесточенной катушки.

Методика проведения опытов. Прежде всего установка заполняется исследуемым веществом. Прибор заполняется через капилляр, соединяющий его с пережимным сосудом. Затем устанавливается давление и температура опыта. Далее определяется вес электромагнитной катушки с подвесной системой и вес катушки, измеряется температура и давление опыта, температура в зоне головки и перепад давления в пережимных сосудах.

Опыты проводились по изотермам. Переход из одной точки в другую осуществлялся путем повышения давления. На каждом режиме проводилось по 2–3 замера.

Плотность газовых конденсатов и их фракций рассчитывалась из данных опыта по формуле

$$\rho = \frac{G_{\text{ис}} - (G_2 - G_1) - \rho_c (V_c + 0,5V_n)}{V_n \Delta_1 \Delta_2 + 0,5V}$$

где $G_{\text{ис}}$ — вес подвесной системы в вакууме; G_1 — вес электромагнитной катушки; G_2 — вес электромагнитной катушки с подвесной системой; ρ_c — плотность исследуемого вещества в зоне сердечника; V_c , V_n , V — объем сердечника, нити и поплавка по данным калибровки; $\Delta_1 = [1 + 3\alpha(t_2 - t_1)]$ — поправка на измерение объема поплавка от температуры; $\Delta_2 = 1 - \chi\rho$ — поправка на изменение объема поплавка с давлением; α — коэффициент линейного расширения материала поплавка (для кварца $\alpha = 0,43 \cdot 10^{-6}$ 1/град); t_2 , t_1 — температура опыта и температура калибровки; χ — коэффициент сжимаемости материала поплавка (для кварца $\chi = 2,7 \cdot 10^{-6}$ см²/кг).

На основании анализа погрешности измерения плотности газовых конденсатов и их фракций установлено, что возможная погрешность полученных экспериментальных данных не превышает 0,2%.

2.3. Результаты экспериментальных измерений плотности углеводородов и газовых конденсатов

Измерение плотности углеводородов и газовых конденсатов проводилось различными методами, охватывающими жидкое и газообразное состояние. В табл. 2.2 приведен перечень работ по экспериментальному определению плотности (численные значения которой представлены в разделах 2.5–2.9) углеводородов и газовых конденса-

Перечень работ по определению плотности углеводородов и газовых конденсатов, данные которых использованы для составления таблиц разделов 2.5–2.9

Вещество	Авторы исследования	Методы измерения	Диапазон исследования		Литературный источник
			T, К	P, МПа	
1	2	3	4	5	6
Этан	ГСССД	расчет	100–500	0,1–70	[15]
Пропан	ГСССД	расчет	270–850	0,1–30	[17]
<i>n</i> -Бутан	ГСССД	расчет	300–950	0,1–30	[17]
<i>i</i> -Бутан	Казавчинский, Мамедов	расчет	293–548	0,1–20	[29, 28]
<i>n</i> -Пентан	ГСССД	расчет	350–1000	0,1–30	[17]
<i>i</i> -Пентан	Говард и др.	расчет	150–460	0,1	[16, 27]
<i>n</i> -Гексан	ГСССД	расчет	180–630	0,1–100	[19]
<i>n</i> -Гептан	Мамедов	расчет	290–470	1,0–40	[16]
<i>n</i> -Октан	Мамедов	расчет	370–550	2–20	[16]
<i>i</i> -Октан	Крегмер и др.	расчет	183–363	0,1	[27]
<i>n</i> -Нонан	Мамедов, Дулитл	расчет	223–423	0,1	[27, 28]
<i>n</i> -Декан	Мамедов, Дорнте	Расчет	313–393 253–443	2–20 0,1	[33] [27]
<i>n</i> -Ундекан	Гусейнов	расчет	290–520	1,0–49	[32]
<i>n</i> -Додекан	Шислер и др.	расчет	273–483	0,1	[27]
<i>n</i> -Тридекан	Камин, Россини	расчет	273–503	0,1	[27]
<i>n</i> -Тетрадекан	Камин, Россини	расчет	283–523	0,1	[27]
<i>n</i> -Пентадекан	Камин, Россини	расчет	283–533	0,1	[27]
<i>n</i> -Гексадекан	Камин и др.	расчет	293–553	0,1	[27]
<i>n</i> -Гептадекан	Гусейнов	расчет	320–523	0,3–49	[32]
<i>n</i> -Октадекан	Гусейнов	расчет	320–507	0,3–49	[32]
<i>n</i> -Нонадекан	Гусейнов	расчет	330–520	0,3–49	[32]
<i>n</i> -Эйкозан	Тиличев, Иогансен	расчет	313–573	0,1	[27]
<i>n</i> -Генэйкозан	Тиличев, Иогансен	расчет	313–573	0,1	[27]
<i>n</i> -Докозан	Тиличев, Иогансен	расчет	323–573	0,1	[27]
<i>n</i> -Трикозан	Тиличев, Иогансен	расчет	323–573	0,1	[27]
<i>n</i> -Тетракозан	Тиличев, Иогансен	расчет	323–573	0,1	[27]
<i>n</i> -Пентакозан	Тиличев, Иогансен	расчет	333–573	0,1	[27]

1	2	3	4	5	6
Фракция 122–150°C	Казарян	Гидростатическое взвешивание	220–470	0,1–60	
Фракция 150–175°C	Казарян	Гидростатическое взвешивание	220–470	0,1–60	
Фракция 175–200°C	Казарян	Гидростатическое взвешивание	220–470	0,1–60	
Фракция 200–к.к.	Казарян	Гидростатическое взвешивание	290–470	0,1–60	
Фракция 122–150°C	Казарян	Гидростатическое взвешивание	220–470	0,1–60	
Фракция 150–175°C	Казарян	Гидростатическое взвешивание	220–470	0,1–60	
Фракция 175–200°C	Казарян	Гидростатическое взвешивание	220–470	0,1–60	
Фракция 200–к.к.	Казарян	Гидростатическое взвешивание	290–470	0,1–60	
Газовый конденсат Оренбургского месторождения	Казарян	Гидростатическое взвешивание	220–470	0,1–60	
Фракция н.к.–60°C	Казарян	Гидростатическое взвешивание	220–470	0,1–60	
Фракция 60–95°C	Казарян	Гидростатическое взвешивание	220–470	0,1–60	
Фракция 95–122°C	Казарян	Гидростатическое взвешивание	220–470	0,1–60	
Фракция 122–150°C	Казарян	Гидростатическое взвешивание	220–470	0,1–60	
Фракция 150–к.к.	Казарян	Гидростатическое взвешивание	220–470	0,1–60	
Газовый конденсат Харасавэйского месторождения	Казарян	Гидростатическое взвешивание	220–470	0,1–60	
Газовый конденсат месторождения Шатлык	Шубин, Абдурахманов	Гидростатическое взвешивание	320–470	0,1–50	[25]
Газовый конденсат месторождения Шапахты	Шубин, Абдурахманов	Гидростатическое взвешивание	320–470	0,1–50	[25]
Газовый конденсат месторождения Северный Мубарек	Шубин, Абдурахманов	Гидростатическое взвешивание	320–470	0,1–50	[25]
Газовый конденсат месторождения Ачак	Шубин, Абдурахманов	Гидростатическое взвешивание	320–470	0,1–50	[25]
Газовый конденсат месторождения Гугуртли	Шубин, Абдурахманов	Гидростатическое взвешивание	320–470	0,1–50	[25]

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6
Газовый конденсат месторождения Уфан	Шубин, Абдурахманов	Гидростатическое взвешивание	320–470	0,1–50	[25]
Газовый конденсат месторождения Уфан	Шубин, Абдурахманов	Гидростатическое взвешивание	320–470	0,1–50	[25]
Газовый конденсат месторождения Учалар	Шубин, Абдурахманов	Гидростатическое взвешивание	320–470	0,1–50	[25]
Газовый конденсат месторождения Азракотлы	Казарян	Гидростатическое взвешивание	270–470	0,1–60	
Газовый конденсат Азракоттатского месторождения	Казарян	Гидростатическое взвешивание	280–430	0,1–60	
Газовый конденсат Азракоттатского месторождения	Казарян	Гидростатическое взвешивание	270–470	0,1–60	
Газовый конденсат Иштуртского месторождения	Казарян	Гидростатическое взвешивание	270–470	0,1–60	
Газовый конденсат Майкопского месторождения (I горизонт)	Рудаков	Гидростатическое взвешивание	240–470	0,1	[26]
Газовый конденсат Майкопского месторождения (II горизонт)	Рудаков	Гидростатическое взвешивание	240–470	0,1	[26]
Газовый конденсат Майкопского мес- торождения (III горизонт)	Рудаков	Гидростатическое взвешивание	240–470	0,1	[26]
Газовый конденсат Синюхинского месторождения	Магомадов	Гидростатическое взвешивание	293–473	0,1–60	[60]
Фракция н.к.–95°C	Магомадов	Гидростатическое взвешивание	263–473	0,1–60	[60]
Фракция 200–225°C	Магомадов	Гидростатическое взвешивание	263–473	0,1–60	[60]
Фракция 325–к.к.	Магомадов	Гидростатическое взвешивание	323–473	0,1–60	[60]
Газовый конденсат Синюхинского месторождения	Магомадов	Гидростатическое взвешивание	293–473	0,1–60	[60]
Фракция 95–122°C	Магомадов	Гидростатическое взвешивание	263–473	0,1–60	[60]

1	2	3	4	5	6
Фракция 95–122°С	Магомадов	Гидростатическое взвешивание	263–473	0,1–60	[60]
Газовый конденсат месторождения Газли	Шубин, Абдурахманов	Гидростатическое взвешивание	320–470	0,1–50	[25]
Газовый конденсат месторождения Учкыр	Шубин, Абдурахманов	Гидростатическое взвешивание	320–470	0,1–50	[25]
Газовый конденсат месторождения Харьковцы	Казарян	Гидростатическое взвешивание	270–470	0,1–60	
Газовый конденсат Карачаганакского месторождения	Казарян	Гидростатическое взвешивание	280–430	0,1–60	
Газовый конденсат Астраханского месторождения	Казарян	Гидростатическое взвешивание	270–470	0,1–60	
Газовый конденсат Ямбургского месторождения	Казарян	Гидростатическое взвешивание	270–470	0,1–60	

тов с указанием метода определения, интервалов исследований по температуре и давлению, литературный источник заимствования и авторы исследования.

Экспериментальные исследования показали, что плотность углеводородов, газовых конденсатов и их фракций увеличивается с ростом давления при всех температурах, при этом относительное изменение плотности от давления тем больше, чем выше температура.

Для наглядности приводятся графические изображения зависимости плотности от параметров состояния для газовых конденсатов Вуктыльского, Оренбургского, Астраханского, Карачаганакского, Ямбургского месторождений (рис. 2.6–2.17).

На рис. 2.18 показано относительное изменение плотности газовых конденсатов с ростом давления при фиксированной температуре 280 К. Из рисунка видно, что для газовых конденсатов месторождений Харасавэйского, Ямбургского, Карачаганакского, Харьковцы и Астраханского наблюдаются достаточно близкие результаты. Это свидетельствует о том, что указанные газовые конденсаты имеют близкую сжимаемость. Сжимаемость конденсатов Оренбургского и Вуктыльского месторождений отличаются от основной группы. При этом наибольшее изменение плотности от давления наблюдается для Оренбургского конденсата. При возрастании давления от 0,1 до 60 МПа ($T = 280$ К) плотность Оренбургского и Вуктыльского конденсатов увеличивается на 5,8 и 5% соответственно. Изменение плотности остальных газовых конденсатов в этом же интервале давления составляет в среднем 4%.

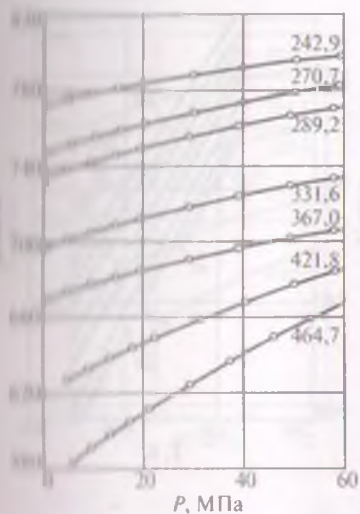


Рис. 2.6. Зависимость плотности конденсата Вуктыльского месторождения от давления при различных температурах, К

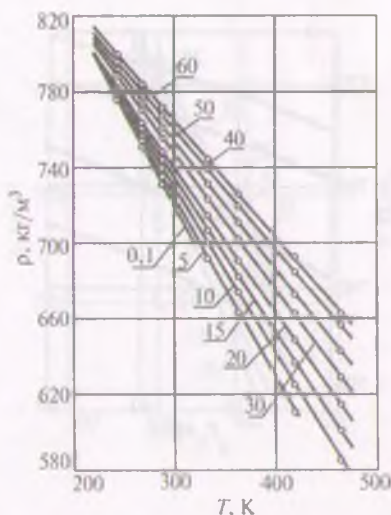


Рис. 2.7. Зависимость плотности конденсата Вуктыльского месторождения от температуры при различных давлениях, МПа

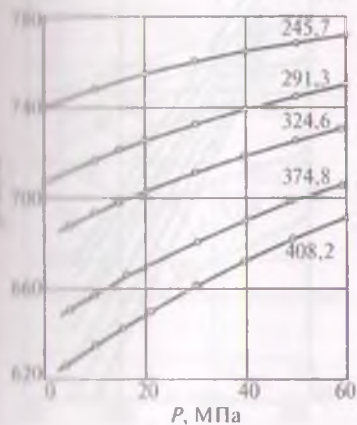


Рис. 2.8. Зависимость плотности конденсата Оренбургского месторождения от давления при различных температурах, К

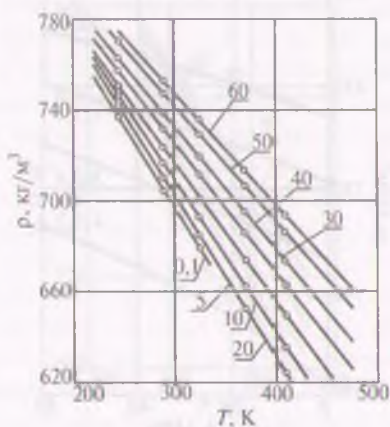


Рис. 2.9. Зависимость плотности конденсата Оренбургского месторождения от температуры при различных давлениях, МПа

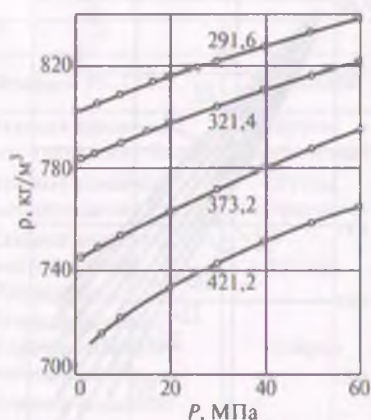


Рис. 2.10. Зависимость плотности конденсата Астраханского месторождения от давления при различных температурах, К

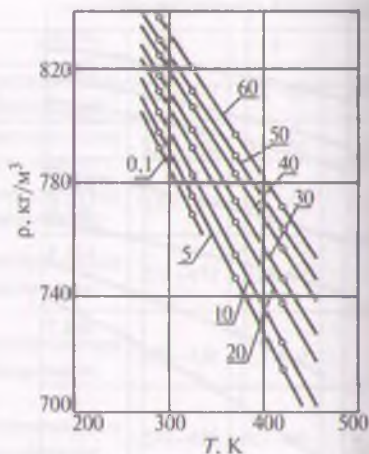


Рис. 2.11. Зависимость плотности конденсата Астраханского месторождения от температуры при различных давлениях, МПа

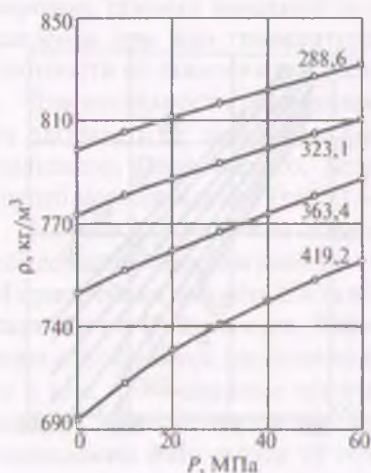


Рис. 2.12. Зависимость плотности конденсата Карачаганакского месторождения от давления при различных температурах, К

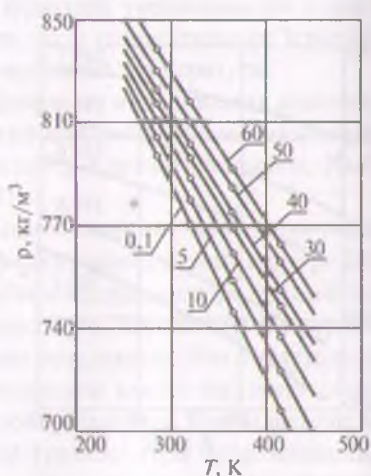


Рис. 2.13. Зависимость плотности конденсата Карачаганакского месторождения от температуры при различных давлениях, МПа

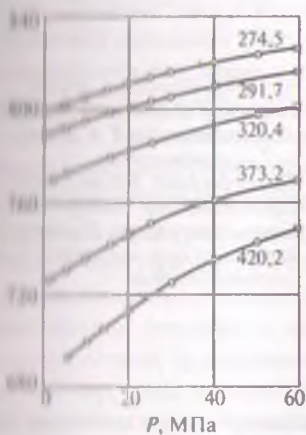


Рис. 2.14. Зависимость плотности конденсата Ямбургского месторождения от давления при различных температурах, К

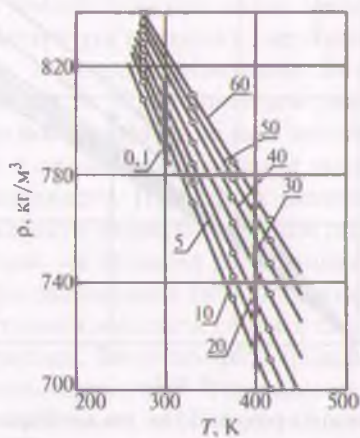


Рис. 2.15. Зависимость плотности конденсата Ямбургского месторождения от температуры при различных давлениях, МПа

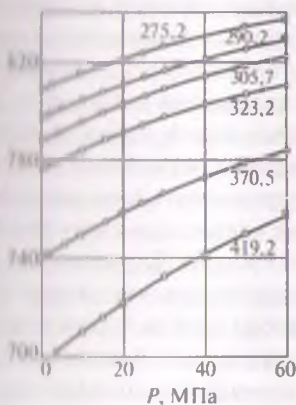


Рис. 2.16. Зависимость плотности конденсата месторождения Харьковцы от давления при различных температурах, К

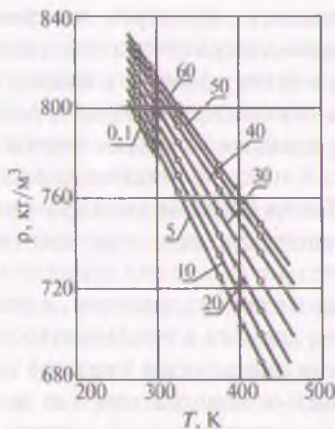


Рис. 2.17. Зависимость плотности конденсата месторождения Харьковцы от температуры при различных давлениях, МПа

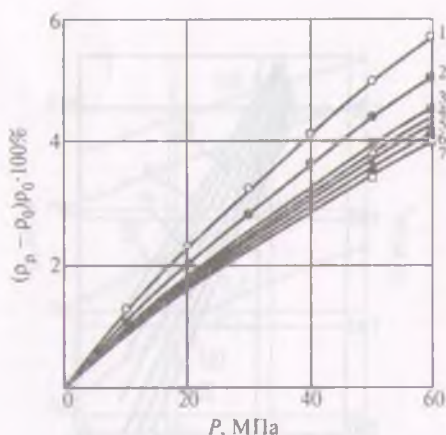


Рис. 2.18. Относительное изменение плотности газовых конденсатов при $T = 280\text{ K}$:
1—7 — конденсаты Оренбургского, Вуктыльского, Харасавейского, Ямбургского, Карачаганакского, Харьковцы, Астраханского месторождения, соответственно

Анализ результатов по изобарам показывает, что изменение плотности с ростом температуры от 270 до 460 К составляет соответственно при давлении 10 МПа в 1,17–1,26 раза, при давлении 60 МПа в 1,11–1,16 раза, то есть относительное понижение плотности тем больше, чем ниже давление.

Для фракций газовых конденсатов Вуктыльского и Оренбургского месторождений качественная картина аналогична. Например, плотность фракций с повышением температуры от 270 до 460 К понижается при давлении 10 МПа в 1,38–1,17 раза, а при 60 МПа в 1,2–1,12 раза.

Такое поведение плотности углеводородов и газовых конденсатов объясняется характером изменяющихся с температурой и давлением сил межмолекулярного взаимодействия. Тепловое движение в жидкостях приводит к тому, что каждая молекула только в течение некоторого времени колеблется около определенного положения равновесия. Время от времени молекулы меняют место нахождения, скачком перемещаясь в новое положение на расстояние порядка размеров самих молекул. Таким образом, молекулы медленно перемещаются по всему объему в жидкости, при этом кратковременные «переезды» сменяются относительно длинными периодами «оседлой» жизни. Длительность этих «стоянок» весьма различна, и они беспорядочно чередуются друг с другом, но средняя длительность колебаний около одного положения равновесия оказывается у каждой жидкости определенной величиной, зависящей от температуры и от энергии активизации самодиффузии, величина которой в свою очередь зависит от степени упорядоченности размещения молекул и от величины межмолекулярных сил. В связи с этим при повышении температуры жидкости значительно возрастает подвижность ее молекул, уменьшается энергия активации самодиффузии, величина межмолекулярных сил, и передвижение молекул случается чаще, что влечет за собой уменьшение плотности этой жидкости.

Таким образом объясняется заметное уменьшение плотности углеводородов и газовых конденсатов с повышением температуры при малых давлениях.

Давление оказывает обратное температуре влияние на величину сил межмолекулярного взаимодействия, энергию активизации самодиффузии на подвижность молекул жидкости. С повышением давления при одной и той же температуре межмолекулярные силы и энергия активизации самодиффузии возрастают, а подвижность молекул уменьшается, что приводит к увеличению плотности. При малых давлениях и низких температурах молекулы жидкости обладают большой подвижностью, и они находятся относительно на больших расстояниях одна от другой, силы притяжения при этом превосходят силы отталкивания. С увеличением давления в этом состоянии жидкость сильнее сжимается и плотность ее существенно возрастает. Такой процесс продолжается до тех пор, пока не начинают преобладать силы отталкивания между молекулами при сокращении их подвижности. После этого сжатие жидкости с повышением давления продолжается, но незначительно, и плотность ее возрастает медленнее.

2.4. Методы расчета плотности углеводородов и газовых конденсатов при различных температурах и давлениях

Современная молекулярно-кинетическая теория не позволяет составить единое уравнение состояния газа и жидкости, которое отражало бы различные механизмы межмолекулярного взаимодействия в этих состояниях. Поэтому результаты экспериментальных измерений плотности являются основой при составлении эмпирических и полуэмпирических уравнений состояния исследуемого вещества.

Составлению уравнений состояния посвящено множество работ [14–35], при этом каждое из предложенных уравнений имеет свои достоинства и недостатки.

В настоящее время надежных методик расчета плотности газовых конденсатов и их фракций не имеется. Имеющиеся в литературе методики приспособленные для нефтей и их фракций носят преимущественно эмпирический характер и получены, как правило, путем обработки экспериментальных данных. При этом расчет плотности ведется или по гипотетическому индивидуальному веществу, под которое идентифицирован нефтепродукт или же при помощи специальных характеристических параметров, учитывающих влияния состава нефтепродукта.

На рис. 2.19 и 2.20 приводится зависимость плотности Вуктыльско-го и Оренбургского конденсатов и их фракций от температуры. Как

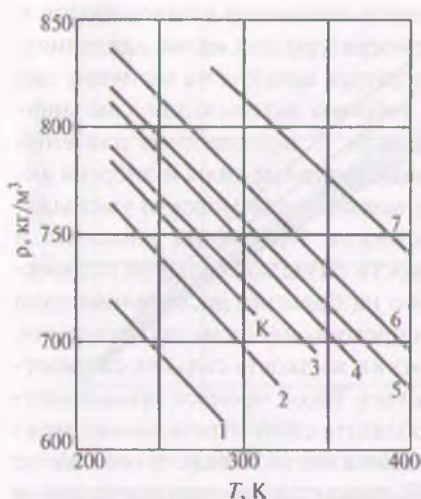


Рис. 2.19. Зависимость плотности конденсата и его фракций Вуктыльского месторождения от температуры: К — конденсат, 1–7 — фракции: н.к.—60; 60–95; 95–122; 122–150; 150–175; 175–200; 200–к.к.

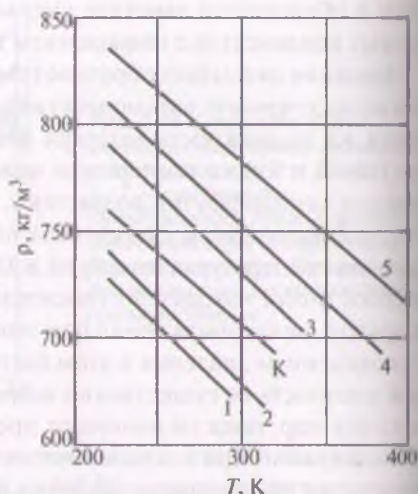


Рис. 2.20. Зависимость плотности конденсата и его фракций Оренбургского месторождения от температуры: К — конденсат, 1–7 — фракции: н.к.—60; 60–95; 95–122; 122–150; 150–к.к.

видно из рисунков, плотность конденсатов и их фракций с повышением температуры линейно уменьшается, что выражается уравнением:

$$\rho_t = \rho_{20} [1 - \beta(T - 293,15)], \quad (2.1)$$

где β — температурный коэффициент плотности, 1/град.

На рис. 2.21 представлена зависимость температурного коэффициента плотности исследованных газовых конденсатов и их фракций от плотности при стандартных условиях. Обработка полученных результатов позволила получить выражение температурного коэффициента плотности в следующем виде:

$$\beta = 3,2337 - 0,002927\rho_{20}. \quad (2.2)$$

Более распространенная запись зависимости плотности от температуры имеет вид:

$$\rho_t = \rho_{20} - (T - 293,15), \quad (2.3)$$

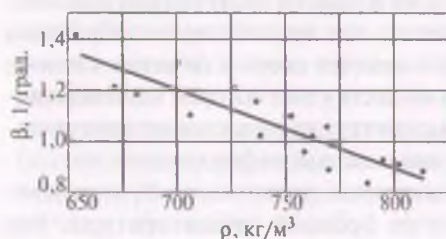


Рис. 2.21. Зависимость температурного коэффициента плотности исследованных газовых конденсатов и их фракций от плотности

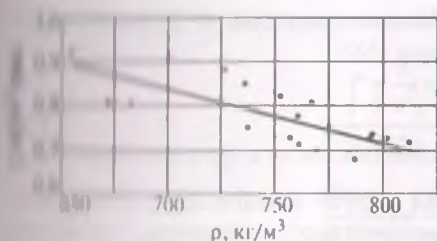


Рис. 2.22. Зависимость температурной поправки плотности исследованных газовых конденсатов и их фракций от плотности

где $\bar{\rho}_{20}$ — средняя температурная поправка плотности, $\text{кг/м}^3\text{град}$.

График температурная поправка плотности является тангенсом угла наклона прямой плотности к оси температуры и характеризует изменение плотности при изменении температуры на один градус.

На рис. 2.22 приводится зависимость температурной поправки плотности исследованных газовых конденсатов и их фракций от плотности при стандартных условиях. Обработка полученных результатов позволила получить следующее выражение:

$$\gamma = 1,5658 - 0,001056\rho_{20}. \quad (2.4)$$

Для перерасчета плотности нефтепродуктов с одной температуры в другую ГОСТ 3900-47 рекомендует пользоваться температурными поправками плотности, предложенными Кусановым [31]:

$$\gamma = 1,828 - 0,001320\rho_4^{20}. \quad (2.5)$$

Сравнение двух выражений (2.4) и (2.5) показало, что расхождение полученных значениями температурных поправок плотности составляет 10-15%.

Для расчета температурной поправки плотности нефтепродуктов Расторгуев [56] предлагает эмпирическое уравнение следующего вида:

$$\gamma = 5,6 \cdot 10^{-4} \frac{n}{(\rho_4^{20})^{1,68}}, \quad (2.6)$$

где $n = \rho_4^{20} + 100/T_{\text{кин}}$ — показатель состава нефтепродукта.

Проверка формулы (2.6) для фракций газовых конденсатов I—III горючего Майкопского месторождения не дала положительных результатов, так как имели место значительные расхождения между экспериментальными значениями γ и значениями, вычисленными по формуле Расторгуева (2.6).

В работе [57] рекомендуется температурную поправку γ , учитывающую различия в групповом углеводородном составе нефтепродуктов, рассчитывать по формуле:

$$\gamma = \frac{1}{1,706 - \frac{43,65}{MR_E}}, \quad (2.7)$$

где R_E — удельная рефракция по Эйкману, которая не зависит от температуры и определяется выражением [58]:

$$R_E = \frac{(n_D^{20})^2 - 1}{n_D^{20} + 0,4} \frac{1}{\rho_t^{20}}, \quad (2.8)$$

Формула (2.7) рекомендуется для нефтей и нефтепродуктов нафтового и нафтено-парафино-ароматического основания, продуктов термического и каталитического крекинга, масел со средними температурами кипения от 313 до 623 К.

Проверка формулы (2.7) для газовых конденсатов и их фракций Вуктыльского месторождения не дала положительных результатов. Расхождение между экспериментальными значениями γ и значениями, вычисленными по формуле (2.7) составляет более 8%.

Для расчета плотности жидких нефтей и нефтяных фракций в диапазоне температур от 137 до 723 К и давлений до 350 МПа в [59] рекомендуется методика Американского нефтяного института (АНИ), наибольшая погрешность расчета по которой, оценивается в 2%.

Методика АНИ по определению значения плотности при различных температурах и давлениях была проверена для большого числа нефтепродуктов [57]. Средние отклонения результатов расчета от эксперимента при повышенных давлениях достигли до 7–10% и выше. Это объясняется тем, что температурная зависимость $\Delta\rho(T) = \rho(P, T) - \rho(P_0, T)$, определяемая по графику АНИ, более слабая, чем это имеет место для нефтепродуктов, и второе, график АНИ не отражает различий в углеводородном составе нефтепродуктов, предполагается, что $\Delta\rho$ является функцией только относительной плотности ρ_4^{20} . Авторы этой работы предлагают для расчета плотности нефтей при повышенных давлениях использовать уравнение состояния Тейта в интегральной форме.

Среди известных уравнений состояния жидкости особое место занимает уравнение Путилова. Мамедов с сотрудниками применили это уравнение для описания P - V - T данных жидких азота, бензола, толуола, пара-мета-орто-ксилолов [61, 62] и получили уравнение вида:

$$\frac{PV}{RT} = 1 + \frac{B}{v} + \frac{C}{v^2} + \frac{D}{v^3} + \dots \quad (2.9)$$

Для жидкого бензола уравнение (2.9) имеет вид:

$$P = \frac{RT}{v} + \frac{B(T)}{v^2} + \frac{H(T)}{v^3}. \quad (2.10)$$

Уравнение (2.9) для толуола имеет вид:

$$P = \frac{K}{v^2} + \frac{L}{v^9}, \quad (2.11)$$

Для пара-мета-орта ксилолов имеет вид:

$$\frac{Pv}{RT} = 1 + \frac{B}{v} + \frac{H}{v^2}, \quad (2.12)$$

где B, H, A, L — коэффициенты, зависящие от температуры.

Уравнения (2.10–2.12) описывают экспериментальные данные по P – T зависимости по данным опытов с погрешностью эксперимента.

Коспелли и Кондалик [63] для интерпретации экспериментальных данных по плотности бензола предложили уравнение вида:

$$v = a + \frac{b}{p} + CP + dp^2, \quad (2.13)$$

где a, b, c, d — коэффициенты, зависящие от температуры.

В работе не приводятся аналитические выражения для температурных зависимостей этих коэффициентов, а даются их значения с шагом 10°C . Среднюю погрешность опытных данных авторы оценивают в 0,1%, а максимальную $\pm 0,15\%$.

Для обработки полученных экспериментальных результатов по исследованию P – V – T зависимости гексана-1, октана-1, циклогексена, пентана и метилциклогексана в работе [22] была составлена графическая зависимость давления от температуры при постоянных плотностях. При этом для всех пяти исследованных веществ эти изохоры являются прямыми линиями. Для уменьшения количества графического материала приводятся зависимости только для гексана-1 (рис. 2.23) и циклогексана (рис. 2.24). Разброс экспериментальных точек около изохор лежит в пределах погрешности эксперимента. Линейный характер для изохор подтверждается также слабой зависимостью температуры при постоянной температуре от удельного объема [64, 65]. Исходя из этих предположений, для всех пяти углеводородов было описано уравнение состояния в виде:

$$P = A_{(v)} + B_{(v)}T, \quad (2.14)$$

где P — давление опыта; T — температура опыта; $A_{(v)}$ и $B_{(v)}$ — коэффициенты, являющиеся функциями плотности.

Коэффициенты $A_{(v)}$ и $B_{(v)}$ были найдены методом наименьших квадратов для каждого углеводорода в отдельности.

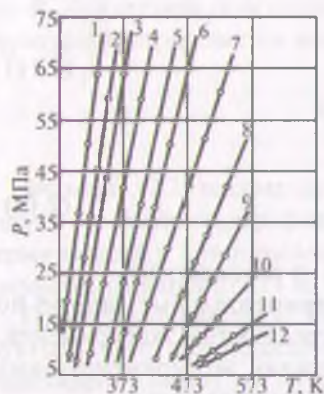


Рис. 2.23. Линии постоянной плотности гексана-1 [22]:
1 — $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$; 2 — 682; 3 — 670;
4 — 650; 5 — 630; 6 — 610; 7 — 580;
8 — 510; 9 — 508; 10 — 460; 11 — 410;
12 — 350

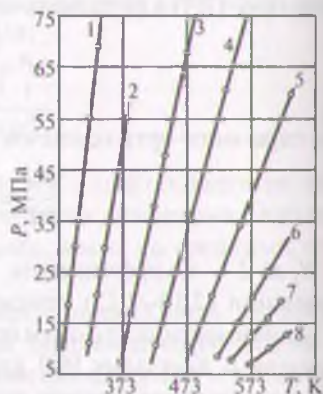


Рис. 2.24. Линии постоянной плотности циклогексана [22]:
1 — $\rho = 790 \text{ кг/м}^3$; 2 — 750; 3 — 700;
4 — 650; 5 — 600; 6 — 530; 7 — 470;
8 — 390

На основе анализа экспериментальных данных по плотности для восьми газовых конденсатов месторождений Средней Азии [25] установлено, что опытные данные можно описывать уравнением вида:

$$\rho = at + b, \quad (2.15)$$

где $a = A_2 + B_2P + C_3\rho^2$; $b = A_3 + B_3P + C_3P_2$.

Сравнение экспериментальных данных с расчетными значениями плотности для всех восьми газовых конденсатов показало, что отклонение составляет не более 1–2%.

2.5. Плотность парафиновых углеводородов при различных температурах и давлениях

Таблица 2.3

Численные плотности ρ , кг/м³ этана при различных температурах
и давлениях [15]

Температура, °C	Плотность при давлении P , МПа											
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	40	50	60	70
0	610,61	610,57	642,85	645,38	647,64	649,70	651,61	653,39	656,67	659,65	662,65	—
10	610,61	610,50	632,52	634,86	637,04	639,09	641,02	642,86	646,30	649,50	652,50	655,33
20	610,49	619,96	621,98	624,37	626,63	628,78	630,83	632,80	636,54	640,05	643,88	646,57
30	609,46	608,96	611,12	613,68	616,11	618,44	620,68	622,84	626,97	630,88	634,63	638,24
40	607,13	597,70	600,05	602,85	605,52	608,09	610,55	612,94	617,52	621,89	626,10	630,19
50	583,24	586,24	588,84	591,93	594,87	597,70	600,42	603,06	608,12	612,96	617,65	622,24
60	571,93	574,59	577,47	580,89	584,14	587,25	590,25	593,14	598,70	604,01	609,16	614,20
70	561,97	562,72	565,92	569,71	573,30	576,72	580,00	583,16	589,21	594,97	600,53	605,98
80	549,74	550,57	554,16	558,36	562,32	566,07	569,65	573,09	579,63	585,82	591,76	597,55
90	537,77	538,09	542,13	546,82	551,19	555,31	559,21	562,94	569,98	576,58	582,87	588,95
100	526,66	525,18	529,77	535,04	539,89	544,42	548,68	552,73	560,29	567,31	573,93	580,26
110	516,66	511,74	517,01	522,97	528,39	533,39	538,05	542,44	550,57	558,03	564,99	571,57
120	508,68	497,59	503,74	510,55	516,64	522,19	527,31	532,09	540,84	548,77	556,09	562,94
130	502,60	482,49	489,81	497,70	504,60	510,80	516,45	521,67	531,84	539,57	547,27	554,41
140	498,33	466,10	475,03	484,30	492,20	499,17	505,44	511,16	521,39	530,41	538,55	546,00
150	494,77	46,96	459,12	470,21	479,36	487,25	494,23	500,54	511,89	521,31	529,92	537,72
160	491,81	15,93	441,68	455,27	465,99	474,99	482,81	489,79	501,89	512,26	521,39	529,58
170	489,38	15,06	422,09	439,26	451,98	462,32	471,13	478,87	492,09	503,24	512,95	521,57
180	487,36	14,31	399,25	421,89	437,23	449,20	459,16	467,76	482,24	494,25	504,58	513,68
190	485,76	13,65	370,73	402,80	421,62	435,57	446,87	456,46	472,31	485,27	496,29	505,89
200	484,51	13,06	328,18	381,48	405,03	421,40	434,24	444,93	462,31	476,29	488,05	498,21
210	483,60	10,83	69,67	218,10	305,33	342,74	366,68	384,60	411,29	431,30	447,40	480,84
220	483,01	9,32	53,10	126,23	205,93	262,10	298,42	324,30	360,83	387,08	407,75	424,80
230	482,81	8,20	44,29	96,50	152,30	202,31	241,60	271,75	315,13	346,14	370,45	390,53
240	482,72	7,33	38,44	80,54	123,92	164,97	200,78	230,72	276,55	310,29	336,92	353,06

Таблица 2.4

Значения плотности ρ , кг/м³ этана на линии насыщения по температуре [16]

<i>T</i> , К	<i>P</i> , МПа	Жидкость	Пар	<i>T</i> , К	<i>P</i> , МПа	Жидкость	Пар
173,15	0,0526	558,6	1,130	258,15	1,6294	443,5	30,07
178,15	0,0710	553,4	1,489	263,15	1,8590	433,6	34,67
183,15	0,0951	547,9	1,930	268,15	2,1101	423,0	39,92
188,15	0,1227	542,3	2,470	273,15	2,3868	411,7	45,99
193,15	0,1577	536,5	3,118	278,15	2,6879	399,5	53,05
198,15	0,1999	530,8	3,888	283,15	3,0166	386,5	61,46
203,15	0,2503	524,9	4,798	288,15	3,3736	369,5	71,53
208,15	0,3097	518,9	5,862	293,15	3,7621	351,1	84,25
213,15	0,3791	512,6	7,092	295,15	3,9269	341,1	90,42
218,15	0,4596	506,1	8,518	297,15	4,0957	330,7	97,47
223,15	0,5522	499,2	10,15	299,15	4,2713	318,1	105,5
228,15	0,6578	492,1	12,02	301,15	4,4518	302,1	115,3
233,15	0,7777	484,9	14,15	303,15	4,6382	279,5	128,3
238,15	0,9129	477,6	16,58	304,15	4,7333	262,9	138,3
243,15	1,0644	469,9	19,34	305,15	4,8304	231,1	157,9
248,15	1,2331	461,5	22,46	305,42	4,8571	201,0	201,0
253,15	1,4215	452,9	26,01				

Таблица 2.5

Значения плотности ρ , кг/м³ этана на линии насыщения по давлению [16]

<i>P</i> , МПа	<i>T</i> , К	Жидкость	Пар	<i>P</i> , МПа	<i>T</i> , К	Жидкость	Пар
0,0981	183,90	547,0	2,008	0,9810*	240,45	474,2	17,83
0,1471	191,79	537,9	2,927	1,1772	246,45	464,2	21,39
0,1962	197,70	531,3	3,821	1,3734	251,89	454,9	25,10
0,2453	202,75	525,5	4,699	1,5696	256,72	446,0	28,95
0,2943	206,89	520,3	5,695	1,7658	261,33	437,6	32,32
0,3924	214,25	511,5	7,331	2,4525	274,35	408,9	47,53
0,4905	219,79	503,8	9,074	2,9430	282,01	389,4	59,42
0,5886	225,19	496,8	10,80	3,4335	288,87	366,4	72,89
0,6867	229,58	490,2	12,54	3,9240	295,29	341,3	90,41
0,7848	233,44	484,5	14,26	4,4145	300,41	305,9	113,0
0,8829	237,12	479,2	15,98	4,8571	305,42	201,0	201,0

Таблица 2.6

Значения плотности ρ , кг/м³ пропана при различных температурах и давлениях [17]

		Плотность при температуре T , К										
T , К	P , МПа	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
100	0,0101	1,820	1,550	1,352	1,199	1,078	0,979	0,897	0,828	0,768	0,672	0,632
120	0,0133	486,87	16,90	14,18	12,32	10,93	9,85	8,97	8,24	7,63	6,65	6,25
140	0,0178	400,28	39,43	30,68	25,83	22,55	20,10	18,19	16,64	15,35	13,32	12,50
160	0,0236	491,47	380,58	50,62	40,81	34,92	30,79	27,66	25,19	23,16	20,02	18,76
180	0,0307	496,47	395,78	76,22	57,55	48,09	41,90	37,37	33,87	31,05	26,72	25,02
200	0,0394	499,31	406,56	112,57	76,43	62,13	53,43	47,31	42,67	38,99	33,44	31,27
220	0,0498	502,01	415,14	171,54	97,83	77,04	65,36	57,44	51,58	46,99	40,15	37,50
240	0,0618	504,58	422,34	244,85	121,98	92,81	77,65	67,75	60,57	55,02	46,85	43,71
260	0,0753	507,04	428,61	289,58	148,61	109,34	90,26	78,20	69,61	63,06	53,52	49,89
280	0,0903	509,40	434,18	315,81	176,56	126,46	103,11	88,75	78,70	71,11	60,17	56,04
300	0,1070	511,66	439,22	333,90	203,81	143,92	116,11	99,36	87,79	79,14	66,79	62,16
320	0,1254	512,89	459,28	383,87	297,11	224,75	179,66	151,57	132,48	118,51	99,10	91,96
340	0,1453	510,70	474,36	411,55	343,99	281,37	232,90	198,43	173,73	155,32	129,59	120,15
360	0,1674	518,48	486,63	431,27	373,86	319,54	273,53	237,42	209,76	188,38	157,75	146,39
380	0,1918	545,47	497,06	446,80	395,81	347,33	304,62	269,09	240,41	217,38	183,34	170,48

Таблица 2.7

Значения плотности ρ , кг/м³ пропана на линии насыщения [16, 18]

T , К	P , МПа	Жидкость	Пар	T , К	P , МПа	Жидкость	Пар
100,50	0,0101	630,0	0,285	251,15	0,215	558,0	5,12
110,94	0,0505	599,0	1,270	253,15	0,232	555,5	5,50
121,14	0,069	590,9	1,72	255,15	0,249	553,1	5,88
131,15	0,075	588,6	1,87	257,15	0,268	550,6	6,29
141,15	0,082	586,3	2,02	259,15	0,288	548,1	6,72
151,15	0,090	584,1	2,21	261,15	0,308	545,4	7,16
161,15	0,097	581,7	2,37	263,15	0,332	542,9	7,60
171,15	0,107	579,5	2,63	265,15	0,350	540,3	8,16
181,15	0,114	577,3	2,82	267,15	0,374	537,7	8,65
191,15	0,124	574,7	3,08	269,15	0,388	535,0	9,14
201,15	0,135	572,3	3,31	271,15	0,424	532,4	9,70
211,15	0,146	570,0	3,57	273,15	0,448	529,7	10,28
221,15	0,161	567,7	3,85	275,15	0,479	527,0	10,88
231,15	0,171	565,3	4,14	277,15	0,509	524,2	11,53
241,15	0,184	562,9	4,45	279,15	0,543	521,5	12,20
249,15	0,199	560,4	4,77	281,15	0,577	518,7	12,87

T, K	$P, \text{МПа}$	Жидкость	Пар	T, K	$P, \text{МПа}$	Жидкость	Пар
283,15	0,617	515,9	13,62	311,15	1,300	472,5	27,90
285,15	0,649	513,0	14,37	313,15	1,358	468,9	29,07
287,15	0,687	510,0	15,15	315,15	1,422	465,3	30,89
289,15	0,728	507,0	15,90	317,15	1,489	462,1	32,82
291,15	0,772	504,1	16,67	319,15	1,559	458,5	35,00
293,15	0,817	501,1	17,50	321,15	1,630	455,0	37,40
295,15	0,861	498,4	18,36	323,15	1,710	451,3	40,00
297,15	0,910	495,0	19,25	330,70	2,020	434,0	47,10
299,15	0,960	491,9	20,22	341,71	2,525	409,0	62,2
301,15	0,101	488,7	21,26	351,23	3,030	381,0	80,4
303,15	1,060	485,6	22,36	359,61	3,535	347,0	104,0
305,15	1,116	482,4	23,47	367,18	4,040	300,0	150,0
307,15	1,173	478,9	24,72	370,0	4,252	225,0	225,0
309,15	1,240	475,7	26,03				

Таблица 2

Значения плотности ρ , кг/м³ *n*-бутана при различных температурах и давлениях [17]

$P, \text{МПа}$	Плотность при температуре T, K									
	300	350	400	450	500	550	600	650	700	950
0,101	2,433	2,060	1,791	1,586	1,424	1,293	1,184	1,092	1,013	0,746
1,0	571,18	502,85	19,87	16,86	14,78	13,21	11,98	10,97	10,13	7,37
2,0	572,93	506,87	48,50	37,28	31,44	27,54	24,64	22,38	20,55	14,75
3,0	574,64	510,60	412,06	63,76	50,56	43,12	38,04	34,23	31,23	22,14
4,0	576,30	514,08	424,71	102,99	72,88	60,13	52,18	46,51	42,17	29,52
5,0	577,91	517,36	434,42	181,78	99,42	78,68	67,06	59,18	53,33	36,89
6,0	579,49	520,46	442,45	285,08	131,18	98,83	82,65	72,22	64,68	44,23
7,0	581,03	523,40	449,35	327,58	168,06	120,47	98,87	85,55	76,17	51,53
8,0	582,53	526,20	455,45	351,25	206,70	143,27	115,57	99,10	87,77	58,79
9,0	584,00	528,89	460,93	367,80	241,50	166,58	132,57	112,78	99,40	66,00
10,0	585,44	531,46	465,94	380,64	269,78	189,54	149,62	126,49	111,03	73,14
15,0	592,18	542,96	486,17	421,48	348,90	279,57	227,22	191,67	167,03	107,71
20,0	598,29	552,77	501,59	446,64	388,64	332,23	283,44	244,96	215,65	139,87
25,0	603,87	561,34	514,24	465,29	415,26	366,73	322,92	285,73	255,33	169,20
30,0	608,99	568,97	525,04	480,30	435,43	392,09	352,29	317,28	287,37	195,61

Таблица 2.9
Значения плотности ρ , кг/м³ н-бутана на линии насыщения [18]

T, K	P, MPa	Жидкость	Пар	T, K	P, MPa	Жидкость	Пар
273,15	0,009	651,0	—	275,15	0,108	598,9	3,07
275,15	0,011	649,2	—	277,15	0,114	596,7	3,30
277,15	0,012	647,2	—	279,15	0,123	594,6	3,54
279,15	0,014	645,4	—	281,15	0,132	592,4	3,78
281,15	0,016	643,4	—	283,15	0,143	590,1	4,05
283,15	0,017	641,4	—	285,15	0,152	587,9	4,28
285,15	0,019	639,7	—	287,15	0,162	585,7	4,60
287,15	0,021	637,5	—	289,15	0,174	583,4	4,88
289,15	0,024	635,6	—	291,15	0,186	581,2	5,19
291,15	0,026	633,7	—	293,15	0,197	578,9	5,53
293,15	0,028	631,7	—	295,15	0,210	576,6	5,82
295,15	0,031	629,8	—	297,15	0,225	574,4	6,21
297,15	0,034	627,8	—	299,15	0,241	572,0	6,52
299,15	0,037	625,7	—	301,15	0,257	569,6	6,98
301,15	0,041	623,8	—	303,15	0,274	567,3	7,34
303,15	0,045	621,8	1,07	305,15	0,290	564,9	7,76
305,15	0,048	619,7	1,22	307,15	0,307	562,4	8,19
307,15	0,053	617,7	1,37	309,15	0,326	560,1	8,62
309,15	0,057	615,7	1,54	311,15	0,345	557,7	9,07
311,15	0,062	613,6	1,70	313,15	0,365	555,2	9,57
313,15	0,067	611,5	1,87	315,15	0,386	552,6	10,05
315,15	0,073	609,4	2,07	317,15	0,408	550,2	10,58
317,15	0,078	607,4	2,26	319,15	0,431	547,8	11,12
319,15	0,084	605,3	2,45	321,15	0,455	545,2	11,68
321,15	0,092	603,1	2,65	323,15	0,481	542,6	12,30
323,15	0,100	601,0	2,85				

Таблица 2.10
Значения плотности ρ , кг/м³ газообразного изобутана при различных температурах и давлениях [29]

P, MPa	Плотность при температуре T, K							
	273,15	398,15	423,15	448,15	473,15	498,15	523,15	548,15
0,101	1,862	1,742	1,636	1,543	1,459	1,384	1,317	1,256
0,202	1,772	3,522	3,302	3,109	2,938	2,785	2,646	2,521
0,303	3,737	5,330	4,986	4,684	4,421	4,184	3,978	3,794
0,404	7,758	7,189	6,707	6,293	5,931	5,608	5,325	5,076
0,505	9,842	9,091	8,460	7,924	7,457	7,047	6,684	6,365

Р, МПа	Плотность при температуре Т, К							
	373,15	398,15	423,15	448,15	473,15	498,15	523,15	548,15
1,010	21,39	19,35	17,76	16,47	15,39	14,47	13,66	12,90
1,515	35,68	31,24	28,13	25,77	23,87	22,29	20,94	19,79
2,020	55,87	45,70	39,92	35,98	32,99	30,56	28,55	26,80
2,525	—	64,60	53,73	47,35	42,81	39,32	36,52	34,20
3,030	—	94,79	70,57	60,17	53,48	48,66	44,86	41,81
3,535	—	—	92,51	74,85	65,15	58,51	53,59	49,60
4,040	—	—	125,09	91,91	77,94	69,06	62,73	57,84
4,545	—	—	188,9	112,6	92,08	80,32	72,31	66,23
5,050	—	—	265,5	138,1	107,7	92,42	82,30	74,96
5,555	—	—	—	168,7	124,9	105,16	92,68	83,89
6,060	—	—	—	203,3	144,0	118,6	103,5	93,11
6,565	—	—	—	236,2	164,4	138,7	114,7	102,3
7,070	—	—	—	261,9	185,6	147,4	126,2	112,1
7,575	—	—	—	—	206,6	162,5	137,9	121,9
8,080	—	—	—	—	226,5	177,9	149,7	131,7
8,585	—	—	—	—	244,6	193,3	161,7	141,3
9,090	—	—	—	—	260,2	207,9	173,8	151,3
9,595	—	—	—	—	273,5	222,3	185,7	161,3
10,10	—	—	—	—	—	235,7	197,3	171,2
11,11	—	—	—	—	—	259,1	219,8	190,8
12,12	—	—	—	—	—	278,2	240,2	209,2
13,13	—	—	—	—	—	—	258,1	226,7
14,14	—	—	—	—	—	—	273,7	242,8
15,15	—	—	—	—	—	—	—	257,3
16,16	—	—	—	—	—	—	—	270,2

Таблица 2.11

Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого изобутана при различных температурах и давлениях [28]

Р, МПа	Плотность при температуре Т, К							
	293,15	313,15	333,15	353,15	363,15	373,15	383,15	393,15
2,02	564,6	537,3	508,4	475,1	454,9	431,2	402,1	364,7
3,03	566,6	539,9	512,0	480,3	461,9	440,3	414,8	383,1
4,04	568,5	542,3	515,5	485,4	468,2	448,4	425,7	398,1
5,05	570,4	544,9	518,7	489,9	473,9	455,6	434,9	410,7
6,06	572,4	547,0	521,6	494,3	479,1	462,1	443,3	421,4

Окончание таблицы 2.11

ρ , кг/м ³	Плотность при температуре T , К								
	293,15	313,15	333,15	353,15	363,15	373,15	383,15	393,15	
501	574,1	549,4	524,7	498,2	483,8	467,9	450,4	430,7	
500	576,0	551,6	527,4	502,0	488,3	473,3	456,8	438,6	
500	577,8	553,7	530,2	505,6	492,3	478,0	462,5	445,6	
50,10	579,4	555,9	532,8	508,9	496,0	482,4	467,7	451,7	
51,11	581,0	557,8	535,3	511,8	499,5	486,4	472,4	457,2	
52,12	582,7	559,9	537,6	514,7	502,8	489,9	476,6	462,1	
53,13	584,4	561,8	539,9	517,6	505,8	493,3	480,5	466,6	
54,14	585,8	563,4	542,0	520,0	508,6	496,5	484,0	470,6	
55,15	587,2	565,3	544,1	522,4	511,5	499,5	487,3	474,2	
56,16	588,9	566,9	546,1	524,9	513,9	502,3	490,4	477,6	
57,17	590,3	568,5	547,9	526,9	516,3	504,8	493,1	480,5	
58,18	591,7	570,1	549,7	529,1	518,4	507,1	495,8	483,6	
59,19	593,1	571,7	551,6	531,1	520,6	509,4	498,0	486,1	
60,20	594,5	573,4	553,4	533,0	522,5	511,5	500,5	488,5	

Таблица 2.12

Значения плотности ρ , кг/м³ изобутана на линии насыщения [16, 18]

T , К	P , МПа	Жидкость	Пар	T , К	P , МПа	Жидкость	Пар
253,15	0,017	635,2	—	253,15	0,070	603,3	2,07
255,15	0,018	633,2	—	255,15	0,075	601,2	2,25
257,15	0,020	631,1	—	257,15	0,082	598,9	2,44
259,15	0,023	629,0	—	259,15	0,088	596,7	2,64
261,15	0,026	626,8	—	261,15	0,096	594,5	2,85
263,15	0,029	624,7	—	263,15	0,105	592,4	3,05
265,15	0,031	622,6	—	265,15	0,111	590,1	3,30
267,15	0,034	620,5	—	267,15	0,120	587,8	3,54
269,15	0,037	618,3	—	269,15	0,129	585,6	3,79
271,15	0,041	616,2	—	271,15	0,139	583,3	4,05
273,15	0,046	614,2	—	273,15	0,150	581,0	4,35
275,15	0,049	612,0	—	275,15	0,160	578,7	4,64
277,15	0,054	609,8	—	277,15	0,173	576,4	4,94
279,15	0,058	607,8	—	279,15	0,185	574,0	5,24
281,15	0,064	605,5	—	281,15	0,198	571,7	5,57

T, K	P, МПа	Жидкость	Пар	T, K	P, МПа	Жидкость	Пар
283,15	0,211	569,4	5,90	311,15	0,482	534,6	12,78
285,15	0,226	567,0	6,25	313,15	0,508	531,9	13,42
287,15	0,241	564,6	6,64	263,15	0,105	592,4	3,09
289,15	0,256	562,3	7,04	265,15	0,111	590,1	3,30
291,15	0,273	559,8	7,48	267,15	0,120	587,8	3,54
293,15	0,289	557,3	7,91	269,15	0,129	585,6	3,79
295,15	0,306	554,9	8,37	271,15	0,139	583,3	4,05
297,15	0,325	552,4	8,85	273,15	0,150	581,0	4,35
299,15	0,344	549,8	9,35	315,15	0,535	529,0	14,12
301,15	0,365	547,4	9,87	317,15	0,564	526,6	14,88
303,15	0,386	544,8	10,36	319,15	0,593	523,7	15,57
305,15	0,409	542,4	10,94	321,15	0,625	521,0	16,33
307,15	0,433	539,7	11,52	323,15	0,656	518,1	17,22
309,15	0,457	537,1	12,14	373,15	1,987	428,0	—

Таблица 2 19

Значения плотности ρ , кг/м³ н-пентана при различных температурах и давлениях [17]

P, МПа	Плотность при температуре T, K									
	350	400	450	500	550	600	650	700	900	1000
0,101	2,586	2,238	1,978	1,774	1,608	1,472	1,357	1,259	0,978	0,879
1,0	563,51	27,51	22,15	19,02	16,81	15,13	13,80	12,70	9,70	8,70
2,0	565,87	498,65	55,39	42,64	36,12	31,76	28,54	26,01	19,51	17,42
3,0	568,14	503,55	401,77	74,66	58,78	50,14	44,30	39,95	29,41	26,16
4,0	570,33	508,03	418,68	126,81	85,97	70,49	61,10	54,49	39,38	34,90
5,0	572,45	512,18	430,73	233,45	119,16	92,96	78,91	69,57	49,37	43,62
6,0	574,49	516,05	440,31	308,48	159,16	117,52	97,64	85,11	59,38	52,30
7,0	576,47	519,68	448,38	342,00	202,96	143,77	117,10	100,99	69,36	60,92
8,0	578,39	523,10	455,41	363,08	242,86	170,81	136,99	117,08	79,30	69,48
9,0	580,24	526,35	461,65	378,58	274,51	197,28	156,93	133,20	89,16	77,95
10,0	582,05	529,44	467,31	390,94	298,92	221,89	176,49	149,16	98,91	86,32
15,0	590,34	543,01	489,81	431,48	368,72	308,19	258,30	221,21	145,45	126,38
20,0	597,62	554,29	506,68	456,99	405,98	356,56	312,31	275,29	186,84	162,75
25,0	604,08	563,97	520,36	476,04	431,63	388,78	349,46	314,88	222,43	194,99
30,0	609,86	572,44	531,95	491,39	451,36	412,85	377,13	345,01	252,70	223,22

Таблица 2.14

Изотермические плотности ρ , кг/м³ *n*-пентана на линии насыщения [18]

T , К	P , МПа	Жидкость	Пар	T , К	P , МПа	Жидкость	Пар
275,15	0,0013	691,9	—	275,15	0,026	643,3	0,92
277,15	0,0016	690,0	—	277,15	0,028	641,4	0,99
279,15	0,0019	688,2	—	279,15	0,031	639,5	1,05
281,15	0,0022	686,5	—	281,15	0,034	637,5	1,13
283,15	0,0024	684,6	—	283,15	0,036	635,6	1,21
285,15	0,0027	682,8	—	285,15	0,039	633,6	1,30
287,15	0,0032	680,9	—	287,15	0,043	631,6	1,39
289,15	0,0037	679,1	—	289,15	0,046	629,7	1,48
291,15	0,0042	677,3	—	291,15	0,051	627,7	1,58
293,15	0,0047	675,4	—	293,15	0,055	625,8	1,67
295,15	0,0051	673,5	—	295,15	0,059	623,8	1,78
297,15	0,0058	671,7	—	297,15	0,064	621,7	1,90
299,15	0,0065	669,8	—	299,15	0,069	619,8	2,05
301,15	0,0073	668,0	—	301,15	0,074	617,8	2,21
303,15	0,0081	666,2	—	303,15	0,079	615,8	2,37
305,15	0,0090	664,3	—	305,15	0,084	613,7	2,55
307,15	0,0101	662,4	—	307,15	0,091	611,7	2,72
309,15	0,0112	660,5	—	309,15	0,097	609,7	2,88
311,15	0,0124	658,7	—	311,15	0,105	607,6	3,08
313,15	0,0137	656,8	—	313,15	0,112	605,5	3,29
315,15	0,0150	654,9	—	315,15	0,122	603,4	3,47
317,15	0,016	652,9	—	317,15	0,131	601,3	3,67
319,15	0,017	650,9	—	319,15	0,141	599,3	3,88
321,15	0,019	649,1	—	321,15	0,152	597,2	4,12
323,15	0,021	647,2	—	323,15	0,154	595,0	4,40
325,15	0,023	645,2	0,85				

Таблица 2.15

Изотермические плотности ρ , кг/м³ насыщенного пара *n*-пентана [16, 27]

T , К	P , МПа	ρ	T , К	P , МПа	ρ	T , К	P , МПа	ρ
403,15	0,00818	2,451	403,15	1,0908	31,0	469,15	—	174,6
413,15	0,1152	3,361	413,15	1,3160	38,60	469,65	—	184,1
423,15	0,1587	4,545	423,15	1,5746	47,60	469,95	—	192,5
433,15	0,2138	6,020	433,15	1,8685	59,10	470,05	—	196,0
443,15	0,2824	7,862	443,15	2,2018	73,50	470,15	—	200,5
453,15	0,3665	10,12	453,15	2,5765	93,5	470,25	—	209,0
469,15	0,4679	12,89	469,15	2,9947	110,9	470,30	—	216,8
470,35	0,5008	16,26	463,15	—	126,9	470,35	—	232,3
466,15	0,7311	20,24	466,15	—	144,0			
468,15	0,8959	25,0	468,15	—	160,9			

Таблица 2.16

Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого изопентана [16, 27]

T, K	ρ	T, K	ρ	T, K	ρ	T, K	ρ
153,15	751,0	253,15	658,5	353,15	554,0	449,15	369,1
163,15	741,2	263,15	648,9	363,15	541,3	453,15	349,8
173,15	732,3	273,15	639,2	373,15	527,8	456,15	331,1
183,15	723,4	283,15	629,4	383,15	514,0	458,15	314,2
193,15	714,3	293,15	619,6	393,15	499,1	459,15	302,8
203,15	705,2	303,15	609,2	403,15	482,6	460,15	285,7
213,15	696,0	313,15	598,8	413,15	464,2	460,55	276,1
223,15	686,8	323,15	588,1	423,15	444,5	460,95	234,1
233,15	677,4	333,15	576,9	433,15	420,6		
243,15	668,0	343,15	565,6	443,15	391,4		

Таблица 2.17

Значения плотности ρ , кг/м³ изопентана на линии насыщения [18]

T, K	P, МПа	Жидкость	Пар	T, K	P, МПа	Жидкость	Пар
223,15	0,0020	688,0	—	275,15	0,036	638,3	1,18
225,15	0,0023	686,1	—	277,15	0,040	636,4	1,30
227,15	0,0026	684,3	—	279,15	0,043	634,3	1,42
229,15	0,0030	682,4	—	281,15	0,047	632,4	1,55
233,15	0,0040	678,7	—	285,15	0,054	628,4	1,81
235,15	0,0045	676,8	—	287,15	0,058	626,4	1,94
237,15	0,0050	674,9	—	289,15	0,063	624,4	2,06
239,15	0,0060	672,9	—	291,15	0,069	622,4	2,20
241,15	0,0070	671,2	—	293,15	0,075	620,4	2,32
243,15	0,0080	669,2	—	295,15	0,080	618,3	2,52
245,15	0,0085	667,3	—	297,15	0,086	616,4	2,70
247,15	0,0090	665,5	—	299,15	0,092	614,3	2,89
249,15	0,010	663,5	—	301,15	0,098	612,3	3,07
251,15	0,012	661,7	—	303,15	0,106	610,2	3,30
253,15	0,013	659,7	—	305,15	0,113	608,1	3,50
255,15	0,014	657,8	—	307,15	0,121	606,1	3,70
257,15	0,016	655,9	—	309,15	0,130	604,0	3,94
259,15	0,017	653,9	—	311,15	0,139	602,0	4,20
261,15	0,019	652,0	—	313,15	0,146	599,8	4,46
263,15	0,022	650,0	—	315,15	0,157	597,7	4,72
265,15	0,023	648,0	—	317,15	0,167	595,5	5,00
267,15	0,025	646,1	—	319,15	0,177	593,4	5,27
269,15	0,027	644,2	—	321,15	0,187	591,3	5,57
271,15	0,031	642,3	—	323,15	0,197	589,1	5,52
273,15	0,033	640,3	1,07				

Таблица 2.18
Значения плотности ρ , кг/м³ насыщенного пара изопентана [16]

T , К	P , МПа	ρ	T , К	P , МПа	ρ
311,13	0,0345	1,10	403,15	1,2888	38,31
323,13	0,0523	1,650	413,15	1,5443	47,28
335,13	0,0765	2,344	423,15	1,8372	58,34
347,13	0,1087	3,266	433,15	2,1685	72,89
359,13	0,1507	4,456	443,15	2,5432	93,37
371,13	0,2042	5,956	449,15	—	110,1
383,13	0,2711	7,836	453,15	2,9623	125,8
395,13	0,3531	10,13	456,65	—	141,8
407,13	0,4523	12,87	458,95	—	157,4
419,13	0,5704	16,21	459,05	—	167,6
431,13	0,7090	20,20	460,15	—	183,3
443,13	0,8747	25,13	460,25	—	195,1
455,13	1,0656	31,06	460,30	3,3229	234,3

Таблица 2.19
Значения плотности ρ , кг/м³ *n*-гексана при различных температурах и давлениях [19]

Плотность при температуре T , К												
	100	200	220	250	300	350	400	450	500	550	600	630
300	701,86	719,83	723,63	697,88	653,15	3,11	2,67	2,35	2,10	1,90	1,74	1,65
310	701,73	719,31	724,18	698,55	654,13	606,50	551,73	29,38	23,95	20,76	18,52	17,43
320	701,59	718,84	724,79	699,30	655,21	608,17	554,72	485,76	60,37	46,80	39,92	36,99
330	701,41	718,47	725,52	700,19	656,47	610,11	558,11	493,49	378,37	91,41	70,67	63,76
340	701,03	718,19	726,00	700,77	657,30	611,38	560,26	498,03	401,40	139,48	95,30	83,94
350	701,40	718,40	726,60	701,49	658,33	612,92	562,84	503,18	419,05	231,72	132,05	112,16
360	701,91	718,93	727,19	702,22	659,33	614,43	565,30	507,86	431,78	300,14	174,81	143,53
370	702,14	719,45	727,79	702,93	660,33	615,90	567,67	512,17	441,90	337,10	217,89	176,58
380	702,73	719,96	728,37	703,63	661,31	617,34	569,94	516,17	450,38	360,74	254,82	208,60
390	703,30	720,47	728,96	704,33	662,27	618,75	572,13	519,90	457,71	377,96	284,18	237,31
400	703,63	720,99	729,54	705,03	663,23	620,12	574,25	523,41	464,21	391,51	307,40	261,99
410	704,18	721,59	730,69	706,40	665,10	622,79	578,27	529,86	475,38	412,27	341,69	300,78
420	—	722,00	731,82	707,75	666,92	625,36	582,06	535,69	484,82	428,05	366,25	329,51
430	—	722,99	732,94	709,07	668,70	627,84	585,63	541,03	493,04	440,87	385,21	351,80
440	—	724,97	734,05	710,38	670,43	630,23	589,02	545,96	500,34	451,71	400,60	369,84
450	—	726,95	735,14	711,66	672,13	632,53	592,25	550,56	506,94	461,13	413,56	384,92
460	—	728,35	737,82	714,79	676,21	638,00	599,72	560,86	521,14	480,48	439,13	414,33
470	—	734,69	740,42	717,80	680,08	643,09	606,48	569,85	533,02	495,93	458,71	436,47

Р, МПа	Плотность при температуре Т, К											
	180	200	220	250	300	350	400	450	500	550	600	630
40,0	—	759,21	745,40	723,51	687,31	652,34	618,39	585,13	552,38	520,04	488,11	460,11
50,0	—	763,52	750,12	728,87	693,94	660,62	628,73	597,93	567,98	538,77	510,18	483,11
60,0	—	767,62	754,59	733,92	700,10	668,14	637,90	609,00	581,16	554,20	527,98	512,01
70,0	—	771,53	758,83	738,69	705,84	675,06	646,18	618,80	592,62	567,39	542,97	528,66
80,0	—	775,25	762,87	743,21	711,24	681,47	653,74	627,63	602,79	578,95	555,94	542,40
90,0	—	778,80	766,73	747,52	716,34	687,46	660,72	635,68	611,95	589,26	567,41	554,66
100,0	—	782,19	770,41	751,64	721,18	693,08	667,21	643,09	620,31	598,58	577,70	565,11

Таблица 2.20

Значения плотности ρ , кг/м³ насыщенного пара *n*-гексана [16]

Т, К	Р, МПа	ρ	Т, К	Р, МПа	ρ
273,15	0,0060	0,2	413,15	0,6109	18,66
283,15	0,0101	0,4	423,15	0,7445	22,99
293,15	0,0161	0,6	433,15	0,9009	28,33
303,15	0,0249	0,9	443,15	1,0817	34,72
313,15	0,0372	1,3	453,15	1,2898	42,28
323,15	0,0539	1,8	463,15	1,5271	51,55
333,15	0,0762	2,488	473,15	1,7968	63,29
343,15	0,1051	3,367	483,15	2,1018	78,99
353,15	0,1420	4,46	493,15	2,4452	101,1
363,15	0,1882	5,85	499,15	—	120,3
373,15	0,2452	7,54	503,15	2,8290	140,5
383,15	0,3144	9,56	506,15	—	165,8
393,15	0,3974	12,02	507,15	—	180,7
403,15	0,4958	15,04	507,85	3,0219	234,4

Таблица 2.21

Значения плотности ρ , кг/м³ *n*-гексана на линии насыщения [19]

Т, К	Жидкость	Пар	Т, К	Жидкость	Пар
293,15	699,6	0,6	360,0	595,8	4,7
300,0	653,4	0,8	370,0	585,2	6,3
310,0	644,3	1,2	380,0	574,3	8,3
320,0	635,1	1,6	390,0	562,8	10,7
330,0	625,6	2,0	400,0	550,8	13,7
340,0	616,0	2,6	410,0	538,3	17,3
350,0	606,1	3,4	420,0	525,0	21,5

Окончание таблицы 2.21

$P, \text{ МПа}$	Жидкость	Пар	$T, \text{ К}$	Жидкость	Пар
100,0	510,8	26,5	501,0	339,3	130,4
100,0	495,6	32,5	502,0	332,7	135,9
100,0	479,2	39,7	503,0	325,4	142,2
100,0	461,0	48,5	504,0	316,8	149,7
100,0	440,7	59,5	505,0	306,3	159,1
100,0	417,0	73,6	506,0	292,2	172,1
100,0	387,7	93,2	507,0	264,4	198,8
100,0	345,2	125,5	507,201	231,5	231,5

Таблица 2.22

Значения плотности ρ , кг/м^3 *n*-гептана при различных температурах и давлениях [28]

$P, \text{ МПа}$	Плотность при температуре $T, \text{ К}$									
	101,15	113,15	133,15	153,15	173,15	193,15	213,15	233,15	253,15	273,15
0,01	683,4	668,4	651,0	633,3	615,0	595,6	575,0	552,2	526,0	494,3
0,02	686,3	669,8	652,3	634,9	616,9	597,7	577,7	555,6	530,5	500,5
0,03	688,2	672,0	655,3	638,2	620,3	602,0	583,1	561,8	538,8	511,8
0,05	690,1	674,3	657,5	641,0	623,8	606,1	587,5	567,5	546,1	521,6
0,08	693,0	676,1	660,1	643,5	626,9	609,8	591,7	573,1	552,8	530,2
0,10	693,9	678,4	662,3	646,4	629,7	613,1	595,9	577,7	558,7	537,9
0,15	695,9	680,3	664,9	648,9	632,9	616,5	599,5	582,4	564,3	539,4
0,18	697,8	682,6	667,1	651,5	635,3	619,6	603,1	586,5	569,1	551,0
0,20	699,3	684,5	668,9	653,6	638,2	622,7	606,8	590,3	573,7	556,5
0,25	701,3	686,3	671,1	655,7	640,6	625,4	609,7	594,1	578,0	561,5
0,30	702,7	688,2	672,9	657,9	643,1	628,1	612,7	597,4	582,1	565,9
0,35	704,7	689,7	674,8	660,1	645,2	630,5	615,8	600,6	585,5	570,1
0,40	706,2	691,6	677,0	662,2	647,7	632,9	618,4	603,5	588,9	574,0
0,50	707,7	693,0	678,9	664,0	649,8	635,3	620,7	606,4	592,1	577,4
0,60	709,2	694,9	680,3	666,2	651,9	637,3	623,4	609,0	594,9	580,7
0,70	710,7	696,5	682,1	668,0	653,6	639,8	625,8	611,6	597,7	583,8
0,80	712,2	697,8	683,9	669,8	655,7	641,8	627,7	613,9	600,2	586,5
0,90	713,8	699,3	685,4	671,1	657,5	643,5	629,7	616,1	602,8	589,3
1,00	714,8	700,8	686,8	671,6	659,2	645,6	631,7	618,4	604,9	591,7
1,50	716,3	702,2	688,7	674,8	660,9	647,2	633,7	620,3	607,2	594,2
2,00	717,9	703,7	690,1	676,1	662,7	648,9	635,7	622,3	609,4	596,3

Окончание таблицы 2.24

Плотность при температуре T , К								
T , К	373,15	413,15	453,15	473,15	493,15	513,15	533,15	553,15
373,15	613,1	623,0	589,9	572,7	554,6	536,2	516,5	490,2
383,15	616,6	624,6	592,1	575,4	558,0	540,2	521,1	500,8
393,15	617,9	626,6	594,5	578,0	560,8	543,5	525,2	506,1
403,15	619,6	628,1	596,6	580,4	563,7	546,7	529,4	510,7
413,15	620,9	629,7	598,4	582,7	566,2	549,8	532,8	515,2
423,15	621,8	631,3	600,6	585,1	568,8	552,8	536,2	519,2
433,15	623,1	632,9	602,4	587,2	571,1	555,6	539,4	522,7
443,15	624,4	634,1	604,2	588,9	573,4	558,0	542,3	526,3
453,15	625,8	635,7	605,7	591,0	575,7	560,5	545,3	529,4
463,15	626,7	636,9	607,5	592,8	577,7	562,7	547,6	532,5

Таблица 2.25
Изменения плотности ρ , кг/м³ *n*-октана на линии насыщения [16, 27]

T , К	P , МПа	Жидкость	Пар	T , К	P , МПа	Жидкость	Пар
373,15	0,0004	718,5	—	433,15	0,2399	577,2	8,591
383,15	0,0007	710,2	—	443,15	0,2997	566,7	10,71
393,15	0,0014	702,2	—	453,15	0,3701	555,6	13,16
403,15	0,0025	694,2	0,1	463,15	0,4523	544,1	16,13
413,15	0,0041	686,0	0,2	473,15	0,5472	531,7	19,65
423,15	0,0067	677,8	0,3	483,15	0,6563	518,9	23,64
433,15	0,0105	669,4	0,4	493,15	0,7803	505,3	28,74
443,15	0,0158	661,1	0,6	503,15	0,9242	490,1	34,84
453,15	0,0233	652,5	0,9	513,15	1,0888	473,2	42,37
463,15	0,0334	643,8	1,3	523,15	1,2756	455,4	51,18
473,15	0,0467	635,1	1,7	533,15	1,4867	436,4	62,23
483,15	0,0640	626,0	2,3	543,15	1,7240	412,3	77,16
493,15	0,0861	616,8	3,247	553,15	1,9907	381,8	98,33
503,15	0,1137	607,1	4,219	563,15	2,2876	336,5	134,7
513,15	0,1479	597,3	5,405	569,35	2,4886	232,7	232,7
523,15	0,1897	587,5	6,863				

Таблица 2.26
Изменения плотности ρ , кг/м³ жидкого изеооктана [27]

T , К	ρ	T , К	ρ	T , К	ρ
183,15	781,5	223,15	748,9	263,15	716,2
193,15	773,3	233,15	740,7	273,15	708,1
203,15	765,1	243,15	732,6	283,15	700,0
213,15	767,0	253,15	724,3	293,15	691,9

Окончание таблицы 2.26

T, K	ρ	T, K	ρ	T, K	ρ
298,15	687,8	323,15	666,9	353,15	640,4
303,15	683,7	333,15	658,4	363,15	630,3
313,15	674,4	343,15	649,6		

Таблица 2.27

Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого *n*-нонана [27]

T, K	ρ	T, K	ρ	T, K	ρ
223,15	771,6	298,15	713,7	373,15	652,2
233,15	764,0	303,15	709,8	383,15	643,8
243,15	756,3	313,15	701,8	393,15	635,0
253,15	748,7	323,15	693,6	403,15	626,1
263,15	741,0	333,15	685,5	413,15	617,4
273,15	733,2	343,15	677,3	423,15	608,1
283,15	725,4	353,15	669,0		
293,15	717,6	363,15	660,6		

Таблица 2.28

Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого *n*-нонана при различных температурах и давлениях [28]

$P, \text{МПа}$	Плотность при температуре T, K				
	313,15	353,15	373,15	383,15	393,15
2,02	702,2	676,6	658,8	649,3	638,9
5,05	710,7	681,2	664,0	654,9	644,7
10,10	715,8	687,7	671,1	662,7	653,2
15,15	720,5	693,5	677,5	669,3	660,1
20,20	724,6	698,3	682,6	674,8	665,8

Таблица 2.29

Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого *n*-декана [27]

T, K	ρ	T, K	ρ	T, K	ρ
253,15	760,1	313,15	714,5	383,15	658,6
263,15	752,6	323,15	706,7	393,15	650,3
273,15	745,1	333,15	698,9	403,15	641,9
283,15	737,5	343,15	691,0	413,15	633,4
293,15	729,9	353,15	683,0	423,15	625,0
298,15	726,1	363,15	674,9	433,15	616,5
303,15	722,2	373,15	666,8	443,15	608,0

Таблица 2.30

Изменения плотности ρ , кг/м³ жидкого *n*-декана при различных температурах и давлениях [28]

$P, \text{ МПа}$	Плотность при температуре $T, \text{ К}$							
	313,15	333,15	343,15	353,15	363,15	373,15	383,15	393,15
1,00	719,9	704,7	696,9	688,7	680,7	672,0	663,6	654,4
1,01	721,3	706,2	698,3	690,1	682,6	673,8	665,8	657,0
1,02	722,5	707,2	699,8	692,0	684,0	675,7	668,0	659,2
1,03	723,6	708,7	701,3	693,5	685,9	677,5	669,8	661,4
1,04	724,6	709,7	702,7	694,4	687,3	679,3	671,6	663,1
1,05	725,7	710,7	703,7	695,9	688,7	680,7	672,9	664,9
1,06	726,7	711,7	704,7	697,3	689,6	682,1	674,8	666,7
1,08	727,3	712,8	705,7	698,3	691,1	683,5	676,1	668,0
10,00	728,3	713,8	706,7	699,3	692,0	684,5	677,5	669,3
11,33	728,9	714,8	707,7	700,3	693,5	685,9	678,4	670,7
12,12	729,9	715,8	708,7	701,3	694,4	686,8	679,8	672,0
12,33	730,5	716,8	709,7	702,2	695,4	687,8	680,7	672,9
12,54	731,5	717,4	710,7	703,2	696,4	688,7	681,7	674,3
12,75	732,1	718,4	711,2	704,2	697,3	689,7	682,6	675,2
12,96	732,6	718,9	712,2	704,7	698,3	690,6	683,5	676,1
13,17	733,7	719,9	712,8	705,7	698,8	691,6	684,5	677,0
13,38	734,2	720,5	713,8	706,7	699,8	692,5	685,4	678,0
13,59	734,8	721,0	714,3	707,2	700,3	693,0	686,3	678,9
13,80	735,3	721,5	714,8	707,7	701,3	693,9	686,8	679,8

Таблица 2.31

Изменения плотности ρ , кг/м³ жидкого *n*-ундекана при различных температурах и давлениях [28]

$P, \text{ МПа}$	Плотность при температуре $T, \text{ К}$				
	292,15	329,15	349,15	373,15	403,15
1,00	742	714	698	679	651
1,01	748	719	704	682	656
1,02	752	723	710	689	660
1,03	756	726	714	696	668
10,00	758	731	721	700	774
12,12	760	739	728	704	680
12,33	764	742	732	710	688
12,54	768	747	735	718	696
12,75	772	752	739	724	700
1,00	639	622	602	586	564
1,01	643	625	605	591	568

P, МПа	Плотность при температуре T, К				
	423,15	449,15	472,15	497,15	520,15
5,01	649	629	610	600	573
9,91	656	636	618	608	580
14,85	664	644	626	613	590
19,72	670	652	634	622	600
29,53	678	660	644	630	609
39,34	687	668	654	636	618
49,15	693	675	661	642	627

Таблица 2.12

Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого n-додекана [27]

T, К	ρ	T, К	ρ	T, К	ρ
273,15	763,3	343,15	711,9	423,15	650,2
283,15	756,1	353,15	704,4	433,15	642,1
293,15	748,8	363,15	696,8	443,15	633,9
298,15	745,2	373,15	689,2	453,15	625,6
303,15	741,5	383,15	681,5	463,15	617,2
313,15	734,2	393,15	673,8	473,15	608,9
323,15	726,8	403,15	666,0	483,15	599,0
333,15	719,4	413,15	658,2		

Таблица 2.13

Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого n-тридекана [27]

T, К	ρ	T, К	ρ	T, К	ρ
273,15	770,4	353,15	712,7	443,15	644,1
283,15	763,3	363,15	705,3	453,15	636,2
293,15	756,2	373,15	697,8	463,15	628,1
298,15	752,7	383,15	690,3	473,15	619,8
303,15	749,1	393,15	682,8	483,15	611,0
313,15	741,8	403,15	675,2	493,15	601,0
323,15	734,6	413,15	667,6	503,15	592,0
333,15	727,3	423,15	659,9		
343,15	720,0	433,15	652,1		

Таблица 2.34

Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого *n*-тетрадекана [27]

<i>t</i> , К	ρ	<i>T</i> , К	ρ	<i>T</i> , К	ρ
363,15	769,7	363,15	712,7	453,15	645,2
373,15	762,7	373,15	705,5	463,15	637,3
383,15	759,2	383,15	698,1	473,15	629,3
393,15	755,7	393,15	690,8	483,15	621,0
403,15	748,6	403,15	683,4	493,15	613,0
413,15	741,5	413,15	675,9	503,15	605,0
423,15	734,3	423,15	668,4	513,15	595,0
433,15	727,2	433,15	660,7	523,15	585,0
443,15	720,0	443,15	653,0		

Таблица 2.35

Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого *n*-пентадекана [27]

<i>t</i> , К	ρ	<i>T</i> , К	ρ	<i>T</i> , К	ρ
363,15	775,2	363,15	719,1	453,15	653,2
373,15	768,3	373,15	712,0	463,15	645,6
383,15	764,9	383,15	704,9	473,15	637,7
393,15	761,4	393,15	697,7	483,15	630,0
403,15	754,4	403,15	690,7	493,15	622,0
413,15	747,4	413,15	683,1	503,15	614,0
423,15	740,4	423,15	675,7	513,15	605,0
433,15	733,3	433,15	668,3	523,15	596,0
443,15	726,2	443,15	660,8	533,15	587,0

Таблица 2.36

Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого *n*-гексадекана [27]

<i>t</i> , К	ρ	<i>T</i> , К	ρ	<i>T</i> , К	ρ
383,15	773,4	383,15	710,8	483,15	637,0
393,15	770,0	393,15	703,7	493,15	629,0
403,15	766,5	403,15	696,5	503,15	621,0
413,15	759,7	413,15	689,2	513,15	612,0
423,15	752,8	423,15	682,0	523,15	604,0
433,15	745,9	433,15	674,7	533,15	596,0
443,15	738,9	443,15	667,4	543,15	587,0
453,15	731,9	453,15	659,9	553,15	578,0
463,15	724,9	463,15	652,2		
473,15	717,9	473,15	644,7		

Таблица 2

**Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого *n*-гептадекана
при различных температурах и давлениях [33]**

Т, К	Плотность при давлении P , МПа									
	0,34	1,08	2,55	5,01	9,91	14,85	19,72	29,53	39,34	49,15
324,65	757	759	761	763	766	769	772	777	783	786
350,15	741	743	744	747	751	755	758	765	772	778
374,75	723	725	727	730	735	739	742	747	756	763
401,15	701	705	708	712	717	722	727	735	741	749
422,15	687	689	692	695	703	708	714	722	727	735
447,65	670	673	675	680	688	699	700	708	715	723
473,15	651	654	658	664	672	678	685	694	702	710
495,5	634	637	640	647	657	664	673	682	687	696
522,65	612	613	620	628	639	649	657	668	674	680

Таблица 3

**Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого *n*-октадекана
при различных температурах и давлениях [33]**

Т, К	Плотность при давлении P , МПа								
	0,34	2,55	5,01	9,91	14,85	19,72	29,53	39,34	49,15
319,85	764	766	768	772	776	778	784	787	793
357,15	738	740	743	747	752	755	761	766	773
373,65	727	730	733	738	742	746	752	756	763
398,15	711	713	716	720	725	730	737	743	750
721,45	691	695	699	705	712	716	723	723	730
448,95	676	679	683	689	695	700	708	717	726
473,15	658	662	668	676	681	687	696	704	711
507,15	631	636	641	648	656	665	674	683	692

Таблица 4

**Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого *n*-нонадекана
при различных температурах и давлениях [33]**

Т, К	Плотность при давлении P , МПа								
	0,34	2,55	5,01	9,91	14,85	19,72	29,53	39,34	49,15
332,65	761	763	766	769	772	775	780	785	790
348,95	748	750	752	755	758	762	768	774	780
375,05	730	732	735	740	744	748	754	760	767
400,65	713	715	717	722	724	733	741	748	755
425,15	695	698	701	706	712	717	726	736	744
448,35	678	681	686	692	698	704	714	724	733
475,15	660	663	667	675	682	687	699	710	720
498,15	642	646	651	658	665	674	686	698	708
523,15	625	629	634	642	650	658	672	685	695

Таблица 2.40

Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого *n*-эйкозана [27]

T, K	ρ	T, K	ρ	T, K	ρ
373,15	775,6	403,15	715,4	493,15	652,5
393,15	769,0	413,15	708,7	503,15	645,2
413,15	762,4	423,15	701,8	513,15	637,8
433,15	755,8	433,15	694,8	523,15	630,2
453,15	749,1	443,15	687,8	533,15	622,5
473,15	742,4	453,15	680,8	543,15	614,7
493,15	735,7	463,15	673,8	553,15	606,8
513,15	729,0	473,15	666,8	563,15	598,7
533,15	722,2	483,15	659,7	573,15	590,3

Таблица 2.41

Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого *n*-гэнэйкозана [27]

T, K	ρ	T, K	ρ	T, K	ρ
373,15	778,6	403,15	718,8	493,15	656,7
393,15	772,0	413,15	712,0	503,15	649,5
413,15	765,5	423,15	705,3	513,15	642,2
433,15	758,9	433,15	698,5	523,15	634,9
453,15	752,2	443,15	691,7	533,15	627,5
473,15	745,6	453,15	684,8	543,15	619,9
493,15	739,0	463,15	677,8	553,15	612,1
513,15	732,3	473,15	670,8	563,15	604,0
533,15	725,6	483,15	663,8	573,15	595,7

Таблица 2.42

Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого *n*-докозана [27]

T, K	ρ	T, K	ρ	T, K	ρ
373,15	774,9	413,15	715,5	503,15	653,7
393,15	768,4	423,15	708,8	513,15	646,6
413,15	761,9	433,15	702,0	523,15	639,4
433,15	755,3	443,15	695,2	533,15	632,1
453,15	748,7	453,15	688,3	543,15	624,6
473,15	742,2	463,15	681,5	553,15	617,0
493,15	735,5	473,15	674,7	563,15	609,1
513,15	728,8	483,15	667,8	573,15	601,0
533,15	722,2	493,15	660,8		

Таблица 2.43

Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого *n*-трикозана [27]

<i>T</i> , К	ρ	<i>T</i> , К	ρ	<i>T</i> , К	ρ
323,15	777,4	413,15	718,5	503,15	657,4
333,15	771,0	423,15	711,9	513,15	653,9
343,15	764,5	433,15	705,2	523,15	646,9
353,15	758,0	443,15	698,4	533,15	639,8
363,15	751,5	453,15	691,7	543,15	632,5
373,15	745,0	463,15	684,9	553,15	625,1
383,15	738,4	473,15	678,2	563,15	617,6
393,15	731,8	483,15	671,3	573,15	609,9
403,15	725,1	493,15	664,4		

Таблица 2.44

Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого *n*-тетракозана [27]

<i>T</i> , К	ρ	<i>T</i> , К	ρ	<i>T</i> , К	ρ
323,15	779,7	413,15	721,2	503,15	660,8
333,15	773,3	423,15	714,6	513,15	653,9
343,15	766,9	433,15	708,0	523,15	646,9
353,15	760,5	443,15	701,4	533,15	639,8
363,15	754,0	453,15	694,7	543,15	632,5
373,15	747,5	463,15	688,0	553,15	625,1
383,15	740,9	473,15	681,3	563,15	617,6
393,15	734,3	483,15	674,5	573,15	609,9
403,15	727,8	493,15	667,6	—	—

Таблица 2.45

Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого *n*-пентакозана [27]

<i>T</i> , К	ρ	<i>T</i> , К	ρ	<i>T</i> , К	ρ
333,15	775,3	423,15	717,6	513,15	656,8
343,15	769,2	433,15	710,5	523,15	649,9
353,15	762,7	443,15	703,9	533,15	642,8
363,15	756,3	453,15	697,2	543,15	635,6
373,15	749,8	463,15	690,6	553,15	628,3
383,15	743,3	473,15	684,0	563,15	620,9
393,15	736,7	483,15	677,2	573,15	613,4
403,15	730,2	493,15	670,4	—	—
413,15	723,6	503,15	663,5	—	—

2.6. Плотность олефиновых углеводородов при различных температурах и давлениях

Таблица 2.46

Значения плотности ρ , кг/м³ этилена при различных
температурах и давлениях [21]

t, К	Плотность при давлении P, МПа						
	0,05	0,1	1,0	2,0	5,0	10	16
180	—	—	553,10	553,71	555,86	—	—
190	—	—	537,06	538,50	542,29	—	—
200	0,8516	1,7197	521,10	523,01	527,43	—	—
210	0,8101	1,6334	504,29	506,33	511,51	—	—
220	0,7649	1,5562	486,62	488,52	495,29	—	—
230	0,7381	1,4859	17,212	469,48	477,55	—	—
240	0,7068	1,4215	16,129	446,83	457,46	—	—
250	0,6781	1,3631	15,198	37,037	434,78	—	—
260	0,6517	1,3092	14,388	33,670	408,99	—	—
270	0,6273	1,2596	13,693	30,321	374,67	—	—
280	0,6047	1,2139	13,019	28,498	—	—	—
290	0,5836	1,1708	12,442	26,925	105,52	357,91	398,25
300	0,5639	1,1310	11,934	25,562	87,951	323,21	378,64
310	0,5456	1,0938	11,476	24,372	78,247	279,96	356,63
320	0,5284	1,0591	11,057	23,310	71,582	233,59	333,33
330	0,5122	1,0266	10,672	22,361	66,445	195,66	309,21
340	0,4971	0,9960	10,313	21,505	62,305	169,29	285,22
350	0,4828	0,9672	9,9800	20,721	58,858	150,85	262,26
360	0,4693	0,9401	9,6712	20,004	55,897	137,24	241,31
370	0,4565	0,9144	9,3897	19,342	53,333	126,74	223,21
380	0,4445	0,8901	9,1158	18,730	51,073	118,32	206,78
390	0,4331	0,8672	8,8574	18,162	49,044	111,33	193,01
400	0,4237	0,8453	8,6207	17,630	47,214	105,42	181,19
410	0,4127	0,8245	8,3963	17,135	45,558	100,29	170,99
420	0,4020	0,8027	8,1833	16,667	44,033	95,785	162,15
430	0,3926	0,7859	7,9808	16,226	42,626	91,743	154,34
440	0,3837	0,7679	7,7821	15,808	41,356	88,106	147,34
450	0,3751	0,7507	7,5988	15,413	40,161	84,818	140,98
460	0,3569	0,7343	7,4239	15,033	39,047	81,833	135,13
470	0,3591	0,7185	7,2516	14,673	38,023	79,051	129,68
480	0,3516	0,7034	7,0872	14,327	37,065	82,850	124,58
490	0,3443	0,6888	6,9300	13,994	36,153	74,184	119,77
500	0,3374	0,6748	6,7751	13,672	35,311	72,046	115,26

Продолжение таблицы 2.46

T, K	Плотность при давлении P, МПа						
	20	30	40	50	60	70	80
290	414,94	444,25	464,90	481,00	494,56	506,07	516,26
300	398,72	431,59	454,13	471,25	485,44	497,76	508,39
310	380,66	418,06	442,48	461,04	476,19	488,99	500,25
320	361,79	404,20	430,85	450,86	466,85	480,31	491,88
330	342,70	390,32	419,29	440,53	457,46	471,69	484,03
340	323,52	376,50	407,83	430,48	448,43	464,47	475,96
350	304,51	362,84	396,51	420,69	439,37	454,96	468,16
360	286,12	349,28	385,36	410,85	430,48	446,83	460,62
370	268,82	335,91	374,39	401,12	421,76	438,60	452,90
380	252,78	322,99	363,50	391,54	413,05	430,66	445,43
390	238,09	310,56	352,86	382,12	404,53	422,65	438,02
400	224,82	298,59	342,58	372,86	396,04	414,94	430,66
410	212,95	287,19	332,56	364,03	387,89	407,33	423,55
420	202,39	276,32	322,89	355,37	380,08	400,00	416,84
430	193,01	266,09	313,58	346,98	372,58	393,08	410,34
440	184,60	256,61	304,41	338,86	365,23	386,39	404,20
450	177,02	247,89	295,68	330,79	358,04	380,08	398,41
460	170,07	239,92	287,27	322,79	351,00	373,97	393,08
470	163,61	232,77	279,41	314,96	343,99	368,05	388,05
480	157,48	226,35	272,11	307,31	336,93	362,06	383,14
490	149,34	220,60	265,39	299,85	329,81	356,13	378,64
500	145,91	215,47	259,40	292,83	322,48	350,02	374,25

Продолжение таблицы 2.46

T, K	Плотность при давлении P, МПа						
	90	100	120	140	160	180	200
290	525,49	533,62	548,24	560,85	572,08	582,41	591,72
300	517,87	526,59	542,00	555,25	566,89	577,70	587,54
310	510,20	519,21	535,05	548,85	560,85	571,76	581,73
320	502,51	511,77	528,26	542,30	554,94	565,93	576,04
330	494,80	504,54	521,38	535,91	548,85	560,22	570,45
340	487,33	497,27	514,93	529,66	542,89	554,63	565,29
350	479,85	490,20	508,39	523,83	537,06	549,15	559,91
360	472,59	483,32	502,01	517,87	531,63	543,77	554,94

Окончание таблицы 2.46

Т, К	Плотность при давлении Р, МПа						
	90	100	120	140	160	180	200
170	465,55	476,64	495,78	512,03	526,04	538,50	549,75
180	458,29	469,70	489,48	506,07	520,56	533,33	544,96
190	451,26	463,18	483,32	500,50	515,20	528,26	539,96
200	444,44	456,62	477,33	494,80	509,94	523,01	535,05
210	437,67	450,05	471,48	489,24	504,54	518,13	530,22
220	431,22	443,85	465,55	483,79	499,25	513,08	525,49
230	424,99	438,02	459,98	478,47	494,31	508,13	520,83
240	419,29	432,53	454,96	473,48	489,48	503,52	516,26
250	413,91	427,35	450,05	468,82	484,97	499,00	511,77
260	408,99	422,83	445,83	464,68	480,54	494,80	507,36
270	404,69	418,94	442,07	461,04	476,87	490,68	503,27
280	400,64	415,45	439,17	457,88	473,48	487,33	499,50
290	397,30	412,71	436,68	455,37	470,81	484,03	496,28
300	394,32	410,51	434,97	453,51	468,60	481,46	493,34

Таблица 2.47

Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого этилена при различных температурах и давлениях [21]

Т, К	Плотность при давлении Р, МПа									
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
70	558,03	544,37	529,66	514,67	498,50	481,23	462,75	442,48	419,99	393,55
75	558,66	544,96	530,50	515,46	499,50	482,63	464,25	444,44	422,47	397,30
80	559,28	545,55	531,35	516,53	498,01	483,79	465,98	446,43	424,99	400,64
85	559,91	546,45	532,20	517,33	501,76	484,97	467,29	448,23	427,35	403,88
90	560,54	547,05	533,05	518,13	502,77	486,38	468,82	450,04	429,55	406,83
95	561,17	547,65	533,62	519,21	503,78	487,57	470,15	451,67	431,59	409,50
100	561,80	548,25	534,47	520,02	504,79	488,52	471,48	453,31	433,65	412,20
120	564,01	550,96	537,35	523,29	508,39	493,09	476,64	459,56	441,11	421,58
140	566,25	553,40	539,96	526,32	512,03	497,02	481,46	464,90	447,83	429,55
160	568,18	555,55	542,59	529,10	515,20	500,75	485,67	469,92	453,72	436,49
180	570,45	558,04	545,26	531,91	518,40	504,29	489,72	474,61	458,93	442,67
200	572,08	559,91	547,35	534,76	521,38	507,61	493,58	478,93	463,82	448,43
250	576,70	564,97	552,79	540,54	528,26	515,20	502,01	488,52	474,83	460,83
300	580,72	569,48	558,04	546,15	534,19	521,92	509,68	497,02	484,03	471,25
350	584,45	573,39	562,43	551,27	539,96	528,26	516,53	504,54	492,37	480,31
400	587,89	577,37	566,57	555,86	544,96	533,90	522,74	511,25	499,75	488,28
450	591,02	581,06	570,78	560,22	549,75	539,08	528,26	517,60	506,59	495,54
500	594,18	584,45	574,38	564,33	554,32	544,07	533,62	523,29	512,82	502,26

Таблица 2.48

Значения плотности ρ , кг/м³ этилена на линии насыщения по температуре [30]

Т, К	Р, МПа	Жидкость	Пар	Т, К	Р, МПа	Жидкость	Пар
153,15	0,0347	591,0	0,7843	238,15	1,6804	451,5	31,12
158,15	0,0496	584,1	1,0934	243,15	1,9345	440,3	36,26
163,15	0,0691	577,0	1,4734	248,15	2,2171	428,4	42,21
168,15	0,0943	570,1	1,9631	253,15	2,5271	415,3	49,21
173,15	0,1261	563,1	2,5713	258,15	2,8684	400,3	57,34
178,15	0,1655	555,9	3,3079	263,15	3,2432	385,0	67,16
183,15	0,2136	548,5	4,1947	268,15	3,6523	367,1	79,36
188,15	0,2716	540,8	5,2493	273,15	4,0976	347,1	95,96
193,15	0,3408	533,3	6,4724	275,15	4,2870	337,8	104,5
198,15	0,4223	525,5	7,9365	277,15	4,4832	325,8	115,2
203,15	0,5175	517,3	9,6432	278,15	4,5832	318,6	121,8
208,15	0,6275	508,9	11,59	279,15	4,6852	310,2	129,6
213,15	0,7540	500,0	13,86	280,15	4,7892	299,5	139,2
218,15	0,8980	490,9	16,44	281,15	4,8952	285,8	151,9
223,15	1,0614	481,5	19,38	282,15	5,0021	264,6	171,7
228,15	1,2448	471,9	22,76	282,65	5,0561	248,3	186,3
233,15	1,4509	462,1	26,67	283,05	5,1000	211,1	211,1

Таблица 2.49

Значения плотности ρ , кг/м³ этилена на линии насыщения по давлению [30]

Р, МПа	Т, К	Жидкость	Пар	Р, МПа	Т, К	Жидкость	Пар
0,0491	157,99	584,8	1,0829	0,8829	217,66	491,9	16,17
0,0589	160,71	580,7	1,2835	0,9810	220,78	486,4	18,13
0,0785	165,18	574,0	1,6529	1,1772	226,40	475,5	21,53
0,0981	168,80	568,8	2,0391	1,3734	231,35	465,9	25,19
0,1177	172,01	564,6	2,4131	1,5696	235,80	456,6	28,93
0,1471	176,05	558,7	2,9682	1,7658	239,90	448,0	32,93
0,1962	181,50	550,7	3,9016	1,9620	243,90	438,9	36,82
0,2452	185,95	544,1	4,7596	2,4525	252,05	418,4	47,50
0,2943	189,88	538,2	5,6497	2,9430	259,18	397,4	59,28
0,3433	193,33	533,0	6,5189	3,4335	265,53	376,8	72,46
0,3924	196,41	528,3	7,3964	3,9240	271,25	354,9	88,97
0,4905	201,78	519,5	9,1408	4,4145	276,46	330,5	111,2
0,5886	206,42	511,8	10,89	4,9050	281,25	284,0	153,5
0,6867	210,57	504,8	12,65	5,1000	283,05	211,1	211,1
0,7848	214,29	498,0	14,43				

Таблица 2.50

Значения плотности ρ , кг/м³ пропилена при различных температурах и давлениях [21]

T, К	Плотность при давлении P, МПа						
	0,05	0,1	1,0	2,0	5,0	10	16
180	664,89	664,89	665,34	665,78	666,22	—	—
190	652,74	652,74	653,59	654,02	654,45	—	—
200	641,44	641,44	641,85	642,67	643,50	—	—
210	629,72	629,72	629,72	630,52	631,71	—	—
220	1,1726	617,28	618,05	618,81	620,73	—	—
230	1,1185	2,2763	605,69	606,80	609,38	—	—
240	1,0695	2,1711	592,42	593,82	597,73	—	—
250	1,0248	2,0764	579,37	581,06	585,14	—	—
260	0,9839	1,9900	565,93	567,54	572,41	—	—
270	0,9463	1,9117	551,57	553,71	559,28	—	—
280	0,9115	1,8392	536,48	539,08	545,55	—	—
290	0,8793	1,7724	520,56	523,29	531,07	—	—
300	0,8493	1,7109	20,084	506,07	515,73	—	—
310	0,8217	1,6532	19,008	486,85	498,26	—	—
320	0,7952	1,5995	18,080	467,51	479,39	—	—
330	0,7707	1,5494	17,268	41,339	458,51	—	—
340	0,7477	1,5024	16,545	38,417	435,16	—	—
350	0,7260	1,4581	15,901	36,088	406,34	—	—
360	0,7056	1,4166	15,314	34,176	355,74	—	—
370	0,6863	1,3774	14,780	32,541	210,70	403,39	441,11
380	0,6680	1,3403	14,294	31,114	142,11	377,79	424,63
390	0,6507	1,3053	13,835	29,851	107,27	348,92	407,33
400	0,6343	1,2721	13,416	28,711	96,246	316,86	389,71
410	0,6188	1,2407	13,024	27,678	88,496	282,80	371,06
420	0,6040	1,2111	12,658	26,745	82,508	250,12	352,24
430	0,5900	1,1829	12,315	25,887	77,700	222,27	333,11
440	0,5767	1,1563	11,992	25,107	73,692	200,08	314,27
450	0,5640	1,1311	11,688	24,384	70,225	182,65	296,08

Продолжение таблицы 2.50

T, K	Плотность при давлении P, МПа						
	20	30	40	50	60	70	80
370	457,25	486,14	507,10	523,29	537,06	548,85	559,60
380	443,26	475,29	497,51	514,93	529,10	541,71	552,49
390	428,82	464,04	487,80	506,33	521,38	534,19	545,55
400	413,91	452,69	478,24	497,76	513,61	527,15	538,79
410	398,88	441,50	468,82	489,24	505,82	519,75	531,91
420	383,43	430,11	459,14	480,77	498,01	512,56	525,21
430	368,05	418,76	449,64	472,37	490,44	505,56	518,40
440	352,48	407,33	440,33	464,04	482,86	498,50	511,77
450	337,04	396,04	430,85	455,79	475,28	491,40	505,31

Окончание таблицы 2.50

T, K	Плотность при давлении P, МПа						
	90	100	120	140	160	180	200
370	568,83	577,70	593,12	606,43	618,05	628,54	638,57
380	562,43	571,10	586,85	600,60	612,75	623,44	633,31
390	555,86	564,97	581,06	595,24	607,53	618,43	628,53
400	549,15	558,66	575,37	589,62	602,41	613,49	623,83
410	542,89	552,49	569,48	584,11	597,37	608,64	619,19
420	536,48	546,45	564,02	579,04	592,07	603,86	614,63
430	529,94	540,25	558,35	573,72	587,20	599,16	610,13
440	523,56	534,19	552,79	568,50	582,07	594,53	605,69
450	517,33	528,26	547,05	563,38	577,37	589,97	601,32

Таблица 2.51

Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого пропилена
при различных температурах и давлениях [21]

T, K	Плотность при давлении P, МПа								
	28	29	30	31	32	33	34	35	36
65	544,07	534,47	520,02	503,52	485,44	466,64	446,43	422,83	393,39
70	549,45	535,62	521,38	505,05	487,57	469,04	449,44	426,98	400,32
75	550,66	536,77	522,74	506,84	489,48	471,25	452,28	431,03	405,68
80	551,57	537,92	523,83	508,39	491,40	473,48	454,96	434,40	410,68
85	552,49	539,08	525,2	509,68	492,85	475,51	457,67	437,64	415,68
90	553,40	540,25	526,32	511,25	494,56	477,78	459,98	440,72	419,46
95	554,32	541,12	527,70	512,56	496,28	479,85	462,53	443,66	423,37
100	555,25	542,30	528,82	513,87	498,01	481,69	464,68	446,43	426,62
120	558,97	546,45	533,05	519,21	504,03	488,76	472,81	455,99	438,60
140	562,43	550,06	537,06	523,83	509,68	495,05	480,08	464,25	448,23

Окончание таблицы 2.51

Т, К	Плотность при давлении Р, МПа								
	28	29	30	31	32	33	34	35	36
160	565,61	553,71	540,83	528,26	514,93	500,75	486,38	471,69	456,62
180	568,83	557,10	544,66	532,48	519,48	505,82	492,37	478,24	463,82
200	571,76	559,91	547,95	536,19	523,83	510,46	497,51	484,03	470,37
250	578,37	566,89	555,55	544,37	533,05	520,83	508,91	496,77	484,49
300	584,45	573,39	562,43	551,88	540,83	529,66	518,94	507,61	496,52
350	589,97	579,04	568,83	558,35	547,95	537,63	527,43	517,06	506,58
400	594,88	584,79	574,71	564,65	554,63	544,66	534,76	524,93	515,20
450	599,52	589,62	579,71	570,12	560,54	551,27	542,01	532,76	523,56
500	603,14	593,82	584,45	575,37	566,25	557,10	548,25	539,37	530,50
550	606,80	598,09	589,27	580,38	571,76	563,06	554,63	546,15	537,63
600	610,50	602,05	593,47	585,14	576,70	568,50	560,22	552,18	544,07

Таблица 2.52

Значения плотности ρ , кг/м³ пропилена на линии насыщения [18]

Т, К	Р, МПа	Жидкость	Пар	Т, К	Р, МПа	Жидкость	Пар
223,15	0,091	566,2	2,32	263,15	0,415	550,4	8,86
225,15	0,101	565,4	2,49	265,15	0,441	549,4	9,44
227,15	0,112	564,7	2,69	267,15	0,469	548,5	10,04
229,15	0,123	564,1	2,89	269,15	0,500	547,5	10,64
231,15	0,135	563,4	3,11	271,15	0,531	546,4	11,22
233,15	0,142	562,7	3,33	273,15	0,564	545,4	11,93
235,15	0,158	562,0	3,58	275,15	0,599	544,3	12,63
237,15	0,171	561,3	3,85	277,15	0,633	543,2	13,40
239,15	0,185	560,5	4,12	279,15	0,670	542,0	14,14
241,15	0,198	559,8	4,39	281,15	0,708	540,9	14,91
243,15	0,212	559,0	4,71	283,15	0,750	539,6	15,75
245,15	0,226	558,2	5,04	285,15	0,789	538,3	16,57
247,15	0,243	557,4	5,40	287,15	0,832	537,1	17,44
249,15	0,259	556,6	5,78	289,15	0,879	535,7	18,37
251,15	0,277	555,8	6,17	291,15	0,927	534,4	19,34
253,15	0,295	555,0	6,58	293,15	0,973	532,9	20,35
255,15	0,317	554,1	6,98	295,15	1,034	531,4	21,50
257,15	0,340	553,2	7,47	297,15	1,097	529,9	22,70
259,15	0,364	552,3	7,87	299,15	1,156	528,4	23,92
261,15	0,388	551,3	8,39	301,15	1,219	526,8	25,18

Окончание таблицы 2.52

T, K	$P, \text{МПа}$	Жидкость	Пар	T, K	$P, \text{МПа}$	Жидкость	Пар
303,15	1,281	525,1	26,52	315,15	1,659	523,7	36,20
305,15	1,341	523,4	27,88	317,15	1,734	511,6	38,25
307,15	1,404	521,6	29,35	319,15	1,811	509,3	40,37
309,15	1,466	519,8	30,96	321,15	1,892	506,9	42,37
311,15	1,531	517,8	32,57	323,15	1,970	504,4	44,48
313,15	1,593	515,8	34,28				

Таблица 2.53

Значения плотности ρ , кг/м³ бутена-1 в жидком состоянии [27]

T, K	ρ	T, K	ρ	T, K	ρ
193,15	703,0	233,15	662,7	273,15	618,2
203,15	694,0	243,15	651,9	283,15	606,5
213,15	683,5	253,15	640,9	293,15	594,5
223,15	673,2	263,15	629,7	—	—

Таблица 2.54

Значения плотности ρ , кг/м³ изобутилена в жидком состоянии [27]

T, K	ρ	T, K	ρ	T, K	ρ
203,15	694,0	233,15	662,4	263,15	629,4
213,15	684,1	243,15	651,5	273,15	618,0
223,15	673,3	253,15	640,5	283,15	606,5

Таблица 2.55

Значения плотности ρ , кг/м³ пентена-1 в жидком состоянии [27]

T, K	ρ	T, K	ρ
283,15	650,8	299,15	635,3
293,15	640,5	303,15	630,0

Таблица 2.56

Значения плотности ρ , кг/м³ гексена-1 при различных температурах и давлениях [21]

T, K	Плотность при давлении $P, \text{МПа}$						
	0,101	0,886	2,063	3,044	4,025	5,006	7,459
283,15	682,5	683,3	684,4	685,2	686,2	687,3	789,3
289,40	677,1	677,8	678,8	679,8	680,8	681,8	684,0
298,15	668,8	669,6	670,7	671,6	672,7	673,8	676,2

Продолжение таблицы 2.56

Т, К	Плотность при давлении Р, МПа						
	0,101	0,886	2,063	3,044	4,025	5,006	7,459
323,15	644,8	645,9	647,1	648,1	649,4	650,3	653,3
348,15	—	620,2	622,2	623,8	625,6	627,4	630,9
373,15	—	594,3	596,7	599,0	601,1	603,0	607,7
398,15	—	563,7	567,2	569,8	572,4	575,0	581,0
423,15	—	528,7	534,3	538,2	541,9	543,5	553,4
448,15	—	—	494,9	502,0	508,6	514,0	525,0
473,15	—	—	439,4	452,0	464,0	473,0	489,5
493,15	—	—	—	395,1	419,7	435,1	459,6
503,15	—	—	—	328,8	390,0	411,1	442,0
513,15	—	—	—	—	339,9	383,4	426,5
533,15	—	—	—	—	200,0	302,2	359,0

Продолжение таблицы 2.56

Т, К	Плотность при давлении Р, МПа						
	9,911	14,82	19,72	24,63	29,53	34,44	39,34
283,15	691,5	695,9	699,5	703,0	706,3	709,5	712,5
289,40	687,3	690,3	694,4	698,0	701,6	704,9	708,0
298,15	678,6	683,1	687,4	691,3	695,1	698,8	702,1
323,15	656,0	661,4	666,8	671,5	676,0	680,1	684,0
348,15	634,4	640,9	646,9	652,5	657,7	662,5	666,8
373,15	612,1	619,7	626,6	632,8	638,6	643,9	648,9
398,15	586,6	596,2	602,8	612,5	619,3	625,5	631,1
423,15	560,6	572,6	583,1	591,8	599,6	606,7	613,3
448,15	534,0	548,6	560,6	570,9	580,2	588,4	595,6
473,15	502,8	522,7	537,6	550,0	560,3	569,5	577,9
493,15	477,0	501,9	520,0	533,3	544,5	554,4	563,9
503,15	463,5	492,3	511,4	525,8	537,5	547,8	557,5
513,15	450,2	480,1	500,7	517,0	530,5	541,9	551,4
533,15	421,1	458,3	482,5	500,9	515,5	527,5	538,2

T, К	Плотность при давлении P, МПа					
	44,25	49,15	54,06	58,96	63,87	68,77
283,15	715,3	718,0	720,8	723,3	725,9	728,5
289,40	711,0	713,8	716,7	719,5	722,2	724,7
298,15	705,3	708,3	711,2	713,8	716,5	719,2
323,15	687,6	691,2	694,3	697,6	700,8	704,0
348,15	671,1	675,1	678,8	682,5	686,2	689,4
373,15	653,6	658,1	662,3	666,6	670,7	674,6
398,15	636,4	641,4	646,4	651,0	655,4	659,6
423,15	619,3	625,2	630,7	636,0	640,9	645,4
448,15	602,8	609,1	615,2	620,6	625,8	630,6
473,15	585,3	592,5	599,4	605,7	611,7	617,3
493,15	572,3	580,3	587,6	594,5	600,9	606,8
503,15	566,3	574,1	581,7	588,6	593,2	601,5
513,15	560,1	568,0	575,8	583,0	590,0	596,5
533,15	547,5	556,0	564,1	571,6	578,9	585,9

Таблица 2.57

Значения плотности ρ , кг/м³ гексена-1 при различных давлениях и низких температурах [20]

T, К	Плотность при давлении P, МПа					
	0,1	10	20	30	40	50
140	819,9	823,6	827,2	830,7	—	—
160	798,2	802,3	806,2	810,0	813,6	817,1
180	778,0	782,6	787,0	791,3	795,3	799,2
200	758,0	763,4	768,4	773,2	777,8	782,1
220	738,5	744,7	750,4	755,8	760,9	765,7
240	720,1	727,0	733,4	739,4	744,9	750,2
260	702,6	710,2	717,2	723,6	729,6	735,2
280	684,7	692,9	700,3	707,3	713,7	719,6
300	662,9	672,0	680,3	687,8	694,7	701,0

Таблица 2.58

Значения плотности ρ , кг/м³ гептена-1 при различных температурах и давлениях [22, 23]

T, К	Плотность при давлении P, МПа					
	0,1	10	20	30	40	50
160	817,5	822,4	826,2	829,8	—	—
180	795,8	800,2	804,5	808,6	812,5	816,3
200	776,0	781,0	786,0	790,6	795,1	799,3
220	757,7	763,6	769,1	774,4	779,3	784,0

Окончание таблицы 2.58

T, K	Плотность при давлении P, МПа					
	0,1	10	20	30	40	50
240	740,4	747,1	753,3	759,0	764,5	769,6
260	723,8	731,2	738,0	744,3	750,7	755,7
280	707,1	715,2	722,6	729,4	735,8	741,6
300	687,8	697,0	705,3	712,8	719,7	726,1

Таблица 2.59

Значения плотности ρ , кг/м³ октена-1 при различных температурах и давлениях [22, 23]

T, K	Плотность при давлении P, МПа						
	0,101	5,006	9,911	14,82	19,72	24,63	29,53
283,15	723,5	726,9	730,3	733,5	736,5	739,5	742,4
291,15	716,5	720,4	724,1	727,6	731,0	734,2	737,2
298,15	710,6	714,6	718,4	722,0	725,3	728,6	731,6
323,15	689,2	693,8	698,3	702,5	706,4	710,1	713,5
348,15	667,3	673,2	678,4	683,4	688,1	692,7	697,0
373,15	644,4	651,5	658,1	664,2	669,7	674,8	679,4
398,15	622,1	629,9	637,5	644,4	650,7	656,5	661,9
423,15	—	606,5	616,2	625,1	631,5	638,1	644,4
448,15	—	581,4	593,6	603,5	612,0	619,5	626,4
473,15	—	555,8	570,4	582,2	592,4	601,2	609,4
498,15	—	526,4	545,9	560,4	572,2	582,7	591,8
523,15	—	497,6	523,0	538,6	552,2	564,1	574,4
543,15	—	—	513,2	529,7	544,0	556,3	567,3

Продолжение таблицы 2.59

T, K	Плотность при давлении P, МПа						
	34,44	39,34	44,25	49,15	54,06	58,96	68,77
283,15	745,2	747,8	750,3	752,6	754,8	757,0	761,7
291,15	740,0	742,8	747,2	747,6	749,9	752,3	756,9
298,15	734,7	737,6	740,4	743,1	745,6	748,1	752,9
323,15	717,1	720,7	724,1	727,4	730,5	733,2	738,6
348,15	700,8	704,5	708,2	711,7	715,1	718,3	724,4
373,15	683,6	687,7	691,9	695,9	699,7	703,4	710,2
398,15	666,8	671,4	675,9	680,2	684,4	688,5	696,1
423,15	649,9	655,0	659,9	664,5	669,3	674,0	682,2

Окончание таблицы 2.60

T, K	Плотность при давлении P, МПа						
	34,44	39,34	44,25	49,15	54,06	58,96	68,7
448,15	632,6	638,5	644,3	649,7	654,8	659,7	668,1
473,15	616,6	623,2	629,2	634,8	640,1	643,2	655,0
498,15	600,0	607,2	613,7	619,8	625,4	630,8	641,2
523,15	583,6	591,6	598,6	604,9	610,8	616,4	627,5
533,15	577,0	585,4	592,7	599,3	605,5	611,2	622,0

Таблица 2.61

Значения плотности ρ , кг/м³ октена-1 при различных давлениях и низких температурах [20]

T, K	Плотность при давлении P, МПа					
	0,1	10	20	30	40	50
180	814,2	816,8	819,3	821,8	824,1	—
200	793,7	796,9	800,0	803,0	805,9	808,7
220	776,0	779,8	783,6	787,1	790,9	793,9
240	759,4	764,1	768,5	772,7	776,8	780,6
260	742,0	747,7	753,0	758,1	762,9	747,4
280	723,8	730,7	737,1	743,1	748,6	753,9
300	711,0	718,5	725,5	732,0	737,9	743,5

Таблица 2.61

Значения плотности ρ , кг/м³ нонена-1 при различных температурах и давлениях [20]

T, K	Плотность при давлении P, МПа					
	0,1	10	20	30	40	50
200	803,9	807,5	811,0	814,4	817,7	820,8
220	785,7	789,7	793,6	797,3	800,9	804,4
240	769,6	774,1	778,4	782,5	786,5	790,3
260	754,2	759,3	764,2	768,8	773,2	777,4
280	739,0	744,8	750,3	755,5	760,4	765,0
300	723,5	730,1	736,4	742,2	747,6	752,8
320	707,5	751,2	722,2	728,8	734,8	740,5
340	691,1	699,9	707,9	715,2	721,9	728,1
360	674,3	684,4	693,5	701,6	709,0	715,8
380	657,3	668,9	679,0	688,0	696,1	703,5
400	640,0	653,2	653,2	664,6	683,3	691,3
420	622,2	637,4	650,1	661,0	670,6	679,2

Окончание таблицы 2.61

t, К	Плотность при давлении P, МПа					
	0,1	10	20	30	40	50
180	—	621,2	635,4	647,4	657,8	667,0
200	—	604,9	620,8	633,8	645,0	654,9
220	—	588,1	605,8	620,0	632,0	642,6
240	—	572,2	590,7	606,2	619,1	630,2
260	—	553,7	575,6	592,5	606,2	617,9

Таблица 2.62

Значения плотности ρ , кг/м³ децена-1 при различных температурах и давлениях [20]

t, К	Плотность при давлении P, МПа					
	0,1	10	20	30	40	50
280	804,8	808,4	811,9	815,9	818,6	821,7
300	786,6	789,9	794,0	797,9	801,7	805,3
320	768,5	773,5	778,3	782,9	787,2	791,3
340	752,5	758,4	763,9	769,2	774,1	778,8
360	736,9	743,8	750,2	756,2	761,8	767,0
380	721,3	729,3	736,7	743,5	749,8	755,7
400	705,3	714,7	723,1	730,8	737,9	744,4
420	688,9	699,8	709,5	718,1	726,0	733,2
440	672,1	684,7	695,7	705,3	714,0	721,9
460	654,8	669,4	681,8	692,5	702,0	710,5
480	637,1	654,0	667,8	679,7	690,0	699,2
500	619,0	638,4	654,0	666,9	678,1	688,0
520	—	622,9	640,2	654,3	666,3	676,9
540	—	607,1	626,3	641,6	654,0	665,7
560	—	591,1	612,4	629,0	642,7	654,5
580	—	574,9	598,4	616,3	630,9	643,3

2.7. Плотность ароматических углеводородов при различных температурах и давлениях

Таблица 2.1

Значения плотности ρ , кг/м³ бензола при различных
температурах и давлениях [6]

P, МПа	Плотность при температуре T, К						
	298,15	323,15	348,15	373,15	398,15	423,15	473,15
0,1	873,5	846,5	819,0	0,0026	0,0024	0,0023	0,0020
1,2	874,0	847,8	820,4	792,3	763,0	731,2	0,0290
2,0	875,0	848,6	821,4	793,6	764,7	733,4	658,6
2,5	875,5	849,2	821,9	794,3	765,7	734,6	660,9
3,0	875,9	849,8	822,6	795,0	766,6	735,7	663,2
3,5	876,3	850,3	823,2	795,7	767,5	736,7	665,7
4,0	876,7	850,7	823,8	796,4	768,4	737,7	667,7
5,0	877,5	851,6	825,1	797,6	769,9	739,6	671,4
7,5	879,9	854,2	827,9	800,8	774,0	744,6	680,6
10,0	881,5	856,5	830,8	804,3	778,0	749,3	688,3
12,5	883,5	858,8	833,6	807,3	781,7	753,8	695,3
15,0	885,5	861,1	836,1	810,4	785,3	758,2	701,6
17,5	887,2	863,1	838,4	813,2	788,7	762,3	707,8
20,0	889,1	865,1	840,9	816,1	792,1	766,3	713,3
22,5	890,8	867,2	843,1	818,8	795,4	769,9	718,6
25,0	892,6	869,1	845,6	821,4	798,5	773,5	723,4
27,5	894,6	871,2	847,9	824,3	801,4	777,0	728,2
30,0	896,3	873,1	849,9	826,8	804,3	780,3	732,7
32,5	897,8	875,1	852,1	829,3	807,1	783,5	737,0
35,0	899,6	877,1	854,1	831,7	809,4	786,7	740,8
37,5	901,1	878,9	856,1	833,9	812,1	789,9	744,6
40,0	902,8	880,9	858,1	836,1	814,4	792,5	748,5
42,5	904,5	882,6	860,3	838,6	817,1	795,5	752,1
45,0	905,9	884,3	862,4	841,0	819,6	798,4	755,4
47,5	907,4	886,1	864,4	843,2	822,1	801,1	758,9
50,0	908,5	887,7	866,2	845,2	824,5	803,7	762,2

Окончание таблицы 2.63

$P, \text{ МПа}$	Плотность при температуре $T, \text{ К}$						
	498,15	523,15	548,15	573,15	598,15	623,15	673,15
0,1	1,906	1,812	1,727	1,649	1,579	1,515	1,401
1,2	26,41	24,42	22,81	21,44	20,28	19,26	17,54
2,0	51,95	45,66	41,48	38,30	35,76	33,65	30,25
2,5	615,2	63,01	55,43	50,35	46,49	43,42	38,67
3,0	618,6	554,6	72,41	63,98	58,27	53,94	47,51
3,5	622,3	563,0	93,98	79,81	71,53	65,32	56,85
4,0	625,3	569,8	129,6	99,50	86,43	77,76	66,53
5,0	631,1	581,2	503,6	162,8	124,0	106,88	87,87
7,5	643,8	601,1	547,0	472,7	332,1	220,9	154,1
10,0	654,3	615,8	571,6	518,3	450,7	364,4	237,1
12,5	663,3	628,3	589,4	545,1	494,2	436,3	318,3
15,0	671,4	638,9	603,6	564,4	522,3	475,7	377,7
17,5	678,3	648,3	615,2	580,6	543,3	503,1	420,2
20,0	685,4	656,3	625,7	593,6	559,6	524,1	450,6
22,5	691,7	664,1	634,9	604,7	573,4	541,2	474,8
25,0	697,4	670,7	643,2	614,7	585,8	555,4	494,7
27,5	702,8	677,3	650,7	623,8	596,5	567,9	511,6
30,0	708,1	683,1	657,6	631,8	606,1	579,2	526,0
32,5	713,0	688,8	664,1	639,4	614,6	589,3	538,9
35,0	717,5	694,0	670,1	646,4	622,6	598,4	549,9
37,5	722,0	698,9	675,9	652,9	630,1	606,6	560,4
40,0	726,3	703,7	681,3	659,1	637,2	614,1	569,7
42,5	730,4	708,4	686,4	664,7	643,4	621,4	578,3
45,0	734,1	712,6	691,1	670,1	649,4	628,0	586,2
47,5	737,7	716,7	695,7	675,0	654,9	634,3	593,7
50,0	741,1	720,4	699,7	679,9	660,3	640,1	600,9

Таблица 2.64

Значения плотности $\rho, \text{ кг/м}^3$ бензола на линии насыщения [16]

$T, \text{ К}$	$P, \text{ МПа}$	Жидкость	Пар	$T, \text{ К}$	$P, \text{ МПа}$	Жидкость	Пар
283,15	0,0061	889,5	0,2	283,15	0,0061	889,5	0,2
293,15	0,0100	879,0	0,4	293,15	0,0100	879,0	0,4
303,15	0,0159	868,5	0,6	353,15	0,1008	814,5	2,73
313,15	0,0243	857,6	0,8	363,15	0,1357	804,1	3,61
323,15	0,0361	846,6	1,1	373,15	0,1795	792,7	4,70

Окончание таблицы 2.1

Т, К	Р, МПа	Жидкость	Пар	Т, К	Р, МПа	Жидкость	Пар
383,15	0,2335	780,9	6,04	493,15	1,9301	625,5	50,15
393,15	0,2991	769,2	7,67	503,15	2,2372	606,5	59,77
403,15	0,3776	756,8	9,85	513,15	2,5806	585,1	71,38
413,15	0,4709	744,0	11,76	523,15	2,9644	560,9	85,54
423,15	0,5800	731,0	14,37	533,15	3,3886	532,8	103,8
433,15	0,7068	718,5	17,34	543,15	3,8592	498,4	128,7
443,15	0,8524	704,3	20,87	553,15	—	451,4	166,0
453,15	1,0191	690,6	24,87	557,45	—	421,3	—
463,15	1,2029	675,8	29,77	559,25	—	407,8	—
473,15	1,4160	660,5	35,46	561,15	—	385,6	—
483,15	1,6574	643,2	42,07	562,60	4,9086	304,0	304,0

Таблица 2.66

Значения плотности ρ , кг/м³ толуола при различных температурах и давлениях [6]

Р, МПа	Плотность при температуре Т, К						
	298,15	323,15	348,15	373,15	398,15	423,15	473,15
0,1	863,3	839,6	815,5	790,3	767,8	746,1	725,6
1,2	864,0	840,5	816,5	791,7	766,2	738,3	677,6
2,0	864,6	841,5	817,5	792,8	767,5	739,9	680,3
2,5	865,1	842,0	817,9	793,7	768,2	740,7	681,7
3,0	865,5	842,3	818,5	794,5	769,1	741,7	683,2
3,5	865,8	842,8	819,2	795,2	769,8	742,7	684,6
4,0	866,3	843,1	819,6	795,9	770,7	743,7	686,2
5,0	867,0	844,0	820,6	797,3	772,2	745,4	689,1
7,5	869,0	846,0	823,1	800,1	775,9	750,0	695,9
10,0	870,7	848,1	825,6	803,2	779,4	753,9	702,2
12,5	872,6	850,1	828,0	805,9	782,5	757,9	708,0
15,0	874,4	852,2	830,2	808,7	785,9	761,7	713,2
17,5	876,0	854,1	832,5	811,4	789,0	765,4	718,0
20,0	877,7	856,0	835,0	813,9	791,1	768,8	722,2
22,5	879,5	858,0	837,1	816,3	794,9	772,0	727,2
25,0	881,2	859,9	839,2	818,7	797,5	775,1	731,4
27,5	882,9	861,7	841,3	821,2	800,3	778,0	735,5
30,0	884,4	863,4	843,5	823,3	803,0	781,1	739,4
32,5	886,1	865,5	845,5	825,6	805,4	783,8	742,9
35,0	887,7	867,3	847,5	827,4	807,8	786,5	746,4

Продолжение таблицы 2.65

$P, \text{ МПа}$	Плотность при температуре $T, \text{ К}$						
	298,15	323,15	348,15	373,15	398,15	423,15	473,15
17,5	889,2	868,8	849,3	829,8	810,1	789,3	750,0
40,0	890,7	870,7	851,2	832,0	812,4	792,0	753,0
42,5	892,3	872,0	853,0	834,0	814,7	794,9	756,2
45,0	893,8	873,8	855,4	836,1	816,9	797,5	759,3
47,5	895,1	875,4	856,6	838,0	819,3	800,0	762,4
50,0	896,5	877,0	858,5	839,9	821,4	802,5	765,5

Окончание таблицы 2.65

$P, \text{ МПа}$	Плотность при температуре $T, \text{ К}$						
	498,15	523,15	548,15	573,15	598,15	623,15	673,15
0,1	2,259	2,146	2,044	1,952	1,868	1,791	1,655
1,2	639,5	31,15	28,56	26,50	24,88	23,46	21,17
2,0	644,4	602,3	56,72	50,10	45,59	42,21	37,20
2,5	647,2	606,3	551,5	69,54	61,34	55,74	48,21
3,0	649,6	610,0	558,5	99,30	80,64	71,27	60,13
3,5	651,8	613,0	564,2	487,9	106,1	89,44	72,99
4,0	653,7	616,1	569,5	502,3	146,3	112,2	87,18
5,0	657,5	621,6	578,5	522,0	420,5	183,5	120,3
7,5	666,4	633,5	596,5	553,0	498,2	423,2	243,4
10,0	674,3	643,5	610,5	573,0	530,1	480,4	357,9
12,5	681,3	652,6	622,0	588,6	551,8	510,8	418,7
15,0	687,5	660,8	631,9	601,6	568,8	533,7	457,3
17,5	693,4	667,9	640,8	612,8	582,5	551,2	484,1
20,0	699,0	674,4	648,8	622,3	594,2	565,5	505,6
22,5	704,2	680,5	655,9	630,7	604,4	577,9	522,7
25,0	709,2	686,0	662,5	638,6	613,6	588,6	537,1
27,5	713,8	691,5	668,9	645,7	621,8	598,4	549,6
30,0	717,9	696,5	674,8	652,3	629,6	607,0	560,6
32,5	722,3	701,5	679,9	658,5	636,2	617,8	570,8
35,0	726,4	706,0	704,3	664,4	642,9	622,0	580,0
37,5	730,3	710,2	689,9	669,8	649,0	628,6	588,3
40,0	733,8	714,5	694,5	674,9	655,0	635,2	596,0
42,5	737,4	718,0	699,0	679,8	660,1	641,1	603,3
45,0	740,0	721,9	702,9	684,5	664,9	646,4	610,2
47,5	743,8	725,4	707,0	688,6	670,0	652,0	616,7
50,0	746,9	729,0	710,9	693,0	674,7	656,9	622,5

Таблица 2.66

Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого толуола [27]

Т, К	ρ	Т, К	ρ	Т, К	ρ
173,15	979,9	253,15	903,9	323,15	838,8
183,15	970,1	263,15	894,7	333,15	829,3
193,15	960,4	273,15	885,5	343,15	819,7
203,15	950,8	283,15	876,2	353,15	809,9
213,15	941,3	293,15	866,9	363,15	800,0
223,15	931,8	298,15	862,3	373,15	790,0
233,15	922,5	303,15	857,6	383,15	779,8
243,15	913,2	313,15	848,3	—	—

Таблица 2.67

Значения плотности ρ , кг/м³ орто-ксилола при различных температурах и давлениях [6]

Р, МПа	Плотность при температуре Т, К						
	298,15	323,15	348,15	373,15	398,15	423,15	473,15
0,1	876,0	855,2	832,9	811,0	780,0	3,136	2,770
1,2	876,8	856,2	834,0	812,0	789,5	766,1	713,9
2,0	877,3	856,9	834,9	813,0	790,5	767,4	716,1
2,5	877,7	857,3	835,2	813,4	791,2	768,1	717,1
3,0	878,0	857,7	835,7	814,0	791,8	768,9	717,7
3,5	878,4	858,0	836,1	814,5	792,5	769,8	719,5
4,0	878,8	858,3	836,4	814,9	793,0	770,8	720,0
5,0	879,1	859,1	837,7	816,1	794,2	771,9	723,0
7,5	881,1	861,0	839,9	818,5	797,5	775,3	728,0
10,0	882,5	863,0	842,3	821,0	800,5	778,9	732,7
12,5	884,1	864,9	844,8	823,7	803,5	781,9	737,3
15,0	885,8	867,0	847,0	826,1	806,1	785,1	741,7
17,5	887,4	868,8	848,9	828,4	808,9	788,5	745,8
20,0	889,1	870,6	850,6	830,4	811,2	791,5	750,1
22,5	890,4	871,9	852,3	832,7	813,6	794,4	754,0
25,0	892,1	873,5	853,9	835,0	815,9	797,1	757,5
27,5	893,4	875,2	855,7	837,1	818,3	800,0	761,0
30,0	895,0	877,0	857,7	839,2	821,0	802,1	764,1
32,5	896,5	878,5	859,7	841,1	823,3	805,0	767,1
35,0	898,0	879,9	861,6	843,0	825,6	807,4	770,1
37,5	899,4	881,5	863,4	845,0	827,8	809,9	773,0
40,0	900,9	883,0	865,2	847,0	830,0	812,2	775,7

Продолжение таблицы 2.67

P , МПа	Плотность при температуре T , К						
	298,15	323,15	348,15	373,15	398,15	423,15	473,15
42,5	902,0	884,4	867,0	848,9	831,8	814,5	778,5
45,0	903,5	885,9	868,4	850,9	833,8	816,5	781,3
47,5	904,9	887,4	869,8	852,7	835,7	818,3	784,0
50,0	906,7	888,9	871,5	854,4	838,0	820,0	786,7

Окончание таблицы 2.67

P , МПа	Плотность при температуре T , К						
	498,15	523,15	548,15	573,15	598,15	623,15	673,15
0,1	2,620	2,487	2,367	2,259	2,160	2,070	1,912
1,2	684,0	652,1	36,36	32,97	30,44	28,42	25,27
2,0	686,9	655,6	618,1	572,7	60,75	53,93	45,82
2,5	688,4	657,5	621,1	577,5	91,65	75,30	60,86
3,0	689,9	659,5	623,9	582,2	523,0	123,8	78,22
3,5	691,7	661,6	626,8	586,4	538,9	427,2	98,71
4,0	693,2	663,7	629,4	590,3	539,4	460,1	124,2
5,0	696,2	667,2	634,9	597,9	553,4	492,4	210,0
7,5	702,4	675,3	645,9	613,1	577,7	533,9	407,5
10,0	708,6	682,5	655,9	625,3	593,1	557,1	468,0
12,5	713,8	689,1	664,1	636,0	606,3	574,3	501,1
15,0	719,0	695,4	671,4	645,7	617,5	588,5	523,8
17,5	723,7	701,2	677,9	654,0	627,3	601,2	541,7
20,0	728,2	706,6	683,9	661,1	635,8	611,6	557,6
22,5	732,4	711,4	689,5	667,2	643,9	621,0	570,9
25,0	736,5	715,8	695,1	673,4	651,4	629,6	581,1
27,5	740,4	720,6	700,0	679,3	658,1	636,9	590,4
30,0	744,3	724,4	705,1	685,1	664,7	644,1	598,9
32,5	747,7	728,1	709,8	689,9	670,1	650,1	607,3
35,0	751,2	732,0	713,8	694,8	675,2	656,3	615,1
37,5	754,7	735,9	717,9	699,3	680,1	661,9	622,0
40,0	757,9	739,8	722,0	703,4	685,3	667,4	628,2
42,5	761,0	743,2	726,0	707,8	690,4	672,5	634,1
45,0	764,0	746,4	729,9	712,0	694,5	677,4	639,7
47,5	766,9	749,7	733,4	716,2	698,8	682,2	645,2
50,0	769,8	753,1	736,9	719,9	702,8	686,9	650,1

Таблица 2.60

**Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого орто-ксилола
при различных температурах [16]**

T, K	ρ	T, K	ρ	T, K	ρ
243,15	921,8*	303,15	871,9	363,15	820,4
253,15	913,5	313,15	863,4	373,15	811,6
263,15	905,2	323,15	854,9	383,15	802,6
273,15	896,9	333,15	846,4	393,15	793,5
283,15	888,6	343,15	837,8	403,15	784,4
293,15	880,2	353,15	829,2	413,15	775,3

* Переохлажденная жидкость.

Таблица 2.60

**Значения плотности ρ , кг/м³ мета-ксилола при различных
температурах и давлениях [6]**

P, MPa	Плотность при температуре T, K						
	298,15	323,15	348,15	373,15	398,15	423,15	473,15
0,1	859,4	840,1	820,0	797,3	774,2	3,140	2,772
1,2	860,5	841,1	821,0	798,5	775,4	749,4	693,7
2,0	861,4	841,8	821,8	799,4	776,2	750,5	695,8
2,5	861,8	842,1	822,2	800,1	776,6	751,3	697,2
3,0	862,2	842,6	822,6	800,7	777,4	752,1	698,4
3,5	862,5	843,0	822,9	801,2	778,0	752,6	699,6
4,0	862,8	843,3	823,3	801,7	778,6	753,4	700,9
5,0	863,7	844,3	824,4	802,8	779,7	754,8	703,3
7,5	865,7	846,3	826,3	805,2	782,7	758,3	709,0
10,0	867,3	848,3	828,5	807,8	785,6	762,4	714,2
12,5	869,1	850,4	830,7	810,5	788,5	765,9	719,2
15,0	870,6	852,2	833,1	812,8	791,0	769,5	723,9
17,5	872,3	854,1	835,2	814,7	794,4	772,9	728,0
20,0	873,9	855,7	837,1	816,9	796,8	776,0	732,1
22,5	875,8	857,4	839,2	819,5	799,4	778,9	736,3
25,0	877,5	859,4	841,1	821,6	802,1	781,6	739,9
27,5	879,1	861,1	843,0	823,9	804,5	784,4	743,7
30,0	880,5	862,6	845,0	826,1	806,9	787,2	747,1
32,5	882,2	864,5	846,8	828,2	809,5	790,0	750,5
35,0	883,6	866,1	848,6	830,4	812,0	792,5	753,6
37,5	885,0	867,1	850,4	832,5	814,1	794,9	758,7
40,0	886,3	869,4	852,2	834,3	816,1	797,1	759,7
42,5	888,0	870,9	853,8	836,1	818,3	799,6	762,6
45,0	889,3	872,5	855,5	838,0	820,0	801,9	765,1
47,5	890,7	873,9	857,3	839,9	822,0	803,9	767,9
50,0	891,8	875,5	858,8	841,8	824,1	806,3	770,5

Окончание таблицы 2.69

ρ , МПа	Плотность при температуре T , К						
	498,15	523,15	548,15	573,15	598,15	623,15	673,15
0,1	2,621	2,487	2,367	2,258	2,160	2,070	1,911
1,2	662,6	627,5	36,27	32,84	30,31	28,27	25,08
2,0	665,6	631,3	591,0	69,93	59,70	53,36	45,20
2,8	667,2	633,5	594,7	544,6	87,33	73,74	59,91
3,0	668,9	635,8	598,3	550,2	476,5	101,4	76,56
3,8	670,6	637,9	601,5	555,7	493,2	149,8	95,69
4,0	672,4	640,2	604,8	560,9	504,7	371,0	117,9
8,0	675,4	644,4	610,6	670,4	521,7	446,0	182,7
7,8	682,5	654,0	623,5	589,6	549,6	503,1	371,1
10,0	689,0	662,6	633,9	603,5	568,8	531,2	441,3
12,5	695,0	670,1	643,0	614,8	584,3	551,2	478,4
15,0	700,7	676,8	651,0	624,8	596,9	567,4	504,0
17,5	705,7	682,9	658,4	633,5	607,7	580,6	523,6
20,0	710,5	688,5	665,1	641,5	617,0	591,7	539,6
22,5	715,1	693,6	671,5	648,8	625,5	602,1	553,3
25,0	719,3	698,7	677,1	655,5	633,5	611,2	565,6
27,5	723,3	703,4	682,4	661,5	640,6	619,6	576,2
30,0	727,4	707,8	687,2	667,1	647,5	627,1	585,7
32,5	731,3	712,0	691,9	672,7	653,7	634,1	594,3
35,0	734,9	716,1	696,6	677,5	659,4	640,4	602,3
37,5	738,2	720,3	700,9	682,0	664,4	646,2	609,3
40,0	741,2	723,9	705,1	686,3	669,6	651,7	615,9
42,5	744,3	727,4	709,1	691,0	674,0	656,6	622,0
45,0	747,6	730,8	712,7	694,7	678,1	661,5	627,9
47,5	750,6	733,8	716,1	698,9	682,4	666,2	633,1
50,0	753,4	736,7	719,5	702,5	686,2	670,6	638,4

Таблица 2.70
Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого мета-ксилола [16]

T , К	ρ	T , К	ρ	T , К	ρ
223,15	923,0*	293,15	864,2	363,15	803,3
233,15	914,7	303,15	855,6	373,15	794,4
243,15	906,3	313,15	847,3	383,15	785,5
253,15	897,9	323,15	838,4	393,15	776,5
263,15	889,5	333,15	829,7	403,15	767,6
273,15	881,1	343,15	821,0	413,15	758,6
283,15	872,6	353,15	812,2	—	—

* Переохлажденная жидкость.

Таблица 2.

Значения плотности ρ , кг/м³ пара-ксилола при различных температурах и давлениях [6]

Р, МПа	Плотность при температуре Т, К						
	298,15	323,15	348,15	373,15	398,15	423,15	473,15
0,1	856,0	834,0	813,0	789,5	3,140	2,944	2,772
1,2	857,1	835,2	814,0	790,8	767,8	743,1	689,9
2,0	857,7	836,1	814,9	792,0	768,9	744,4	692,4
2,5	858,0	836,6	815,5	792,5	769,7	745,2	693,6
3,0	858,2	837,1	815,9	793,2	770,4	745,9	695,0
3,5	858,8	837,5	816,5	793,7	771,1	746,8	696,1
4,0	859,4	838,0	816,9	794,2	772,0	747,7	697,3
5,0	861,0	838,9	817,9	795,6	773,2	749,7	699,6
7,5	863,0	841,1	820,0	798,5	770,2	753,5	705,5
10,0	864,9	843,5	822,5	801,0	779,3	757,5	711,1
12,5	867,0	845,8	824,8	803,7	782,4	760,9	715,8
15,0	869,0	848,0	826,9	806,5	785,1	764,1	720,7
17,5	871,0	850,1	829,1	809,1	788,0	767,2	725,4
20,0	872,8	852,3	831,5	811,8	791,0	770,1	729,7
22,5	874,5	854,4	834,2	814,1	793,9	773,2	733,6
25,0	876,1	855,8	836,1	816,3	796,4	776,3	737,3
27,5	877,7	857,4	838,2	818,3	799,1	779,3	741,0
30,0	878,9	859,1	840,1	820,2	801,7	782,2	744,6
32,5	—	860,8	841,8	822,4	804,1	784,9	748,2
35,0	—	862,2	843,5	824,4	806,7	787,5	751,3
37,5	—	864,3	845,3	826,7	809,3	790,0	754,4
40,0	—	866,3	847,1	828,9	811,6	792,8	757,2
42,5	—	868,2	848,6	830,9	813,8	795,2	760,2
45,0	—	869,4	850,1	832,7	815,9	798,0	763,1
47,5	—	870,9	852,0	834,9	818,1	800,3	765,9
50,0	—	872,5	853,9	836,8	820,0	802,3	768,5

Продолжение таблицы 2.71

Р, МПа	Плотность при температуре Т, К						
	498,15	523,15	548,15	573,15	598,15	623,15	673,15
0,1	2,622	2,488	2,368	2,259	2,161	2,070	1,911
1,2	659,1	623,2	36,46	32,95	30,40	28,32	25,15
2,0	661,9	627,5	587,7	70,08	59,66	53,44	45,41
2,5	663,7	630,0	591,1	541,0	87,71	73,63	60,06
3,0	665,3	632,5	594,4	547,1	477,0	101,3	76,74

Окончание таблицы 2.71

$P, \text{ МПа}$	Плотность при температуре $T, \text{ К}$						
	498,15	523,15	548,15	573,15	598,15	623,15	673,15
3,5	667,0	634,5	697,5	553,0	490,0	149,6	96,24
4,0	668,4	636,8	600,6	558,1	500,5	359,2	119,4
5,0	671,5	641,1	606,6	567,7	517,8	445,5	182,1
7,5	679,0	650,9	619,8	586,5	547,1	501,5	369,0
10,0	686,0	659,0	630,9	600,2	567,0	528,5	439,5
12,5	692,1	666,2	640,4	611,8	581,5	548,0	477,0
15,0	698,0	673,3	648,3	622,2	594,6	564,3	502,0
17,5	702,9	679,3	655,7	631,1	605,5	577,9	521,2
20,0	707,9	685,2	662,8	639,1	614,8	589,3	537,4
22,5	712,5	690,8	668,9	646,7	623,2	599,0	551,2
25,0	716,7	696,0	674,9	653,2	630,9	608,1	563,0
27,5	720,9	700,9	680,7	659,1	637,9	615,9	573,5
30,0	724,9	705,5	685,8	664,9	644,7	623,4	583,1
32,5	728,4	709,6	690,5	670,4	650,7	630,1	591,8
35,0	732,1	713,6	695,0	675,5	656,5	636,6	599,5
37,5	735,5	717,4	699,2	680,4	662,1	642,7	606,9
40,0	738,8	721,1	703,1	685,2	667,5	648,3	613,6
42,5	742,2	724,7	707,1	689,1	672,3	653,8	620,0
45,0	745,4	728,2	710,9	710,9	676,8	658,8	625,3
47,5	748,5	731,4	714,6	697,2	680,9	664,0	630,5
50,0	751,4	734,3	718,0	701,2	684,8	668,9	635,8

Таблица 2.72

Значения плотности $\rho, \text{ кг/м}^3$ жидкого пара-ксилола
при различных температурах [16]

$T, \text{ К}$	ρ	$T, \text{ К}$	ρ	$T, \text{ К}$	ρ
283,15	869,7*	333,15	826,2	383,15	781,0
293,15	861,0	343,15	817,3	393,15	771,8
303,15	852,5	353,15	808,3	403,15	762,5
313,15	843,7	363,15	799,3	413,15	753,1
323,15	835,0	373,15	790,2	—	—

* Переохлажденная жидкость.

Значения плотности ρ , кг/м³ этилбензола при различных температурах и давлениях [6]

P , МПа	Плотность при температуре T , К						
	298,15	323,15	348,15	373,15	398,15	423,15	473,15
0,1	862,5	840,6	818,5	794,7	771,0	3,137	2,771
1,2	863,4	841,4	819,6	796,1	772,9	749,9	695,0
2,0	864,0	842,3	820,2	797,1	774,2	751,4	698,0
2,5	864,3	842,6	820,8	797,7	775,0	752,3	699,1
3,0	864,8	843,0	821,2	798,4	775,9	753,2	700,6
3,5	865,2	843,5	821,6	798,9	776,5	754,3	701,9
4,0	865,5	844,0	822,2	799,4	777,3	755,0	703,2
5,0	866,3	844,8	823,1	800,5	778,5	756,6	705,7
7,5	868,1	847,0	825,2	803,4	782,2	760,6	711,4
10,0	869,8	848,9	828,0	806,1	785,1	764,2	717,0
12,5	871,6	851,1	830,2	808,6	788,5	767,9	721,9
15,0	873,2	853,0	832,5	811,2	791,5	771,1	726,5
17,5	875,1	854,9	834,7	813,8	794,2	774,4	731,1
20,0	876,8	856,6	836,8	816,1	796,8	777,4	735,4
22,5	878,4	858,5	838,7	818,3	799,6	780,3	739,4
25,0	879,8	860,4	840,8	820,4	801,9	783,3	743,3
27,5	881,3	861,9	842,6	822,9	804,5	785,9	746,9
30,0	883,0	863,7	844,5	825,2	806,9	788,8	750,5
32,5	884,6	865,7	846,3	827,4	809,3	791,5	754,2
35,0	886,1	867,3	848,3	829,5	811,8	794,2	757,5
37,5	887,4	869,0	850,2	831,6	814,3	796,8	760,6
40,0	888,9	870,7	852,2	833,6	816,7	799,2	763,5
42,5	890,5	872,2	853,8	835,6	818,9	801,6	766,4
45,0	891,9	873,6	855,5	837,5	820,8	803,7	768,9
47,5	893,4	875,1	857,2	839,4	822,7	805,9	771,6
50,0	894,7	876,8	859,1	841,3	824,6	808,0	773,9

Продолжение таблицы 2.73

P , МПа	Плотность при температуре T , К						
	498,15	523,15	548,15	573,15	598,15	623,15	673,15
0,1	2,621	2,486	2,366	2,258	2,293	2,069	1,911
1,2	664,8	628,2	36,25	32,78	30,21	28,19	25,00
2,0	667,8	632,7	592,4	71,02	59,34	53,07	44,96
2,5	669,6	635,6	596,5	548,9	86,95	73,15	59,31
3,0	671,4	638,2	600,2	554,2	485,0	99,50	75,58
3,5	673,2	640,6	603,5	559,1	495,0	142,5	94,30

Окончание таблицы 2.73

$t, \text{°C}$	Плотность при температуре T, K						
	498,15	523,15	548,15	573,15	598,15	623,15	673,15
4,0	674,9	642,7	606,6	564,1	504,5	367,4	116,6
8,0	678,5	647,5	612,8	573,0	522,0	447,5	176,8
12,0	685,4	656,9	625,5	591,1	551,6	505,6	371,3
16,0	692,0	665,6	636,0	605,8	671,5	534,0	441,2
20,0	698,2	672,4	645,2	617,0	587,0	554,1	479,2
24,0	703,9	679,2	653,2	627,1	599,7	570,2	504,9
28,0	709,1	685,4	660,7	636,2	610,2	583,3	524,7
32,0	713,9	691,0	667,6	643,9	619,6	594,3	540,7
36,0	718,9	696,3	673,8	651,2	628,2	604,4	554,1
40,0	723,2	701,5	679,6	657,9	636,0	613,3	565,6
44,0	727,3	706,5	685,0	664,3	643,2	621,5	576,3
48,0	731,1	710,5	690,0	670,1	649,5	628,8	585,8
52,0	734,8	715,0	694,9	675,5	655,9	635,8	594,3
56,0	738,3	719,0	699,5	680,6	661,5	642,0	602,0
60,0	741,8	722,9	704,0	685,5	667,0	648,2	609,0
64,0	745,2	726,4	708,3	690,3	672,4	653,8	615,9
68,0	748,3	730,1	712,1	694,5	677,3	659,2	622,3
72,0	751,5	733,5	715,9	698,7	681,7	664,1	628,2
76,0	754,6	736,9	719,5	702,4	685,9	668,8	633,9
80,0	757,5	740,5	723,0	706,1	689,5	673,3	639,5

Таблица 2.74

Значения плотности $\rho, \text{кг/м}^3$ жидкого этилбензола
при различных температурах [16]

T, K	ρ	T, K	ρ	T, K	ρ
183,15	963,7	263,15	893,2	343,15	822,4
193,15	954,8	273,15	884,5	353,15	813,3
203,15	946,0	283,15	875,8	363,15	804,1
213,15	937,1	293,15	867,0	373,15	794,8
223,15	928,3	303,15	858,3	383,15	785,4
233,15	919,5	313,15	849,5	393,15	775,9
243,15	910,7	323,15	840,5	403,15	766,3
253,15	901,9	333,15	831,5	413,15	756,7

Таблица 2.7

Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого кумола
при различных температурах [16]

T, K	ρ	T, K	ρ	T, K	ρ
273,15	878,6	303,15	853,4	343,15	819,9
283,15	870,2	313,15	845,0	353,15	811,5
293,15	861,8	323,15	836,6	363,15	803,1
298,15	857,5	333,15	828,3		

2.8. Плотность нафтеновых углеводородов при различных температурах и давлениях

Таблица 2.76

Значения плотности ρ , кг/м³ углеводородов — производных
циклопентана при различных температурах [27]

Наименование вещества	T, K						
	263,15	273,15	283,15	293,15	298,15	303,15	313,15
Циклопентан	774,5	764,8	755,1	745,4	740,4	735,6	725,8
Метилциклопентан	776,5	767,2	757,9	748,6	743,9	739,3	730,0
Этилциклопентан	—	—	775,0	766,5	762,2	757,8	749,1
1,1-Диметилциклопентан	—	—	763,6	754,5	749,9	745,3	736,0
цис-1,2-Диметилциклопентан	—	—	781,5	772,6	768,1	763,6	745,5
транс-1,2-Диметилциклопентан	—	—	760,4	751,4	746,9	742,4	733,1
цис-1,3-Диметилциклопентан	—	—	753,8	744,8	740,2	735,7	726,5
транс-1,3-Диметилциклопентан	—	—	757,7	748,8	744,3	739,8	730,7

Таблица 2.77

Значения плотности ρ , кг/м³ циклогексана при различных
температурах и давлениях [11]

T, K	Плотность при давлении P, МПа										
	2,5	5,0	7,5	10	20	30	40	50	60	70	80
298,15	776,1	778,2	780,2	782,2	789,8	796,7	—	—	—	—	—
323,15	752,6	755,1	757,5	759,9	768,7	776,7	783,9	790,7	796,9	802,8	—
348,15	728,7	681,8	734,6	737,4	747,7	756,8	765,0	772,6	779,6	786,0	792,1
373,15	703,6	707,3	710,7	714,1	726,3	736,8	746,0	754,4	762,2	769,3	776,0
398,15	677,3	681,9	686,1	690,3	704,5	716,7	727,3	736,7	745,2	753,0	760,2
423,15	649,1	654,9	660,3	665,2	682,3	696,2	708,3	718,7	728,1	736,6	744,5
448,15	618,2	626,0	632,8	639,1	659,6	675,8	689,3	701,1	711,3	720,6	729,2
473,15	582,7	593,9	599,7	611,4	636,7	655,4	670,8	683,7	695,1	704,9	714,2
498,15	538,6	555,9	569,5	580,8	612,5	634,4	652,0	666,3	678,8	689,6	699,6
523,15	74,02	511,7	532,9	548,2	587,8	613,3	633,2	648,9	662,5	674,5	—
548,15	63,92	445,2	489,4	510,7	562,4	592,4	614,4	632,1	646,8	659,8	—

Окончание таблицы 2.77

Т, К	Плотность при давлении Р, МПа										
	2,5	5,0	7,5	10	20	30	40	50	60	70	80
273,15	56,81	238,9	428,0	468,4	535,8	571,0	595,8	615,2	631,3	645,0	—
298,15	51,75	148,1	343,3	489,4	509,0	549,9	577,6	598,5	616,1	—	—
323,15	47,95	122,7	254,1	333,9	480,9	528,5	559,2	582,3	601,1	—	—
348,15	45,16	107,8	201,9	301,3	452,3	507,0	541,0	566,5	586,6	—	—
373,15	42,81	98,24	171,7	254,9	424,2	485,6	523,5	550,8	—	—	—
398,15	41,10	90,49	151,7	221,5	395,5	464,7	506,1	535,4	—	—	—

Таблица 2.78

Значения плотности ρ , кг/м³ циклогексена при различных температурах и давлениях [22, 23]

Т, К	Плотность при давлении Р, МПа						
	0,101	5,006	9,911	14,82	19,72	24,63	29,53
283,15	823,0	828,8	828,4	831,0	833,5	836,1	838,5
293,15	813,1	816,0	818,8	821,6	824,4	827,1	829,9
298,15	807,5	810,7	813,8	816,8	819,8	822,6	825,4
323,15	783,6	787,2	790,8	794,2	797,7	801,0	804,0
348,15	758,6	762,9	767,3	771,4	775,2	778,9	782,2
373,15	—	738,0	743,2	748,2	752,9	757,2	761,3
398,15	—	712,7	719,1	724,9	730,4	735,5	740,4
423,15	—	687,3	694,7	701,6	708,0	713,8	719,1
448,15	—	662,6	670,6	678,4	685,6	692,2	698,3
473,15	—	637,1	646,6	655,4	663,4	670,7	677,3
498,15	—	611,2	621,9	631,8	640,9	648,9	656,3
523,15	—	585,1	597,5	608,5	618,4	627,2	635,0
533,15	—	573,8	588,0	599,4	609,6	618,6	626,8

Окончание таблицы 2.77

Т, К	Плотность при давлении Р, МПа						
	34,44	39,34	44,25	49,15	54,06	58,96	68,77
283,15	841,1	843,5	845,7	847,7	849,5	851,2	854,2
293,15	832,5	834,9	837,2	839,3	841,3	843,3	846,8
298,15	828,0	830,5	832,9	835,0	837,0	839,1	842,7
323,15	807,0	810,0	812,8	815,4	818,0	820,5	824,9
348,15	785,8	789,2	792,4	795,5	798,4	801,2	806,4
373,15	765,2	768,9	772,5	775,9	779,0	782,0	787,8
398,15	745,0	749,2	753,1	756,6	760,0	763,2	768,9
423,15	724,2	728,8	733,3	737,4	741,1	744,5	750,0
448,15	704,0	709,0	713,8	718,2	721,9	725,2	731,0
473,15	683,4	689,0	694,0	698,9	703,0	706,7	712,9
498,15	663,0	669,1	674,6	679,5	683,9	688,0	694,9
523,15	642,2	648,7	654,7	660,1	665,0	669,6	677,9
533,15	634,2	641,0	647,0	652,4	657,5	662,2	670,9

Таблица 2.

Значения плотности ρ , кг/м³ метилциклогексана
при различных температурах и давлениях [22, 24]

T, К	Плотность при давлении P, МПа						
	5,01	9,91	14,82	19,72	24,63	29,53	34,44
283,15	781,4	784,5	787,6	790,6	793,5	796,5	799,2
286,95	778,3	781,6	784,9	788,0	791,1	794,0	796,7
293,15	773,1	776,8	780,2	783,4	786,6	789,6	792,5
298,15	768,9	772,6	776,4	779,9	783,1	786,2	789,4
323,15	748,3	752,6	756,8	760,7	764,6	768,0	771,4
348,15	727,1	732,6	737,5	742,0	746,4	750,3	754,2
373,15	705,6	711,9	717,5	722,5	727,3	732,1	736,4
398,18	682,1	689,8	696,5	702,8	708,6	714,0	719,0
423,17	658,3	667,8	676,0	683,3	690,0	696,2	701,8
448,17	633,0	644,8	654,8	663,8	671,3	678,0	684,2
473,18	605,5	620,3	632,4	642,5	651,4	659,4	666,5
498,15	575,4	594,6	609,5	621,7	632,0	641,1	649,3
523,15	540,5	566,4	585,4	599,8	611,6	622,0	631,5
548,15	497,2	536,5	560,0	577,6	591,6	603,3	613,6
558,13	477,4	523,0	549,8	568,0	583,1	595,8	606,5
563,15	765,0	516,6	544,0	563,7	578,7	591,5	602,3
568,15	452,0	509,1	538,1	558,6	574,6	587,8	599,0
573,15	439,3	501,7	533,1	554,1	570,7	584,0	595,6
608,15	324,5	464,3	504,8	530,2	549,4	565,3	578,1
623,15	193,5	422,4	475,8	506,3	529,3	546,0	560,0

Продолжение таблицы 2.79

T, К	Плотность при давлении P, МПа						
	39,34	44,25	49,15	54,06	58,96	63,87	68,77
283,15	801,9	804,4	807,0	809,4	811,6	813,8	815,7
286,95	799,3	801,9	804,2	806,6	808,9	811,0	813,2
293,15	795,4	798,2	800,9	803,3	805,7	808,0	810,3
298,15	792,3	795,2	797,8	800,3	802,8	805,2	807,5
323,15	774,6	777,8	780,8	783,7	786,6	789,4	792,1
348,15	757,7	761,3	764,6	767,8	771,1	774,0	776,8
373,15	740,6	744,8	748,6	752,2	755,6	758,8	761,8

Окончание таблицы 2.79

T, K	Плотность при давлении P, МПа						
	39,34	44,25	49,15	54,06	58,96	63,87	68,77
398,18	723,5	728,0	732,2	736,2	740,0	743,5	746,8
423,17	707,1	711,9	716,4	720,7	724,6	728,4	731,8
448,17	690,0	695,2	700,1	704,7	709,1	713,2	717,0
473,18	672,9	678,8	684,6	690,0	694,9	699,8	703,8
498,15	656,6	663,5	669,7	675,4	680,8	685,7	690,2
523,15	640,0	647,3	654,0	660,2	666,2	671,6	676,8
548,15	621,8	631,2	638,8	645,7	652,0	658,0	663,4
558,13	615,9	624,8	632,8	639,9	646,3	652,2	657,8
563,15	612,2	621,5	629,7	636,7	643,4	649,6	655,2
568,15	609,2	618,5	626,8	633,9	640,5	646,7	652,5
573,15	605,9	615,3	623,8	631,0	637,6	643,9	649,8
608,15	589,3	599,1	608,0	616,0	623,3	630,0	636,3
623,15	572,8	583,8	593,6	602,4	610,4	617,7	624,2

Таблица 2.80

Значения плотности ρ , кг/м³ жидкого метилциклогексана
на линии насыщения [24]

T, K	P, МПа	ρ	T, K	P, МПа	ρ
383,15	0,1298	688,6	483,15	1,012	575,9
393,15	0,1682	678,9	493,15	1,186	561,6
403,15	0,2146	664,9	503,15	1,383	546,4
413,15	0,2704	658,6	513,15	1,603	530,0
423,15	0,3362	647,8	523,15	1,848	511,8
433,15	0,4134	637,3	533,15	2,120	494,3
443,15	0,5014	623,8	543,15	2,421	473,9
453,15	0,6047	614,1	553,15	2,752	444,0
463,15	0,7233	601,7	563,15	3,116	402,0
473,15	0,8580	589,1			

2.9. Плотность газовых конденсатов и их фракций при различных температурах и давлениях

Таблица 2.81
Значения плотности ρ , кг/м³ газового конденсата Вуктыльского
месторождения при различных температурах и давлениях

T, К	Плотность при давлении P, Мпа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	790,6	791,1	792,8	794,9	797,0	799,2	801,2	803,2	805,2	807,0	808,9	810,8	812,5	814,2
230	781,9	782,7	784,6	787,0	789,4	791,7	794,1	796,2	798,2	800,2	802,2	804,2	806,1	807,8
240	773,2	774,2	776,4	778,9	781,5	784,0	786,5	788,8	791,0	793,2	795,3	797,4	799,4	801,2
250	764,5	765,4	767,8	770,7	773,5	776,2	778,8	781,3	783,8	786,1	788,5	790,8	792,9	794,8
260	755,8	756,4	759,0	762,1	765,3	768,2	771,2	774,1	776,8	779,4	781,9	784,2	786,4	788,5
270	747,1	748,0	750,8	754,2	757,2	760,6	763,7	766,6	769,4	772,0	774,6	777,2	779,6	782,0
280	738,4	739,2	742,3	746,0	749,5	752,9	756,0	759,1	761,9	764,8	767,4	770,1	772,5	774,9
290	729,7	730,5	733,9	737,9	741,6	745,2	748,6	751,8	754,9	757,8	760,5	763,3	765,9	768,4
300	721,0	721,9	725,5	729,7	733,7	737,6	741,2	744,7	747,8	750,9	753,8	756,5	759,1	761,8
310	—	713,2	717,0	721,7	726,1	730,2	734,0	737,5	740,7	743,8	746,9	750,0	753,0	759,9
320	—	704,4	708,5	713,5	718,2	722,5	726,6	730,4	733,9	737,2	740,3	743,4	746,4	749,4
330	—	795,6	700,1	705,5	710,5	715,1	719,3	723,2	726,9	730,4	733,8	737,0	740,2	743,1
340	—	—	691,5	697,0	692,4	707,4	711,9	716,1	719,9	723,6	727,1	730,4	733,7	737,0
350	—	—	682,9	689,1	694,2	700,0	704,9	709,3	713,2	717,0	720,6	724,1	727,5	730,8
360	—	—	674,0	680,8	687,0	692,6	697,8	702,2	706,5	710,5	714,3	718,0	721,4	724,7
370	—	—	665,0	672,4	678,9	684,8	690,1	695,0	699,3	703,5	707,4	711,3	715,1	718,7
380	—	—	656,1	663,9	671,1	677,6	683,2	688,2	692,7	697,0	701,2	705,2	709,0	712,8
390	—	—	647,0	655,4	663,1	669,8	675,8	681,1	685,9	690,4	694,8	699,0	703,0	706,9
400	—	—	638,0	647,1	655,3	662,5	668,8	674,4	679,5	684,1	688,6	692,9	697,0	701,2
410	—	—	629,1	638,6	647,1	654,7	661,3	667,3	672,6	677,6	682,4	686,9	691,4	695,6
420	—	—	620,0	630,0	639,0	647,1	654,1	660,2	665,9	671,3	676,3	680,9	685,5	690,0
430	—	—	610,8	621,4	630,6	639,7	647,1	653,5	659,2	664,6	669,9	675,0	679,8	684,5
440	—	—	—	612,5	623,1	632,0	639,8	646,5	652,6	658,4	663,8	669,0	674,2	679,1
450	—	—	—	603,9	614,7	624,1	632,4	639,7	646,0	652,1	657,8	663,4	668,7	673,9
460	—	—	—	595,2	606,5	616,7	621,8	632,8	639,5	645,8	651,5	657,5	663,1	668,5
470	—	—	—	586,8	598,6	608,9	613,8	624,3	630,3	639,7	646,0	652,1	657,8	663,4

Таблица 2.82

**Значения плотности ρ , кг/м³ фракции н.к.–60°С газового конденсата
Вуктыльского месторождения при различных
температурах и давлениях**

Т, К	Плотность при давлении Р, Мпа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	722,2	722,7	724,7	727,3	729,7	732,1	734,3	736,4	738,3	740,2	742,0	743,7	745,3	746,8
230	713,0	713,6	715,9	718,7	721,4	724,1	726,6	729,0	731,2	733,3	735,3	737,2	739,0	740,6
240	703,8	704,4	707,1	710,4	713,4	716,3	719,0	721,5	723,9	726,2	728,5	730,7	732,6	734,5
250	697,6	695,6	698,4	701,9	705,3	708,4	711,4	714,2	716,9	719,5	721,8	724,1	726,2	728,3
260	685,4	686,3	689,5	693,5	696,9	700,5	703,7	706,9	709,7	712,5	715,1	717,6	719,9	722,1
270	676,2	677,2	680,7	684,9	689,0	692,7	696,2	699,6	702,6	705,6	708,5	711,1	713,5	715,9
280	667,0	667,5	671,7	676,6	680,9	685,0	688,7	692,1	695,3	698,6	701,6	704,5	707,0	709,6
290	658,3	659,1	663,2	668,1	672,7	677,0	681,1	684,9	688,4	691,7	694,8	697,9	700,6	703,4
300	—	—	654,1	659,5	664,5	669,2	673,5	677,6	681,3	685,0	688,3	691,5	694,3	697,1
310	—	—	644,8	650,8	656,2	661,3	665,8	670,1	674,1	677,9	681,5	684,8	688,0	691,0
320	—	—	635,3	641,7	647,7	653,3	658,0	662,5	666,7	670,8	674,5	678,2	681,5	684,8
330	—	—	625,8	632,6	639,0	644,9	650,3	655,1	659,7	664,0	668,0	671,7	675,1	678,5
340	—	—	616,0	623,4	630,3	636,6	642,6	647,9	652,6	657,1	661,2	665,1	668,8	672,3
350	—	—	606,0	614,0	621,5	628,4	634,6	640,3	645,4	650,1	654,4	658,5	662,4	666,2
360	—	—	595,7	604,4	612,5	620,1	626,4	632,7	638,0	643,0	647,6	651,9	656,0	659,9
370	—	—	585,2	594,9	603,6	611,5	618,4	624,8	630,6	635,8	640,7	645,3	649,4	653,7
380	—	—	574,4	584,9	594,4	602,9	610,5	617,2	623,2	628,8	633,9	638,7	643,0	647,5
390	—	—	563,2	574,8	585,1	594,1	602,1	609,4	615,7	621,6	627,0	632,0	636,6	641,2
400	—	—	551,5	564,5	575,5	585,1	593,5	601,0	608,1	614,3	620,0	625,4	630,3	635,0
410	—	—	539,3	553,3	565,4	575,8	584,9	593,1	600,4	607,1	612,9	618,5	623,7	628,8
420	—	—	527,1	542,3	555,2	566,5	576,2	585,1	592,7	599,7	606,2	612,0	617,3	622,5
430	—	—	514,9	530,8	544,3	557,1	567,7	576,8	584,3	592,3	599,0	605,3	611,0	616,3
440	—	—	502,3	519,3	534,2	547,5	558,3	568,4	576,8	584,6	591,7	598,3	604,2	610,1
450	—	—	489,7	508,0	524,0	537,9	549,5	559,7	568,6	576,8	584,5	591,5	598,8	603,8
460	—	—	—	495,5	513,2	528,0	540,2	550,8	560,3	569,1	577,0	584,5	591,4	597,7
470	—	—	—	483,6	502,7	518,3	531,0	542,1	552,0	561,3	569,8	577,7	584,8	591,4

Таблица 2.83

**Значения плотности ρ , кг/м³ фракции 60–95°С газового конденсата
Вуктыльского месторождения при различных
температурах и давлениях**

Т, К	Плотность при давлении Р, Мпа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	767,6	768,0	769,7	771,7	773,7	775,7	777,5	779,4	781,2	782,9	784,6	786,1	787,7	789,2
230	758,5	758,9	760,9	763,3	765,5	767,7	769,8	771,8	773,9	775,8	777,6	779,3	781,0	782,7
240	749,4	749,8	752,0	754,7	757,1	759,6	762,0	764,3	766,4	768,5	770,5	772,4	774,2	776,1
250	740,3	740,8	743,2	746,1	749,0	751,6	754,2	756,7	759,1	761,4	763,5	765,5	766,8	769,6
260	731,2	731,8	734,5	737,6	740,7	743,6	746,3	749,0	751,5	754,0	756,3	758,5	760,8	763,1

T, K	Плотность при давлении P, Мпа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
270	722,1	722,8	725,7	729,1	732,4	735,6	738,6	741,4	744,1	746,8	749,4	751,8	754,2	756,8
280	713,0	713,7	716,9	720,6	723,7	727,6	730,7	733,8	736,8	739,7	742,3	744,9	747,4	750,0
290	703,9	704,7	708,1	712,1	715,9	719,5	723,0	726,3	729,3	732,4	735,3	738,2	740,9	743,1
300	694,8	695,7	699,4	703,6	707,6	711,4	715,2	718,8	722,1	725,3	728,2	731,2	734,1	737,0
310	685,7	686,6	690,6	695,1	699,4	703,5	707,3	710,9	714,6	718,0	721,3	724,4	727,3	730,0
320	676,6	677,6	681,8	686,7	691,0	695,4	699,5	703,5	707,3	710,8	714,2	717,5	720,7	723,9
330	—	669,0	673,1	678,1	682,8	687,2	691,5	695,7	699,8	703,6	707,2	710,6	714,0	717,4
340	—	—	664,5	669,6	674,6	679,2	683,8	688,1	692,4	696,5	700,3	704,0	707,5	710,9
350	—	—	655,5	661,0	666,3	671,3	676,1	680,7	685,2	689,5	693,5	697,4	701,1	704,7
360	—	—	646,0	652,0	658,0	663,2	668,3	673,3	678,0	682,6	686,9	690,9	694,8	698,5
370	—	—	636,3	643,1	649,3	655,0	660,5	665,8	670,8	675,7	680,1	684,4	688,5	692,3
380	—	—	626,2	633,8	640,7	647,0	653,9	658,5	663,7	668,7	673,3	677,8	682,0	686,2
390	—	—	615,6	624,4	632,2	638,9	645,1	650,9	656,6	662,0	666,8	671,5	675,8	680,0
400	—	—	605,3	615,0	623,6	631,0	637,6	643,9	649,8	655,4	660,5	665,3	669,8	674,1
410	—	—	594,7	605,2	614,1	622,7	630,0	636,7	642,9	648,7	654,1	659,1	663,8	668,1
420	—	—	583,8	595,7	605,9	614,7	622,5	629,5	636,1	642,2	647,7	652,9	657,6	662,3
430	—	—	—	585,8	597,1	606,8	615,0	622,5	629,2	635,6	641,5	646,8	651,2	656,5
440	—	—	—	575,6	588,0	598,7	607,4	615,2	622,4	629,1	635,3	640,9	646,0	650,7
450	—	—	—	565,6	579,5	590,6	599,6	607,9	615,6	622,6	629,0	634,9	640,2	645,0
460	—	—	—	555,6	570,5	582,6	592,1	600,9	608,9	616,3	622,9	628,9	634,5	639,5
470	—	—	—	545,7	561,0	574,0	584,5	593,6	602,1	609,7	616,7	623,0	628,7	633,9

Таблица 2.84

Значения плотности ρ , кг/м³ фракции 95–122°С газового конденсата
Вуктыльского месторождения при различных
температурах и давлениях

T, K	Плотность при давлении P, Мпа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	797,7	798,0	799,6	801,6	803,5	805,4	807,3	809,2	811,2	813,2	815,1	817,0	819,0	820,9
230	789,2	789,6	791,3	793,6	795,8	798,0	800,1	802,2	804,3	806,4	808,4	810,6	812,6	814,6
240	780,7	781,0	783,0	785,6	788,2	790,6	792,9	795,3	797,5	799,7	801,9	804,0	805,9	807,8
250	772,2	772,4	774,7	777,5	780,3	783,1	785,7	788,1	790,5	792,8	795,2	797,4	799,5	801,5
260	763,7	764,1	766,6	769,5	772,5	775,4	778,4	781,0	783,5	786,0	788,3	790,7	792,8	794,9
270	755,5	755,6	758,4	761,8	765,0	768,1	771,1	774,0	776,6	779,1	781,5	784,0	786,1	788,2
280	747,0	747,2	750,1	753,7	757,3	760,6	763,8	766,8	769,5	772,1	774,7	777,2	779,6	782,0
290	738,5	738,6	741,8	745,7	749,4	753,1	756,5	759,6	762,6	765,5	768,1	780,7	773,0	775,4
300	730,0	730,4	733,7	737,8	741,8	745,6	749,8	752,6	755,7	758,6	761,4	764,2	766,7	769,2

Окончание таблицы 2.84

Т, К	Плотность при давлении Р, Мпа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
110	721,5	722,0	725,6	730,0	734,3	738,2	742,0	745,7	748,9	752,1	754,5	757,7	760,3	762,8
120	713,0	713,6	717,3	721,9	726,3	730,6	734,7	738,4	741,9	745,1	748,2	751,1	753,9	756,5
130	704,5	705,1	709,0	713,9	718,6	723,0	727,2	731,2	734,9	738,3	741,5	744,7	747,5	750,2
140	696,0	696,6	700,9	706,1	710,9	715,6	719,6	724,0	727,8	731,5	734,9	738,1	741,2	744,1
150	687,5	687,9	692,4	698,0	703,3	708,3	712,9	717,0	721,0	724,7	728,4	731,8	735,0	738,1
160	—	—	683,7	689,7	695,4	700,8	705,6	710,0	714,2	718,0	721,7	725,2	728,4	731,7
170	—	—	674,9	681,5	687,6	693,1	698,0	702,8	707,1	711,2	714,0	718,6	722,1	725,5
180	—	—	665,8	672,8	679,4	685,4	690,7	695,7	700,2	704,3	708,3	712,2	716,4	719,6
190	—	—	656,4	664,2	671,1	677,5	683,3	688,5	693,3	697,6	701,8	705,9	709,8	713,6
200	—	—	646,9	655,3	663,1	669,9	675,9	681,3	686,3	690,9	695,1	699,5	703,6	707,7
210	—	—	636,5	646,3	654,8	662,2	668,6	674,3	679,4	684,4	688,9	693,5	697,6	701,8
220	—	—	626,3	637,3	646,5	654,4	661,2	667,3	672,4	677,3	681,9	686,5	691,1	695,8
230	—	—	615,7	628,1	638,1	646,7	653,8	660,0	665,4	670,3	675,6	680,6	685,5	690,1
240	—	—	605,3	618,8	629,6	638,7	646,1	652,6	658,3	663,8	669,0	674,2	679,3	684,2
250	—	—	594,6	609,7	621,3	630,9	638,8	645,7	651,7	657,2	662,8	668,0	673,2	678,4
260	—	—	—	599,6	611,8	622,9	631,4	638,5	644,9	650,6	656,3	661,9	667,3	671,4
270	—	—	—	589,3	602,9	614,0	623,3	631,0	637,7	643,9	650,1	655,7	661,4	666,7

Таблица 2.85

Значения плотности ρ , кг/м³ фракции 122–150°С газового конденсата
Вуктыльского месторождения при различных
температурах и давлениях

Т, К	Плотность при давлении Р, Мпа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	813,4	813,6	815,1	816,8	818,5	820,1	821,6	823,1	824,5	825,9	827,2	828,6	829,7	830,9
230	805,1	805,4	807,0	809,0	811,0	812,8	814,6	816,3	817,9	819,6	821,1	822,5	823,8	825,1
240	796,8	797,2	799,2	801,4	803,6	805,6	807,7	809,5	811,3	813,2	814,8	816,4	817,9	819,2
250	788,6	789,1	791,2	793,8	796,2	798,4	800,6	802,7	804,7	806,6	808,5	810,4	812,1	813,5
260	780,3	780,9	783,2	786,0	788,7	791,2	793,7	796,0	798,2	800,2	802,2	804,1	805,8	807,5
270	772,1	772,7	775,3	778,3	781,3	784,1	786,7	789,2	791,6	793,8	796,0	798,0	800,0	801,7
280	763,8	764,5	767,3	770,7	773,9	776,9	779,8	782,3	784,9	787,3	789,7	791,9	794,0	795,9
290	755,6	756,4	759,3	762,9	766,3	769,6	772,6	775,6	778,3	780,9	783,5	785,8	787,9	790,0
300	747,3	748,1	751,4	755,2	758,9	762,4	765,6	768,7	771,6	774,5	777,1	779,6	781,9	784,1
310	739,0	739,8	743,3	747,4	751,3	755,1	758,5	761,8	765,0	768,0	770,8	773,5	776,0	778,3
320	730,7	731,8	735,4	739,7	743,9	747,9	751,6	755,1	758,3	761,5	764,5	767,3	769,9	772,5
330	722,4	723,5	727,4	732,0	736,5	740,6	744,6	748,2	751,7	755,1	758,2	761,1	763,9	766,5
340	714,2	715,3	719,4	724,5	729,1	733,7	737,7	741,4	745,0	748,5	751,8	755,1	758,0	760,7

Т, К	Плотность при давлении Р, Мпа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
350	706,0	707,1	711,4	716,6	721,4	726,0	730,3	734,6	738,4	742,1	745,6	748,9	751,0	754,6
360	697,7	699,0	703,5	709,0	714,2	719,0	723,5	727,8	731,8	735,7	739,4	742,8	746,0	749,1
370	689,4	690,7	695,7	701,5	707,0	712,1	716,7	721,0	725,3	729,3	733,1	736,7	739,9	743,1
380	681,2	682,3	687,4	693,6	699,3	704,6	709,4	714,2	718,5	722,7	726,7	730,5	734,1	737,3
390	—	—	679,3	685,6	691,6	697,1	702,3	707,3	711,9	716,4	720,5	714,4	728,0	731,9
400	—	—	671,1	677,9	684,2	690,0	695,4	700,5	705,3	709,7	714,1	718,2	722,1	725,7
410	—	—	662,9	670,0	676,5	682,6	688,3	693,7	698,7	703,3	707,7	712,1	716,1	719,8
420	—	—	654,7	662,2	669,1	675,6	681,5	686,9	692,0	696,8	701,5	705,9	710,0	714,0
430	—	—	646,3	654,2	661,6	668,5	674,5	680,0	685,3	690,4	695,3	699,9	704,2	708,1
440	—	—	637,9	646,3	654,1	661,0	667,2	673,2	678,5	683,8	688,9	693,7	698,1	702,3
450	—	—	629,2	638,3	646,3	653,7	660,2	666,3	671,9	677,3	682,5	687,5	692,1	696,3
460	—	—	620,5	630,3	638,8	646,5	653,4	659,5	665,3	670,8	676,2	681,3	685,9	690,4
470	—	—	611,6	622,2	631,2	639,1	646,2	652,7	658,9	664,3	669,9	675,0	679,9	684,6

Таблица 2.86

Значения плотности ρ , кг/м³ фракции 150–175°С газового конденсата
Вуктыльского месторождения при различных
температурах и давлениях

Т, К	Плотность при давлении Р, МПа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	818,4	818,8	820,7	822,8	825,0	827,1	829,0	830,9	832,6	834,3	835,9	837,4	838,8	840,1
230	810,6	811,1	813,2	815,7	818,0	820,3	822,4	824,4	826,2	828,0	829,7	831,4	833,0	834,6
240	802,9	803,4	805,7	808,4	811,0	813,5	815,9	818,0	820,1	821,9	823,8	825,7	827,3	829,0
250	795,1	795,8	798,4	801,3	804,1	806,7	809,3	811,7	813,9	816,0	817,9	819,9	821,7	823,4
260	787,4	788,1	790,8	794,0	796,9	799,8	802,5	805,1	807,4	809,6	811,8	813,9	815,8	817,7
270	779,6	780,4	783,2	786,6	789,8	792,9	795,8	798,6	801,1	803,5	805,8	808,1	810,4	812,2
280	771,9	772,7	775,8	779,3	782,7	786,1	789,1	792,1	794,8	797,3	799,7	802,2	804,4	806,6
290	764,2	764,9	768,2	772,1	775,8	779,3	782,4	785,5	788,3	791,1	793,7	796,3	798,8	801,1
300	756,4	757,1	760,6	764,8	768,6	772,4	775,8	779,1	782,2	785,0	787,8	790,5	793,1	795,5
310	748,7	749,6	753,3	757,6	761,6	765,5	769,1	772,6	775,8	778,8	781,8	784,7	787,2	789,9
320	740,9	741,8	745,8	750,4	754,7	758,7	762,5	766,2	769,5	772,7	775,9	778,9	781,7	784,3
330	733,2	734,2	738,4	743,2	747,7	751,9	755,8	759,6	763,1	766,5	769,7	772,9	775,9	778,7
340	725,4	726,3	730,8	736,0	740,7	745,1	749,3	753,3	757,0	760,5	763,8	767,1	770,2	773,1
350	717,6	718,5	723,2	728,7	733,7	738,3	742,7	746,8	750,7	754,4	757,9	761,3	764,6	767,6
360	709,9	710,8	715,8	721,3	726,5	731,4	736,1	740,4	744,4	748,2	751,9	755,5	758,8	762,0
370	702,1	703,1	708,2	714,1	719,4	724,4	729,2	733,8	738,0	742,1	745,8	749,6	753,1	756,5
380	694,4	695,5	700,8	706,7	712,4	717,6	722,6	727,2	731,7	736,0	739,8	743,7	747,4	751,0

Окончание таблицы 2.86

t, К	Плотность при давлении P, МПа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
390	686,6	687,7	693,3	699,5	705,4	710,9	716,0	720,7	725,3	729,8	733,9	737,9	741,8	745,4
400	678,9	680,1	685,7	692,3	698,3	703,9	709,2	714,2	718,9	723,6	728,0	732,1	736,1	739,9
410	671,1	672,5	678,3	685,1	691,4	697,2	702,7	707,8	712,6	717,3	721,8	726,1	730,3	734,3
420	—	664,6	670,8	677,9	684,2	690,3	695,8	701,2	706,4	711,3	716,0	720,3	724,5	728,7
430	—	—	663,3	670,6	677,2	683,4	689,3	694,8	700,0	705,0	709,7	714,3	718,6	723,0
440	—	—	655,8	663,1	670,0	676,4	682,5	688,2	693,7	698,9	703,9	708,7	713,2	717,4
450	—	—	648,2	655,8	663,0	669,6	676,0	681,8	687,2	692,7	697,8	702,8	707,5	711,9
460	—	—	640,9	648,6	655,9	662,8	669,2	675,2	680,4	686,5	691,8	697,0	701,7	706,0
470	—	—	633,2	641,4	649,0	656,1	660,1	668,8	674,8	680,5	685,9	691,1	696,0	700,5

Таблица 2.87

Значения плотности ρ , кг/м³ фракции 175–200°C газового конденсата
Вуктыльского месторождения при различных
температурах и давлениях

t, К	Плотность при давлении P, МПа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
320	830,3	830,6	831,9	833,5	835,1	836,6	837,9	839,2	840,4	841,6	842,8	844,0	845,0	846,0
330	822,8	823,2	824,7	826,5	828,2	829,9	831,5	832,9	834,4	835,8	837,1	838,4	839,5	840,5
340	815,3	815,8	817,4	819,5	821,5	823,4	825,1	826,7	828,2	829,7	831,2	832,6	833,8	835,1
350	807,8	808,4	810,2	812,4	814,5	815,5	818,4	820,2	822,0	823,7	825,4	827,0	828,3	829,7
360	800,3	800,9	802,9	805,3	807,6	809,9	812,0	814,0	815,9	817,7	819,5	821,3	822,8	824,3
370	792,8	793,5	795,6	798,3	800,8	803,3	805,5	807,6	809,6	811,7	813,6	815,4	817,1	818,8
380	785,3	786,1	788,4	791,2	793,9	796,5	798,9	801,2	803,4	805,6	807,7	809,6	811,4	813,3
390	777,8	778,6	781,1	784,2	787,1	789,9	792,5	795,0	797,3	799,7	801,9	804,1	806,0	807,9
400	770,3	771,1	773,9	777,2	780,3	783,3	786,0	788,6	791,1	793,6	796,0	798,3	800,4	802,5
410	762,8	763,8	766,7	770,2	773,5	776,6	779,5	782,4	785,0	787,6	790,2	792,6	794,8	797,0
420	755,3	756,2	759,4	763,2	766,7	770,0	773,1	776,1	778,9	781,7	784,4	786,9	789,2	791,5
430	747,8	748,8	752,2	756,1	759,9	763,4	766,7	769,8	772,0	775,7	778,4	781,2	783,7	786,1
440	740,3	741,3	744,9	749,1	753,0	756,7	760,1	763,5	766,6	769,7	772,7	775,5	778,2	780,7
450	732,8	733,9	737,6	742,0	746,2	750,0	753,7	757,1	760,6	763,8	766,8	769,7	772,5	775,3
460	725,3	726,4	730,2	734,8	739,0	743,2	747,0	750,7	754,3	757,7	760,9	764,0	766,9	769,7
470	717,8	718,9	723,0	727,8	732,3	736,6	740,6	744,5	748,1	751,7	755,1	758,4	761,4	764,3
480	710,3	711,6	715,7	720,7	725,5	729,9	734,1	738,1	742,0	745,8	749,3	752,7	755,9	758,8
490	702,8	704,2	708,5	713,6	718,6	723,3	727,6	731,8	735,9	739,8	743,5	747,0	750,2	753,5
400	695,3	696,6	701,2	706,6	711,8	716,6	721,2	725,6	729,7	733,8	737,6	741,3	744,7	748,0
410	687,8	689,2	694,0	699,5	704,8	709,8	714,5	719,2	723,6	727,7	731,8	735,5	739,1	742,5
420	680,3	681,7	686,7	692,5	698,0	703,2	708,1	712,8	717,4	721,8	725,9	729,9	733,5	737,0

Окончание таблицы 2.87

Т, К	Плотность при давлении Р, МПа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
430	673,3	674,5	679,4	685,4	691,1	696,4	701,5	706,5	711,1	715,7	720,1	724,2	728,0	731,5
440	—	—	672,2	678,3	684,3	689,7	695,1	700,1	705,0	709,7	714,2	718,4	722,4	726,1
450	—	—	665,0	671,3	677,4	683,2	688,6	693,9	698,9	703,8	708,4	712,7	716,7	720,7
460	—	—	657,7	664,3	670,5	676,3	682,0	687,5	692,6	696,7	702,5	706,9	711,2	715,2
470	—	—	650,4	657,1	663,6	669,7	676,0	681,1	686,5	691,6	696,6	701,1	705,5	709,7

Таблица 2.88

Значения плотности ρ , кг/м³ фракции 200–к.к. газового конденсата
Вуктыльского месторождения при различных
температурах и давлениях

Т, К	Плотность при давлении Р, МПа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
290	817,2	817,6	819,0	820,8	822,5	824,4	826,0	827,6	829,2	830,7	832,3	833,8	835,2	836,4
300	810,0	810,3	812,0	814,0	815,8	817,9	819,7	821,6	823,4	825,2	826,8	828,4	829,8	831,2
310	802,8	802,9	804,8	807,0	809,2	811,5	813,5	815,6	817,5	819,4	821,2	823,0	824,5	826,0
320	795,6	795,7	797,8	800,3	802,7	805,0	807,2	809,4	811,6	813,7	815,6	817,4	819,0	820,8
330	788,4	788,6	790,9	793,5	796,1	798,6	801,1	803,4	805,7	807,9	810,0	812,0	813,9	815,6
340	781,2	781,5	784,0	786,9	789,7	792,4	795,0	797,5	800,4	802,3	804,5	806,5	808,4	810,3
350	774,0	774,3	776,8	780,0	783,0	786,0	788,8	791,4	794,0	796,5	798,5	801,2	803,2	805,2
360	766,8	767,2	770,0	773,2	776,4	779,5	782,4	785,4	788,1	790,8	793,3	795,6	794,9	800,0
370	759,6	760,0	762,9	766,4	769,8	773,2	776,3	779,3	782,2	785,1	787,7	790,1	792,3	794,7
380	752,4	752,8	755,9	759,6	763,2	766,8	770,0	773,3	776,3	779,3	782,1	784,7	787,2	789,5
390	745,2	745,8	749,0	752,9	756,8	760,5	764,1	767,3	770,5	773,6	776,5	779,3	781,9	784,4
400	738,0	738,6	742,0	746,1	750,1	754,0	757,7	761,3	764,7	768,0	771,0	773,9	776,5	779,2
410	730,8	731,4	735,1	739,5	743,7	747,8	751,6	755,4	759,0	762,3	765,6	768,6	770,9	774,1
420	723,6	724,2	728,0	732,6	737,0	741,3	745,3	749,1	752,9	756,4	759,8	763,1	766,0	768,9
430	716,4	717,0	721,1	725,9	730,6	735,0	739,2	743,3	747,1	750,8	754,3	757,6	760,8	763,7
440	709,2	709,8	714,1	719,1	724,0	728,5	732,9	737,0	741,2	745,1	748,7	752,1	755,4	758,5
450	701,5	702,7	707,1	712,3	717,4	722,1	726,8	731,1	735,4	739,4	743,2	746,8	750,0	753,2
460	—	—	700,1	705,5	710,7	715,7	720,6	725,2	729,5	733,7	737,7	741,4	744,8	748,1
470	—	—	693,1	698,8	702,1	709,4	714,4	719,1	723,6	727,8	732,0	735,8	739,3	742,9

Таблица 2.89

Значения плотности ρ , кг/м³ газового конденсата Оренбургского
месторождения при различных температурах и давлениях

Т, К	Плотность при давлении Р, МПа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	757,2	757,7	760,1	763,0	765,8	768,6	771,3	773,6	775,8	778,2	780,4	782,7	784,5	786,4
230	750,2	750,8	753,3	756,3	759,3	762,2	764,9	767,6	770,1	772,7	775,0	777,2	779,3	781,4
240	743,0	743,8	746,5	749,9	753,1	756,1	758,9	761,6	764,2	766,7	769,2	771,6	774,0	776,2
250	736,1	736,9	739,7	743,2	746,5	749,7	752,7	755,6	758,5	761,2	763,9	766,5	769,0	771,2

Окончание таблицы 2.89

t, °C	Плотность при давлении P, МПа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
200	728,9	729,7	732,7	736,5	740,1	743,6	746,8	749,8	752,8	755,7	758,4	761,0	763,6	766,0
210	722,0	722,8	726,0	729,8	733,6	737,2	740,7	743,9	747,0	750,0	752,9	755,7	758,3	760,8
220	714,8	715,6	719,0	723,1	727,0	730,8	734,5	737,8	741,1	744,3	747,4	750,2	753,0	755,8
230	707,7	708,6	712,0	716,3	720,5	724,5	728,3	732,0	735,9	738,8	742,0	745,1	747,9	750,7
240	700,5	701,4	705,1	709,6	714,0	718,1	722,2	726,0	729,7	733,1	736,4	739,6	742,5	745,5
250	—	693,9	697,9	702,6	707,3	711,8	716,0	720,0	724,0	727,6	731,1	734,4	737,5	740,7
260	—	686,6	690,9	696,0	701,0	705,7	710,0	714,2	718,2	722,0	725,7	729,2	732,4	735,7
270	—	678,8	683,4	689,0	694,3	699,4	703,9	708,3	712,4	716,3	720,1	723,7	727,0	730,4
280	—	—	676,0	682,0	687,8	693,2	697,9	702,4	706,5	710,6	714,4	718,1	721,6	725,2
290	—	—	668,8	675,2	681,2	686,7	691,8	696,4	700,7	704,9	708,9	712,7	716,5	720,3
300	—	—	661,5	668,2	674,3	680,4	685,6	690,5	695,0	699,4	703,5	707,4	711,2	715,0
310	—	—	654,0	661,4	668,1	674,3	679,7	684,7	689,3	693,8	698,0	702,2	706,1	710,0
320	—	—	646,7	654,4	661,7	667,9	673,6	678,7	683,6	688,2	692,5	696,7	700,8	704,8
330	—	—	639,2	647,2	654,4	661,3	667,2	672,6	677,6	682,4	687,0	691,2	695,4	699,7
340	—	—	631,3	640,0	647,8	654,8	660,9	666,5	671,7	676,7	681,4	686,0	690,3	694,7
350	—	—	623,7	632,7	640,9	648,2	654,6	660,5	665,9	671,1	676,1	680,7	685,3	689,7
360	—	—	615,4	625,4	634,1	641,9	648,7	654,7	660,2	665,5	670,6	675,4	680,1	684,7
370	—	—	607,0	617,8	627,2	635,4	642,3	648,7	654,4	659,9	665,2	670,2	674,8	679,6
380	—	—	—	609,5	620,0	628,9	636,4	643,0	649,0	654,6	659,9	665,0	669,8	674,6
390	—	—	—	602,0	612,1	622,4	629,8	636,9	643,0	648,8	654,3	659,6	664,6	669,7
400	—	—	—	593,9	605,6	615,4	623,7	630,9	637,4	643,5	649,1	654,6	659,7	664,8
410	—	—	—	586,8	598,8	609,1	617,7	625,4	632,3	638,6	644,3	649,6	654,9	660,1

Таблица 2.90

Значения плотности ρ , кг/м³ фракции н.к.—60°C газового конденсата
Оренбургского месторождения при различных
температурах и давлениях

T, K	Плотность при давлении P, МПа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	730,2	730,9	733,4	736,5	739,1	741,9	744,4	747,0	749,4	751,7	753,7	755,7	757,6	759,6
230	722,3	722,9	725,9	729,2	732,0	734,9	737,5	740,2	742,7	745,1	747,2	749,4	751,5	753,6
240	714,0	714,7	717,7	720,9	724,1	727,2	730,3	733,2	736,0	738,8	741,2	743,6	745,8	747,9
250	705,8	706,6	709,8	713,6	717,1	720,3	723,5	726,7	729,7	732,5	735,1	737,6	739,9	742,3
260	698,0	698,9	702,3	706,3	709,9	713,4	716,7	719,9	723,1	726,1	728,8	731,6	734,2	736,8
270	689,9	690,9	694,6	698,9	702,8	706,4	709,8	713,4	716,7	720,0	722,9	725,7	728,3	730,8
280	681,6	682,5	686,5	691,2	695,4	699,5	703,2	706,8	710,3	713,5	716,5	719,4	722,3	725,3
290	673,6	674,7	678,7	683,3	687,6	691,7	695,8	699,7	703,6	707,2	710,4	713,6	716,6	719,5
300	—	—	670,8	675,9	680,6	685,0	689,2	693,8	697,2	701,0	704,3	707,6	710,8	713,8
310	—	—	662,7	668,1	673,1	677,8	682,2	686,6	690,8	694,7	698,2	701,7	704,9	708,0
320	—	—	654,4	660,3	665,7	670,8	675,6	680,0	684,3	688,4	692,1	695,7	699,2	702,5

T, K	Плотность при давлении P, МПа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
330	—	—	645,9	652,4	658,0	663,2	668,2	673,1	677,7	682,0	685,9	689,6	693,2	697,7
340	—	—	637,7	644,2	650,3	656,0	661,2	666,4	671,1	675,5	679,6	683,4	687,2	690,8
350	—	—	629,2	636,5	643,2	649,1	654,6	659,8	664,8	669,3	673,4	677,5	681,3	685,2
360	—	—	620,0	628,1	635,5	642,1	648,1	653,6	658,7	663,4	667,8	671,9	675,7	679,5
370	—	—	611,0	620,0	627,9	634,7	640,8	646,4	651,7	656,7	661,2	665,5	669,6	673,7
380	—	—	601,9	611,7	620,3	627,7	634,0	639,8	645,3	650,2	654,9	659,3	663,7	668,1
390	—	—	592,5	603,3	612,4	620,1	626,7	632,8	638,5	643,8	648,7	653,8	657,8	662,3
400	—	—	582,4	593,9	603,9	612,4	619,7	626,8	632,3	637,9	643,0	647,8	652,3	657,0
410	—	—	571,9	585,3	596,3	605,3	612,9	619,5	625,6	631,3	636,6	641,6	646,4	651,1
420	—	—	561,0	576,3	587,9	597,4	605,4	612,5	619,0	625,0	630,4	635,6	640,6	645,2
430	—	—	550,7	566,6	579,6	590,1	598,5	606,0	612,6	618,8	624,2	629,6	634,7	639,9
440	—	—	539,2	555,8	569,5	581,2	590,9	599,1	606,3	612,7	618,4	623,7	628,8	634,0
450	—	—	527,4	545,8	561,3	573,5	583,6	592,3	600,7	606,3	612,1	617,6	623,0	628,2
460	—	—	—	535,7	552,2	565,2	575,9	584,9	592,7	599,5	605,7	611,5	617,0	622,2
470	—	—	—	524,4	542,3	556,6	568,2	578,0	586,2	593,3	599,5	605,3	611,1	616,7

Таблица 2.91

Значения плотности ρ , кг/м³ фракции 60–95°С газового конденсата
Оренбургского месторождения при различных
температурах и давлениях

T, K	Плотность при давлении P, МПа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	741,1	741,8	744,4	747,6	750,6	753,3	755,9	758,6	761,1	763,6	765,9	768,1	670,2	772,4
230	733,1	733,8	736,4	739,8	742,9	746,0	748,9	751,6	754,3	756,8	759,3	761,8	764,2	766,6
240	725,2	726,0	728,9	732,5	736,0	739,3	742,5	745,4	748,1	750,7	753,2	755,8	758,3	760,7
250	717,2	718,1	721,3	725,2	729,0	732,5	735,8	738,8	741,6	744,4	747,0	749,6	752,1	754,6
260	709,2	710,1	713,8	718,0	721,9	725,2	729,1	732,3	735,1	738,0	740,7	743,4	746,1	748,8
270	701,2	702,2	706,0	710,6	714,7	718,6	722,3	725,6	728,7	731,6	734,4	737,2	739,9	742,5
280	693,3	694,4	698,6	703,5	707,8	711,7	715,4	718,9	722,3	725,6	728,6	731,5	734,1	736,8
290	685,6	686,7	690,7	695,6	700,3	704,6	708,7	712,5	715,9	719,4	722,5	725,6	728,4	731,0
300	677,2	678,4	682,8	688,1	693,0	697,4	701,7	705,6	709,3	712,8	716,6	719,2	722,1	725,0
310	668,8	670,1	674,9	680,6	685,7	690,3	694,8	698,8	702,7	706,5	709,9	713,2	716,2	719,0
320	660,8	662,0	666,9	672,8	678,2	683,2	687,8	692,2	696,3	700,2	703,8	707,2	710,3	713,0
330	—	653,4	658,7	665,0	670,7	676,0	680,9	685,6	689,9	694,0	697,7	701,2	704,3	707,2
340	—	—	650,4	657,0	663,1	668,8	674,0	679,0	683,6	687,9	691,7	695,4	698,6	701,5
350	—	—	642,3	649,3	655,7	661,5	667,0	672,1	676,8	681,2	685,3	689,0	692,4	695,6
360	—	—	633,7	641,1	647,8	654,1	659,8	665,2	670,2	674,9	679,1	683,1	686,6	690,0
370	—	—	625,4	633,1	640,2	646,7	652,8	658,4	663,6	668,5	673,0	677,2	680,8	684,6
380	—	—	617,1	625,0	632,4	639,2	645,5	651,5	656,9	662,1	666,8	671,2	675,2	678,8

t, К	Плотность при давлении P, МПа												
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
390	—	—	608,3	617,0	624,8	631,8	638,2	644,4	650,0	655,4	660,5	665,2	669,7
400	—	—	599,6	608,5	616,5	624,1	631,0	637,6	643,6	649,2	654,4	659,4	663,7
410	—	—	590,5	599,9	608,5	616,3	623,6	630,3	636,2	642,6	648,1	653,2	658,0
420	—	—	581,3	591,9	601,9	609,0	616,4	623,4	629,8	636,0	641,7	647,1	652,1
430	—	—	—	582,8	592,5	601,1	609,0	616,3	623,0	629,5	635,5	641,0	646,2
440	—	—	—	574,0	583,2	593,3	601,4	609,1	616,1	622,9	629,2	635,1	640,4
450	—	—	—	564,2	575,3	585,1	593,8	602,0	609,5	616,5	623,0	629,1	634,8
460	—	—	—	554,9	566,7	577,2	586,4	594,9	602,7	610,0	616,8	623,1	628,9
470	—	—	—	545,2	558,1	569,4	578,7	587,8	595,9	603,5	610,5	617,2	623,3

Таблица 2.92

Значения плотности ρ , кг/м³ фракции 95–122°C газового конденсата
Оренбургского месторождения при различных
температурах и давлениях

t, К	Плотность при давлении P, МПа												
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
220	790,2	790,7	792,7	795,1	797,6	800,0	802,4	804,7	806,8	808,8	810,8	812,0	814,7
230	782,6	783,2	785,7	788,6	791,3	793,9	796,2	798,6	800,8	802,8	804,9	806,9	809,0
240	775,2	775,9	778,3	781,2	784,1	786,9	789,6	792,2	794,6	796,9	798,7	801,3	803,3
250	767,9	768,5	771,3	774,5	777,6	780,5	783,4	786,0	788,5	790,9	793,2	795,5	797,6
260	760,6	761,3	764,1	767,4	770,1	773,6	776,5	779,2	781,5	784,5	787,0	789,4	791,7
270	753,3	754,0	756,9	760,3	763,5	766,7	769,8	772,7	775,5	778,3	781,0	783,6	786,1
280	746,0	746,7	749,8	753,3	756,9	760,2	763,4	766,5	769,5	772,4	775,1	777,8	780,4
290	738,5	739,2	742,5	746,3	750,0	753,5	756,9	760,2	763,3	766,2	769,1	771,9	774,6
300	731,2	732,0	735,6	739,6	743,4	747,2	750,7	754,0	757,2	760,3	763,2	766,2	768,8
310	723,2	724,0	727,0	732,3	736,4	740,4	744,1	747,7	751,0	754,3	757,4	760,4	763,3
320	715,4	716,4	720,6	725,4	729,8	733,9	737,7	741,4	745,0	748,3	751,6	754,7	757,6
330	708,5	709,5	713,7	718,5	723,1	727,5	731,6	735,3	739,1	742,5	745,9	749,0	752,0
340	700,0	701,2	705,6	710,9	716,0	720,7	725,2	729,4	733,3	736,9	740,3	743,5	746,5
350	692,0	693,2	698,0	703,6	708,0	713,9	718,6	723,1	727,2	730,9	734,5	737,8	740,9
360	—	—	690,5	696,4	702,1	707,3	712,3	716,9	721,2	725,1	728,8	732,3	735,6
370	—	—	682,4	688,9	695,0	700,6	705,9	710,8	715,2	719,4	723,3	727,0	730,4
380	—	—	674,8	681,8	688,2	694,2	699,5	704,6	709,3	713,6	717,7	721,5	724,9
390	—	—	666,6	674,2	681,2	687,4	693,3	698,5	703,4	707,9	712,0	716,1	719,8
400	—	—	658,6	666,8	674,3	680,9	687,2	692,3	697,3	701,9	706,2	710,3	714,3
410	—	—	650,1	659,0	667,0	674,2	680,5	686,3	691,4	696,3	700,8	705,2	709,4
420	—	—	642,4	651,6	659,9	667,5	674,1	680,0	685,3	690,4	695,1	699,7	704,0
430	—	—	634,1	644,0	652,8	660,6	667,6	673,8	679,3	684,6	689,6	694,5	698,9

Т, К	Плотность при давлении Р, МПа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
440	—	—	625,8	636,2	645,4	654,0	661,3	667,8	673,6	679,1	684,2	689,2	693,9	698,5
450	—	—	617,3	628,4	638,4	647,2	655,0	661,9	668,0	673,7	678,9	683,9	688,7	693,5
460	—	—	—	621,0	631,7	640,9	648,9	655,9	662,1	667,9	673,4	678,8	683,9	689,0
470	—	—	—	613,1	624,6	634,5	642,4	650,0	656,4	662,4	668,1	673,6	678,9	684,1

Таблица 2.93

Значения плотности ρ , кг/м³ фракции 122–150°С газового конденсата
Оренбургского месторождения при различных
температурах и давлениях

Т, К	Плотность при давлении Р, МПа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	810,4	811,0	813,0	815,6	818,1	820,6	822,8	825,0	827,0	829,0	830,9	832,9	834,8	836,6
230	803,0	803,6	806,0	809,0	811,5	814,1	816,5	818,8	821,0	823,2	824,8	827,2	829,0	830,8
240	795,6	796,2	798,9	802,0	804,8	807,3	809,8	812,2	814,6	816,8	818,9	821,1	823,1	825,2
250	788,6	789,4	792,1	795,4	798,3	801,0	803,5	806,0	808,3	810,8	813,1	815,4	817,4	819,6
260	781,1	781,9	784,8	788,3	791,4	794,0	797,0	799,6	802,1	804,6	807,1	809,4	811,6	813,4
270	774,0	774,8	777,8	781,4	784,8	787,8	790,6	793,4	795,9	798,6	801,2	803,7	805,9	808,2
280	766,0	767,4	770,8	774,6	778,2	781,4	784,3	787,0	789,7	792,4	794,9	797,6	800,1	802,6
290	759,4	760,3	763,7	767,8	771,5	774,8	777,9	780,9	783,6	786,4	789,2	791,9	794,4	797,1
300	752,1	753,1	756,8	761,0	765,0	768,6	771,8	774,9	777,8	780,7	783,4	786,3	789,0	791,7
310	744,8	745,8	749,6	754,2	758,2	762,1	765,5	768,7	771,8	774,7	777,7	780,6	783,4	786,3
320	737,4	738,4	742,7	747,6	751,9	755,8	759,2	762,5	765,6	768,6	771,6	774,7	777,7	780,6
330	730,0	731,2	735,6	740,7	745,1	749,1	752,8	756,2	759,5	762,6	765,7	768,9	771,9	774,9
340	722,8	724,1	728,6	733,7	738,3	742,6	746,5	750,2	753,7	757,0	754,6	763,6	766,8	769,8
350	715,5	716,7	721,5	726,8	731,7	736,2	740,3	744,1	747,7	751,2	760,3	758,0	761,2	764,4
360	708,2	709,5	714,4	720,2	725,4	730,1	734,3	738,4	742,1	745,6	749,0	752,4	755,8	759,1
370	700,6	702,0	707,2	713,2	718,6	723,8	728,4	732,6	736,4	740,2	743,8	747,3	750,9	754,2
380	693,2	694,6	699,9	706,0	711,7	717,0	722,1	726,6	730,9	734,9	738,6	742,3	745,8	749,3
390	—	—	692,4	698,8	705,3	710,7	715,9	720,8	725,3	729,4	733,3	737,1	740,8	744,5
400	—	—	685,0	691,9	698,4	704,3	709,9	714,9	719,6	723,9	728,0	732,0	735,9	739,6
410	—	—	677,2	684,4	691,4	697,7	703,7	709,0	713,9	718,4	722,8	726,9	730,9	734,9
420	—	—	669,5	677,4	684,8	691,5	697,7	703,4	708,6	713,5	717,9	722,1	726,2	730,0
430	—	—	661,5	670,2	678,3	685,4	691,9	697,7	703,1	708,0	712,7	717,1	721,3	725,3
440	—	—	653,3	662,5	671,0	678,7	685,6	691,6	697,3	702,5	707,6	712,4	716,8	721,0
450	—	—	644,9	655,0	664,1	672,3	679,6	686,1	692,0	697,4	702,5	707,4	711,9	716,6
460	—	—	636,6	647,7	657,6	666,1	673,6	680,3	686,3	692,0	697,5	702,7	707,5	712,2
470	—	—	628,7	640,4	650,7	660,0	667,9	674,7	680,9	686,8	692,4	697,9	703,0	708,1

Таблица 2.94

Значения плотности ρ , кг/м³ фракции 155–к.к. газового конденсата
Оренбургского месторождения при различных
температурах и давлениях

Т, К	Плотность при давлении P , МПа												
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
130	835,9	836,5	838,7	841,4	844,0	846,0	847,1	850,3	852,4	855,0	856,7	858,4	859,6
130	829,0	829,6	831,9	834,6	837,2	839,7	841,9	844,0	845,9	847,8	849,6	851,5	853,3
140	822,0	822,7	825,1	828,1	830,8	833,4	835,6	837,8	839,8	841,8	843,8	845,8	847,7
150	815,4	816,1	818,8	821,8	824,5	827,1	829,4	831,5	833,6	835,6	837,8	839,9	842,0
160	808,8	809,6	812,3	815,4	818,2	820,8	823,2	825,4	827,7	829,9	832,1	834,3	836,4
170	802,3	803,0	805,8	809,0	812,0	814,8	817,3	819,6	821,9	824,2	826,5	828,8	830,9
180	795,8	796,6	799,3	802,6	805,6	808,5	811,2	813,7	816,1	818,5	820,8	823,2	825,4
190	789,4	790,2	792,9	796,2	799,8	802,4	805,3	807,8	810,3	812,8	815,3	817,7	820,2
200	783,0	783,6	786,4	789,8	793,2	796,4	799,4	802,2	804,8	807,5	810,0	812,6	815,1
210	776,0	777,0	780,0	783,6	787,1	790,5	793,6	796,5	799,2	801,8	804,5	807,2	809,9
220	769,5	770,4	773,5	777,3	781,0	784,5	787,7	791,0	794,0	796,8	799,5	802,3	804,9
230	763,2	764,0	767,2	771,1	774,9	778,5	782,0	785,4	788,4	791,5	794,4	797,2	800,0
240	756,4	754,2	760,4	764,5	768,5	772,4	776,1	779,7	783,0	786,1	789,2	792,2	795,0
250	749,4	750,3	753,9	758,2	762,5	766,6	770,5	774,2	777,7	781,0	784,0	787,0	790,0
260	742,8	743,7	747,4	752,1	756,7	760,7	764,9	767,2	771,1	774,6	777,8	781,0	784,1
270	735,9	736,8	740,9	745,8	750,7	755,2	760,4	763,5	767,3	770,8	774,1	777,2	780,3
280	728,5	729,9	734,3	739,7	744,8	749,7	754,0	758,0	761,9	765,6	769,2	772,5	775,8
290	721,5	722,8	727,9	733,8	739,0	743,9	748,4	752,6	756,5	760,3	764,0	767,4	770,6
300	714,0	715,7	721,6	727,8	733,3	738,0	743,0	747,3	751,4	755,2	759,0	762,7	766,1
310	706,8	708,5	714,9	721,8	727,7	732,9	737,8	742,2	746,3	750,3	754,3	758,0	761,5
320	—	701,3	708,4	715,9	722,1	727,7	732,6	737,3	741,7	745,7	749,6	753,4	757,0
330	—	—	702,0	709,9	717,0	722,4	727,8	732,5	736,8	740,9	744,8	748,8	752,0
340	—	—	694,2	704,0	711,1	717,1	722,5	727,4	732,9	736,0	740,2	744,0	747,9
350	—	—	688,9	698,4	705,9	711,7	717,1	722,2	726,9	731,5	735,8	739,9	743,7
360	—	—	682,3	692,3	700,4	706,8	712,5	717,7	722,4	727,0	731,3	735,5	739,4
370	—	—	676,9	686,8	694,6	701,5	707,6	713,0	717,8	721,4	726,9	731,1	735,2

Таблица 2.95

Значения плотности ρ , кг/м³ газового конденсата Харасавэйского
месторождения при различных температурах и давлениях

Т, К	Плотность при давлении P , МПа												
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
220	826,0	826,5	828,4	830,5	832,4	834,2	835,8	837,5	839,1	840,7	842,3	843,8	845,2
230	818,0	818,5	820,6	822,9	825,0	827,0	828,8	830,8	832,6	834,4	836,1	837,7	839,3
240	810,0	810,5	812,6	815,4	818,2	820,0	822,1	824,2	826,0	828,0	829,8	831,6	833,2
250	802,0	802,6	805,0	807,7	810,4	812,8	815,1	817,4	819,5	821,6	823,7	825,6	827,4

T, К	Плотность при давлении P, МПа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
260	794,1	794,8	897,3	800,2	803,1	805,8	808,2	810,6	812,9	815,2	817,4	819,5	821,3	823,2
270	785,8	786,6	789,3	792,4	795,4	798,4	801,1	803,6	806,3	808,8	811,0	813,4	815,4	817,4
280	778,0	773,8	781,7	785,0	788,2	791,2	794,2	797,1	799,7	802,3	804,8	807,2	809,5	811,4
290	770,0	770,7	773,7	777,3	780,7	784,0	788,2	790,2	793,0	795,8	798,5	801,1	803,5	805,7
300	762,0	762,8	765,0	769,8	773,4	776,9	780,3	783,5	786,5	789,4	792,1	794,8	797,5	799,9
310	753,8	754,5	758,1	762,2	766,1	769,9	773,5	777,0	780,2	783,3	786,1	788,9	791,5	794,0
320	745,8	746,8	750,5	754,8	758,8	762,3	767,3	769,9	773,4	776,6	779,7	782,7	785,6	788,0
330	737,9	738,8	742,4	746,8	751,1	755,3	759,2	763,0	766,6	770,6	773,4	776,5	779,6	782,0
340	—	732,0	735,0	739,7	744,1	748,3	752,4	756,4	760,1	763,8	767,3	770,4	773,3	776,2
350	—	723,0	727,1	732,0	736,8	741,2	745,5	749,7	753,6	757,4	760,9	764,2	767,4	770,5
360	—	715,0	719,2	724,3	729,2	733,9	738,5	742,8	747,0	750,9	754,8	758,3	761,5	764,5
370	—	707,2	711,6	716,9	721,9	726,8	731,5	736,0	740,5	744,7	748,6	752,2	755,6	758,9
380	—	—	703,5	709,0	714,5	719,7	724,7	729,4	733,9	738,2	742,3	746,1	749,7	753,0
390	—	—	695,7	701,4	707,0	712,4	717,8	722,7	727,3	731,7	736,0	739,9	743,6	747,1
400	—	—	687,9	693,8	699,7	705,5	710,8	715,9	720,8	725,4	729,7	733,9	737,8	741,4
410	—	—	678,8	685,7	692,0	698,2	704,1	709,5	714,5	719,0	723,3	727,5	731,4	735,4
420	—	—	669,5	677,3	684,5	691,1	697,2	702,9	708,5	713,0	717,5	721,8	725,9	729,7
430	—	—	660,6	669,5	677,1	683,9	690,1	696,0	701,3	706,4	711,0	715,5	719,6	723,7
440	—	—	650,5	660,9	669,3	676,8	683,3	689,5	695,1	700,1	704,8	709,3	713,7	718,2
450	—	—	640,6	652,7	661,6	669,9	676,8	682,9	689,2	693,6	698,6	703,4	708,1	712,7
460	—	—	629,1	643,2	653,4	662,3	669,6	675,9	681,8	687,3	692,6	697,7	702,5	707,0
470	—	—	618,0	633,9	645,6	655,1	663,2	670,2	676,1	681,6	687,0	691,8	696,7	701,3

Таблица 2.96
Значения плотности ρ , кг/м³ газового конденсата месторождения
Шатлык при различных температурах и давлениях [25]

P, МПа	Плотность при температуре T, К				
	323,2	348,2	373,2	423,2	473,2
0,1	755,0	734,0	716,5	—	—
5,0	759,8	739,8	722,0	682,8	643,6
10,0	764,4	745,4	728,1	690,8	653,9
20,0	772,9	755,6	739,1	704,8	671,9
30,0	780,0	763,5	747,9	716,8	686,3
40,0	786,0	771,0	756,4	727,0	698,2
50,0	792,0*	776,8*	762,9*	735,5	708,6

* Получено графической экстраполяцией.

Таблица 2.97

Значения плотности ρ , кг/м³ газового конденсата месторождения
Шахпакты при различных температурах и давлениях [25]

P , МПа	Плотность при температуре T , К				
	323,2	348,2	373,2	423,2	473,2
0,1	753,4	735,0	716,2	—	—
5,0	758,1	739,4	720,5	682,6	644,2
10,0	772,4	744,7	726,6	690,6	654,0
20,0	770,8	754,4	737,8	704,3	670,4
30,0	778,0	762,6	747,0	715,6	684,0
40,0	784,0	769,4	754,7	725,1	695,4
50,0	789,1	775,4	761,7	733,9	706,2

Таблица 2.98

Значения плотности ρ , кг/м³ газового конденсата месторождения
Северный Мубарек при различных температурах и давлениях [25]

P , МПа	Плотность при температуре T , К				
	323,2	348,2	373,2	423,2	473,2
0,1	746,2	—	—	—	—
5,0	751,0	731,7	711,6	668,1	623,1
10,0	755,3	737,2	717,3	677,0	635,8
20,0	754,5	746,5	728,4	692,1	655,9
30,0	772,2	755,3	738,5	705,0	671,5
40,0	779,2	763,4	747,6	716,0	684,4
50,0	785,5	770,5	755,5	725,5	695,6

Таблица 2.99

Значения плотности ρ , кг/м³ газового конденсата месторождения
Ачак при различных температурах и давлениях [25]

P , МПа	Плотность при температуре T , К				
	323,2	348,2	373,2	423,2	473,2
0,1	748,0	727,2	—	—	—
5,0	752,5	732,5	712,0	668,5	622,0
10,0	757,1	738,0	718,5	677,0	634,9
20,0	766,1	747,7	730,3	692,3	655,4
30,0	773,5	756,5	740,4	704,8	671,2
40,0	780,5	764,4	749,1	716,2	684,1
50,0	787,0	771,5	756,8	725,3	694,5*

* Получено графической экстраполяцией.

Таблица 2.1

**Значения плотности ρ , кг/м³ газового конденсата месторождения
Гугуртли при различных температурах и давлениях [25]**

P , МПа	Плотность при температуре T , К				
	323,2	348,2	373,2	423,2	473,2
0,1	766,1	744,6	—	—	—
5,0	771,1	750,2	729,5	687,6	642,0
10,0	775,7	755,4	735,3	694,9	654,6
20,0	783,0	764,7	746,4	709,5	673,5
30,0	790,9	773,7	756,6	722,2	688,3
40,0	797,4	781,1	765,0	732,8	700,8
50,0	803,1	787,7	772,5	742,3	712,1

Таблица 2.101

**Значения плотности ρ , кг/м³ газового конденсата месторождения
Наип при различных температурах и давлениях [25]**

P , МПа	Плотность при температуре T , К				
	323,2	348,2	373,2	423,2	473,2
0,1	763,3	742,9	—	—	—
5,0	767,7	748,2	728,7	684,9	638,7
10,0	772,4	753,5	734,1	692,9	650,9
20,0	780,9	763,0	745,0	707,6	670,5
30,0	788,6	771,5	754,4	720,3	686,1
40,0	795,3	779,3	763,2	730,9	699,1
50,0	801,9	786,7	771,5	740,3	710,9

Таблица 2.102

**Значения плотности ρ , кг/м³ газового конденсата месторождения
Газли при различных температурах и давлениях [25]**

P , МПа	Плотность при температуре T , К				
	323,2	348,2	373,2	423,2	473,2
0,1	761,0	740,5	—	—	—
5,0	765,3	745,8	725,6	682,2	635,6
10,0	769,8	751,1	731,6	731,6	647,8
20,0	777,7	760,6	742,2	704,9	667,4
30,0	785,6	769,4	752,3	717,4	682,9
40,0	792,8	777,4	761,3	728,9	695,2
50,0	799,5	784,8	768,9	736,6*	705,4*

* Получено графической экстраполяцией.

Таблица 2.103

**Значения плотности ρ , кг/м³ газового конденсата месторождения
Учкыр при различных температурах и давлениях [25]**

P, МПа	Плотность при температуре T, К				
	323,2	348,2	373,2	423,2	473,2
0,1	759,0	—	—	—	—
5,0	763,2	742,3	720,7	675,7	628,3
10,0	767,6	748,1	727,5	684,3	641,1
20,0	777,3	758,2	739,2	701,0	662,8
30,0	784,7	767,1	749,5	714,3	679,0
40,0	794,7	775,4	758,9	725,8	692,6
50,0	798,3*	782,5	766,8	735,3	703,8*

* Получено графической экстраполяцией.

Таблица 2.104

**Значения плотности ρ , кг/м³ газового конденсата месторождения
Харьковцы при различных температурах и давлениях**

T, К	Плотность при давлении P, МПа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
270	810,8	811,3	814,0	817,3	820,3	823,2	825,9	828,7	831,3	833,6	835,8	837,8	839,7	841,2
280	803,6	804,3	807,1	810,1	813,6	816,7	820,6	822,4	824,9	827,3	829,5	831,6	833,7	835,6
290	796,3	797,0	799,9	803,4	806,9	810,1	813,2	816,0	818,6	821,1	823,7	826,0	828,0	829,8
300	789,1	789,8	792,9	796,6	800,2	803,8	807,2	810,4	813,3	815,8	818,2	820,3	822,4	824,5
310	—	782,6	785,8	789,8	793,6	797,4	800,7	804,0	807,1	809,8	812,2	814,4	816,8	818,9
320	—	775,5	778,8	782,8	786,9	790,7	794,5	798,0	801,0	803,8	806,3	808,7	811,0	813,3
330	—	768,2	771,8	776,3	780,7	784,6	788,4	791,7	794,9	797,8	800,5	803,0	805,5	807,8
340	—	760,7	764,5	769,2	773,7	778,0	781,9	785,5	788,7	791,6	794,4	797,1	799,8	802,4
350	—	753,6	757,5	762,3	767,0	771,4	775,5	779,1	782,5	785,6	788,1	791,6	794,4	797,1
360	—	—	750,5	755,5	760,3	764,8	769,1	772,8	776,3	779,6	782,8	785,8	788,8	791,8
370	—	—	743,6	748,8	753,8	758,5	762,8	766,7	770,3	773,8	777,0	780,3	783,4	786,5
380	—	—	736,6	742,1	747,3	751,9	756,4	760,5	764,5	768,2	771,1	775,1	778,4	781,6
390	—	—	729,7	735,3	740,7	745,6	750,3	754,6	758,7	762,5	766,3	769,7	773,1	776,4
400	—	—	722,4	728,6	734,3	739,5	744,3	748,9	752,8	757,4	761,2	764,8	768,2	771,5
410	—	—	715,5	721,7	727,7	733,5	738,7	743,7	747,9	752,0	755,9	759,5	763,0	765,4
420	—	—	708,4	714,7	720,5	726,7	732,3	737,5	742,2	746,5	750,5	754,3	757,9	761,4
430	—	—	701,3	708,1	714,8	721,0	726,8	732,0	736,8	741,3	745,5	749,4	753,2	746,8
440	—	—	694,1	701,5	708,3	714,5	720,6	726,1	731,1	735,8	740,3	744,5	748,5	752,5
450	—	—	687,3	694,7	701,5	707,9	714,0	719,7	725,2	730,4	735,1	739,5	743,7	747,5
460	—	—	680,4	688,0	695,0	701,6	707,8	713,8	719,6	725,0	729,9	734,5	738,8	743,0
470	—	—	—	681,0	688,3	695,3	701,5	707,8	713,9	719,5	724,7	729,5	733,9	738,2

Таблица 2.106

Значения плотности ρ , кг/м³ газового конденсата Карачаганакского месторождения при различных температурах и давлениях

Т, К	Плотность при давлении Р, МПа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
280	803,6	804,3	806,8	809,7	812,7	815,6	818,4	821,4	824,1	826,8	829,5	832,0	834,5	836,8
290	796,8	797,4	799,9	803,0	806,0	809,0	811,9	814,8	817,7	820,6	823,3	825,8	828,3	830,7
300	789,4	790,0	792,8	796,2	799,5	802,6	805,7	808,6	811,5	814,3	817,1	819,6	822,2	824,6
310	782,0	782,8	785,7	789,7	792,7	796,1	799,2	802,2	805,2	808,1	810,7	813,5	816,1	818,5
320	774,8	775,6	778,8	782,6	786,3	789,6	792,9	796,0	799,0	801,9	804,7	807,4	810,1	812,8
330	767,4	768,2	771,5	775,6	779,4	783,1	786,5	789,7	792,7	795,8	798,6	801,5	804,2	806,8
340	759,8	760,6	764,2	768,4	772,4	776,5	780,2	783,5	786,7	789,6	792,6	795,4	798,2	800,8
350	752,6	753,5	757,2	761,7	765,9	769,6	773,7	777,2	780,5	783,7	786,5	789,5	792,3	795,1
360	745,3	746,3	750,1	754,5	758,9	763,0	767,1	770,6	773,8	777,3	780,6	783,8	786,6	789,6
370	736,9	738,0	742,3	747,3	752,2	756,5	760,7	764,4	767,8	771,1	774,2	778,9	781,3	784,4
380	728,1	729,3	734,0	739,7	745,0	749,8	754,3	758,3	761,9	765,4	768,9	772,4	775,6	779,0
390	719,6	720,9	726,1	732,1	737,7	742,9	747,6	751,9	755,9	759,8	763,2	766,8	770,2	773,5
400	711,1	712,5	718,1	724,7	730,7	736,1	740,9	745,5	749,4	753,4	757,3	761,0	764,7	768,2
410	702,4	703,9	709,8	716,7	723,3	728,9	733,9	738,6	743,2	747,5	751,7	755,5	759,3	762,7
420	693,2	695,0	701,6	709,2	716,0	722,0	727,3	732,1	736,9	741,5	745,7	749,7	753,6	757,5
430	683,5	685,6	693,1	701,6	709,1	715,6	721,2	725,4	731,2	735,8	740,3	744,6	748,7	752,7

Таблица 2.106

Значения плотности ρ , кг/м³ газового конденсата Астраханского месторождения при различных температурах и давлениях

Т, К	Плотность при давлении Р, МПа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
270	818,9	819,6	822,0	825,1	827,9	830,7	833,5	836,1	838,6	841,2	843,7	845,9	847,9	849,8
280	811,7	812,2	814,8	817,9	820,9	823,9	826,8	829,6	832,2	834,8	837,5	839,8	842,0	844,1
290	804,4	805,1	807,8	811,1	814,3	817,3	820,3	823,1	825,9	828,7	831,4	833,9	836,3	838,4
300	797,3	797,9	800,8	804,3	807,8	811,1	814,4	817,3	820,3	823,1	825,8	828,4	830,8	833,1
310	789,9	790,7	793,7	797,6	801,4	805,0	808,5	811,7	814,7	817,5	820,3	822,8	825,3	827,4
320	782,3	783,3	786,8	790,9	794,8	798,6	802,1	805,2	808,6	811,5	814,5	817,1	819,6	822,0
330	—	775,9	779,7	784,3	788,6	792,5	796,1	799,5	802,7	805,7	808,6	811,2	813,9	816,2
340	—	768,6	772,5	777,1	781,5	785,8	789,6	793,2	796,6	799,9	802,5	805,8	808,6	811,0
350	—	761,4	765,3	770,2	774,9	779,3	783,3	786,9	790,3	793,5	796,7	799,8	802,7	805,3
360	—	754,3	758,4	763,5	768,4	772,9	777,1	780,9	784,5	787,8	790,9	794,0	797,0	799,9
370	—	—	751,6	756,6	762,0	766,7	770,9	774,8	778,4	782,2	785,5	788,6	791,7	794,7
380	—	—	744,6	749,9	755,1	759,9	764,5	768,6	772,5	776,3	779,8	783,3	786,4	789,5
390	—	—	737,7	743,2	748,5	753,5	758,3	762,5	766,7	770,6	774,3	777,9	781,3	784,5
400	—	—	730,7	736,6	742,2	747,5	752,4	757,0	761,3	765,5	769,4	772,9	776,2	779,3

Окончание таблицы 2.106

t, К	Плотность при давлении P, МПа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
410	—	—	723,8	730,0	736,1	741,6	746,8	751,5	756,0	760,1	764,1	767,6	770,8	773,8
420	—	—	716,7	723,2	729,4	735,3	740,6	745,5	750,0	754,4	758,5	762,1	765,5	768,6
430	—	—	710,2	717,0	723,5	729,5	735,2	740,2	745,0	749,4	753,5	757,2	760,6	763,8
440	—	—	703,3	710,3	716,9	723,3	728,9	734,1	739,2	743,7	748,0	752,0	755,7	759,5
450	—	—	696,3	703,3	710,5	716,8	722,7	728,3	733,4	738,3	742,9	746,9	750,7	754,4
460	—	—	689,6	697,0	704,2	711,0	717,2	722,9	728,2	732,9	737,5	741,8	745,9	749,7
470	—	—	682,6	690,4	697,7	704,6	710,9	716,7	722,2	727,4	732,2	736,7	740,9	744,9

Таблица 2.107

Значения плотности ρ , кг/м³ газового конденсата Ямбургского месторождения при различных температурах и давлениях

t, К	Плотность при давлении P, МПа													
	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
770	802,4	803,0	805,5	808,8	811,8	814,6	817,0	819,4	821,4	823,3	824,9	826,2	827,5	828,8
780	795,3	796,0	798,7	802,0	805,2	808,1	810,8	813,3	815,6	817,5	819,2	820,7	822,1	823,3
790	798,3	789,0	791,7	795,0	798,0	800,9	803,8	806,6	809,1	811,4	813,4	815,0	816,5	817,9
800	781,5	782,0	785,2	788,6	791,9	795,0	797,9	800,6	803,1	805,4	807,5	809,4	811,1	812,6
810	774,4	775,2	778,1	781,6	785,1	788,2	791,2	794,1	796,7	799,3	801,6	803,6	805,5	807,4
820	767,2	768,1	771,5	775,4	778,9	782,1	785,2	788,0	790,8	793,4	795,8	798,1	800,2	802,2
830	760,3	761,2	764,5	768,4	771,9	775,4	778,7	801,9	804,8	807,5	810,1	812,6	815,0	817,1
840	—	753,6	757,1	761,3	765,3	768,8	772,2	775,3	778,4	781,4	784,2	786,8	789,3	791,6
850	—	746,4	750,0	754,3	758,3	762,1	765,6	769,0	772,3	775,4	778,5	781,3	783,9	786,2
860	—	738,5	742,6	747,4	751,8	755,8	759,4	762,9	766,4	769,6	772,7	775,5	778,1	780,6
870	—	730,1	734,5	739,7	744,3	748,5	752,4	756,2	759,9	763,5	766,9	770,0	773,0	775,8
880	—	722,1	726,7	732,1	736,2	741,7	746,0	750,0	753,9	757,6	761,1	764,1	767,1	770,1
890	—	713,2	718,1	724,1	729,6	734,6	739,0	743,3	747,5	751,5	755,4	758,8	762,1	765,1
900	—	703,9	709,7	716,5	722,3	727,6	732,5	737,1	741,4	745,5	749,4	753,0	756,4	759,7
910	—	695,8	701,4	708,2	723,7	720,4	725,7	730,5	735,0	739,5	743,8	747,8	751,1	754,3
920	—	—	693,0	700,3	707,1	713,3	719,0	724,2	728,9	733,4	737,8	741,8	745,6	749,1
930	—	—	684,2	692,0	699,5	706,2	712,3	717,7	722,8	727,5	732,1	736,3	740,1	743,9
940	—	—	675,7	684,2	692,1	699,3	705,8	711,5	716,7	721,6	726,2	730,5	734,7	738,6
950	—	—	666,9	675,9	684,3	692,0	699,0	705,2	710,8	715,8	720,5	724,9	729,1	733,3
960	—	—	657,8	667,8	676,9	685,1	692,3	698,7	704,3	709,4	714,3	719,1	723,4	727,6
970	—	—	649,7	659,6	669,1	677,8	685,6	692,4	698,4	703,7	708,9	713,7	718,3	723,6

Таблица 2.10

**Значения плотности ρ , кг/м³ газового конденсата
Майкопского месторождения (I горизонт) [26]**

Т, К	Плотность конденсата и его фракции				
	Конденсат	н.к. –60°C	60–95°C	95–122°C	122–150°C
243,15	804,5	719,1	777,9	799,3	806,0
253,15	796,1	709,5	767,7	790,0	797,7
263,15	787,7	700,0	757,8	780,8	789,5
273,15	779,3	690,5	747,8	771,5	781,2
283,15	770,9	681,0	737,8	762,2	773,0
293,15	762,5	671,5	727,7	753,0	764,7
303,15	с	662,0	717,7	743,8	756,5
313,15	745,7	652,4	707,7	734,5	748,2
323,15	—	—	697,6	725,2	739,9
333,15	—	—	687,6	715,9	731,7
343,15	—	—	—	706,6	723,7
353,15	—	—	—	697,4	715,8
363,15	—	—	—	—	707,2
373,15	—	—	—	—	698,7
383,15	—	—	—	—	690,4
393,15	—	—	—	—	682,2
403,15	—	—	—	—	—
413,15	—	—	—	—	—
423,15	—	—	—	—	—
433,15	—	—	—	—	—
443,15	—	—	—	—	—
453,15	—	—	—	—	—
463,15	—	—	—	—	—
473,15	—	—	—	—	—

Продолжение таблицы 2.106

Т, К	Плотность конденсата и его фракции				
	150–175°C	175–200°C	200–225°C	225–250°C	250–к.к.
243,15	814,1	821,2	834,8	—	—
253,15	806,3	813,9	827,4	843,1	—
263,15	798,5	805,6	820,0	836,0	—
273,15	790,7	797,8	812,6	828,8	850,7
283,15	782,9	790,0	805,2	821,7	843,7
293,15	775,1	782,2	797,8	814,5	836,7
303,15	767,3	774,4	790,4	807,3	829,7

Окончание таблицы 2.108

t, К	Плотность конденсата и его фракции				
	150–175°С	175–200°С	200–225°С	225–250°С	250–к.к.
123,15	751,7	758,8	775,6	793,0	815,7
133,15	743,9	751,1	768,3	785,9	808,8
143,15	736,1	743,8	760,9	778,7	801,8
153,15	728,3	735,5	753,5	771,6	794,8
163,15	720,5	727,7	745,9	764,4	787,8
173,15	712,7	719,9	738,3	757,3	780,8
183,15	704,9	712,1	731,1	750,1	773,8
193,15	697,1	704,5	723,9	743,0	766,8
403,15	689,3	696,5	716,5	735,8	759,8
413,15	681,5	688,7	709,1	728,7	752,8
423,15	—	680,9	701,7	721,5	745,8
433,15	—	673,2	694,4	714,4	738,9
443,15	—	—	687,0	707,3	731,9
453,15	—	—	679,6	700,1	724,9
463,15	—	—	672,2	693,0	717,9
473,15	—	—	664,8	685,8	710,9

Таблица 2.109

Значения плотности ρ , кг/м³ газового конденсата
Майкопского месторождения (II горизонт) [26]

t, К	Плотность конденсата и его фракции				
	Конденсат	н.к. –60°С	60–95°С	95–122°С	122–150°С
243,15	804,6	728,6	777,4	798,8	811,5
253,15	796,7	719,8	769,1	790,8	803,6
263,15	788,8	711,0	760,7	782,8	795,6
273,15	780,9	702,2	752,4	774,8	787,7
283,15	773,0	693,4	744,1	766,8	779,8
293,15	765,1	684,6	735,3	758,9	771,8
303,15	—	675,8	727,1	750,8	763,9
313,15	749,3	652,4	707,7	734,5	748,2
323,15	—	—	697,6	725,2	739,9
333,15	—	—	687,6	715,9	731,7
343,15	—	—	—	706,6	723,7
353,15	—	—	—	697,4	715,8
363,15	—	—	—	—	707,2
373,15	—	—	—	—	698,7

Продолжение таблицы 2.109

Т, К	Плотность конденсата и его фракции				
	Конденсат	н.к.—60°C	60—95°C	95—122°C	122—150°C
383,15	—	—	—	—	690,4
393,15	—	—	—	—	682,2
403,15	—	—	—	—	—
413,15	—	—	—	—	—
423,15	—	—	—	—	—
433,15	—	—	—	—	—
443,15	—	—	—	—	—
453,15	—	—	—	—	—
463,15	—	—	—	—	—
473,15	—	—	—	—	—

Окончание таблицы 2.109

Т, К	Плотность конденсата и его фракции				
	150—175°C	175—200°C	200—225°C	225—250°C	250—к.к.
243,15	820,1	830,4	840,1	855,5	—
253,15	812,2	822,7	832,7	848,2	—
263,15	804,2	815,1	825,2	840,9	874,3
273,15	796,3	807,4	817,7	833,6	867,4
283,15	788,3	799,7	810,2	826,3	860,4
293,15	780,4	792,1	802,7	819,0	853,4
303,15	772,4	784,4	795,2	811,7	846,4
313,15	759,5	766,6	783,0	800,2	822,7
323,15	751,7	758,8	775,6	793,0	815,7
333,15	743,9	751,1	768,3	785,9	808,8
343,15	736,1	743,3	760,9	778,7	801,8
353,15	728,3	735,5	753,5	771,6	794,8
363,15	720,5	727,7	745,9	764,4	787,8
373,15	712,7	719,9	738,3	757,3	780,8
383,15	704,9	712,1	731,1	750,1	773,8
393,15	697,1	704,5	723,9	743,0	766,8
403,15	689,3	696,5	716,5	735,8	759,8
413,15	681,5	688,7	709,1	728,7	752,8
423,15	—	680,9	701,7	721,5	745,8
433,15	—	673,2	694,4	714,4	738,9
443,15	—	—	687,0	707,3	731,9
453,15	—	—	679,6	700,1	724,9
463,15	—	—	672,2	693,0	717,9
473,15	—	—	664,8	685,8	710,9

Таблица 2.110

Значения плотности ρ , кг/м³ газового конденсата
Майкопского месторождения (III горизонт) [26]

T, К	Плотность конденсата и его фракции				
	Конденсат	н.к.—60°C	60—95°C	95—122°C	122—150°C
243,15	819,1	717,0	792,2	819,1	836,8
253,15	811,0	707,6	783,3	810,8	829,1
263,15	802,9	698,1	774,3	802,4	821,3
273,15	794,8	688,7	765,3	794,1	813,6
283,15	786,7	679,3	756,3	788,8	805,9
293,15	778,6	669,8	741,3	777,4	798,1
303,15	—	660,3	735,3	768,7	890,4
313,15	762,4	650,9	729,4	760,7	782,7
323,15	—	—	720,4	752,4	774,9
333,15	—	—	711,4	741,1	767,2
343,15	—	—	—	735,7	759,5
353,15	—	—	—	727,4	751,8
363,15	—	—	—	—	744,0
373,15	—	—	—	—	736,3
383,15	—	—	—	—	728,5
393,15	—	—	—	—	720,8
403,15	—	—	—	—	—
413,15	—	—	—	—	—
423,15	—	—	—	—	—
433,15	—	—	—	—	—
443,15	—	—	—	—	—
453,15	—	—	—	—	—
463,15	—	—	—	—	—
473,15	—	—	—	—	—

Продолжение таблицы 2.110

T, К	Плотность конденсата и его фракции				
	150—175°C	175—200°C	200—225°C	225—250°C	250—к.к.
243,15	841,9	851,9	873,9	908,7	—
253,15	834,4	844,3	866,4	901,4	—
263,15	825,9	836,6	858,8	894,2	928,4
273,15	819,4	829,0	851,3	886,9	921,2
283,15	811,9	821,3	843,8	879,6	914,0
293,15	804,4	813,7	836,2	872,4	906,8
303,15	796,9	806,1	828,7	865,1	899,6
313,15	789,4	798,5	821,2	857,9	892,4

Т, К	Плотность конденсата и его фракции				
	150–175°C	175–200°C	200–225°C	225–250°C	250–к.к.
323,15	781,8	790,8	813,6	850,6	885,1
333,15	774,3	783,2	806,1	843,3	877,9
343,15	766,8	775,6	798,6	836,0	870,7
353,15	759,3	768,0	791,1	828,7	863,5
363,15	751,8	760,3	783,5	821,5	856,3
373,15	744,3	752,7	776,0	814,3	849,1
383,15	736,7	745,0	768,5	807,0	841,9
393,15	729,2	737,4	761,0	799,8	834,7
403,15	721,9	729,8	753,4	792,5	827,5
413,15	714,3	722,2	745,9	785,3	820,3
423,15	—	706,9	738,3	778,0	813,1
433,15	—	691,7	730,8	770,7	805,9
443,15	—	—	723,3	763,5	798,7
453,15	—	—	715,8	756,2	791,4
463,15	—	—	708,3	749,0	784,2
473,15	—	—	700,7	741,7	777,0

Таблица 2.111

Значения плотности ρ , кг/м³ газового конденсата
Опошнянского месторождения и его фракций [60]

Т, К	Плотность конденсата и его фракции					
	Конденсат	н.к.—95°C	95–22°C	122–150°C	150–175°C	175–200°C
223,15	—	786,9	831,1	850,6	—	—
233,15	—	777,6	822,5	842,3	855,3	875,8
243,15	—	768,2	813,9	833,9	847,7	868,5
253,15	—	758,8	805,3	825,7	840,1	861,2
263,15	—	749,4	796,7	817,4	832,5	853,9
273,15	838,9	739,9	788,1	819,1	824,9	846,6
283,15	831,3	730,6	779,5	800,8	817,3	839,3
293,15	823,7	721,2	770,9	792,5	809,7	832,0
303,15	816,1	711,8	762,3	784,2	802,1	824,7
313,15	—	702,4	753,7	775,9	794,5	817,4
323,15	—	693,0	745,1	767,6	786,9	810,1
333,15	—	683,6	736,5	759,2	779,3	802,8
343,15	—	674,2	727,9	751,0	771,7	795,5
353,15	—	664,8	719,3	742,7	764,1	788,2
363,15	—	655,4	710,7	734,7	756,5	780,9

Продолжение таблицы 2.111

t, К	Плотность конденсата и его фракции					
	Конденсат	н.к.—95°C	95—22°C	122—150°C	150—175°C	175—200°C
173,15	—	646,0	702,1	726,1	748,9	773,6
183,15	—	636,6	693,5	717,8	741,3	766,3
193,15	—	627,2	684,9	709,5	733,7	759,0
403,15	—	617,8	676,3	—	726,1	751,7
413,15	—	608,4	667,7	—	718,5	744,4
423,15	—	599,0	659,1	—	710,9	737,1
433,15	—	589,6	650,4	—	—	729,8
443,15	—	580,2	641,8	—	—	722,6
453,15	—	570,8	633,2	—	—	—
463,15	—	561,4	624,6	—	—	—
473,15	—	552,0	616,0	—	—	—

Окончание таблицы 2.111

T, К	Плотность конденсата и его фракции					
	200—225°C	225—250°C	250—275°C	275—300°C	300—325°C	325—к.к.
223,15	—	—	—	—	—	—
233,15	—	—	—	—	—	—
243,15	—	—	—	—	—	—
253,15	876,3	—	—	—	—	—
263,15	869,3	882,0	—	—	—	—
273,15	862,3	874,9	876,0	—	—	—
283,15	855,3	867,8	869,2	—	—	—
293,15	848,3	860,7	862,4	859,9	853,5	—
303,15	841,3	853,6	855,6	853,3	847,1	—
313,15	834,3	846,5	848,8	846,7	840,6	—
323,15	827,3	839,4	842,0	840,1	834,2	840,2
333,15	820,3	832,3	835,2	833,4	827,8	834,0
343,15	813,3	825,2	828,4	826,8	821,4	827,8
353,15	806,3	818,1	821,6	820,2	814,9	821,6
363,15	799,3	811,0	814,8	813,6	808,5	815,5
373,15	792,3	803,9	808,0	807,0	802,1	809,3
383,15	785,3	796,8	801,2	800,4	795,6	803,1
393,15	778,3	789,7	794,4	793,8	789,2	796,9
403,15	771,3	860,7	787,6	787,2	782,8	790,7
413,15	764,3	775,5	780,8	780,5	776,4	784,5
423,15	757,3	768,4	774,0	773,9	769,9	778,4
433,15	750,3	761,3	767,3	767,3	763,5	772,2
443,15	743,3	754,2	760,5	760,7	757,1	766,0
453,15	848,3	747,1	753,7	754,1	750,7	759,8
463,15	729,3	740,0	746,9	747,5	744,2	753,6
473,15	722,3	732,9	710,1	740,9	737,8	747,4

Таблица 2.112

Значения плотности ρ , кг/м³ газового конденсата Опошнянского месторождения при различных температурах и давлениях [60]

T, К	Плотность при давлении P, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
293,15	823,7	830,1	836,2	841,8	847,1	852,2	856,1
323,15	801,0*	808,4	815,9	822,4	828,8	834,2	838,7
353,15	777,8*	787,1	795,2	802,5	809,2	815,7	821,3
383,15	752,4*	763,3	772,8	781,1	788,4	795,6	801,0
413,15	726,1*	739,4	749,7	758,7	767,0	774,0	780,9
443,15	699,1*	713,8	725,4	735,8	744,9	752,0	759,6
473,15	671,3*	686,6	699,5	710,8	720,3	728,8	736,7

*Значения плотности при давлении насыщения.

Таблица 2.113

Значения плотности ρ , кг/м³ фракции н.к.–95°С газового конденсата Опошнянского месторождения при различных температурах и давлениях [60]

T, К	Плотность при давлении P, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
263,15	749,4	756,8	764,4	771,4	778,2	784,0	790,0
293,15	721,2	731,3	740,2	748,6	755,8	762,6	768,7
323,15	693,0*	705,4	716,0	725,3	733,5	741,2	748,0
353,15	660,1*	675,7	689,9	700,3	709,6	718,2	725,8
383,15	625,9*	645,9	661,8	674,5	685,4	695,1	703,6
413,15	589,6*	614,8	634,2	649,1	661,7	672,3	681,8
443,15	547,2*	585,0	610,7	629,6	644,4	657,3	668,3
473,15	501,6*	573,4	612,2	638,0	657,7	674,2	688,3

*Значения плотности при давлении насыщения.

Таблица 2.114

Значения плотности ρ , кг/м³ фракции 200–225°С газового конденсата Опошнянского месторождения при различных температурах и давлениях [60]

T, К	Плотность при давлении P, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
263,15	869,8	875,3	880,4	885,2	890,1	895,6	899,8
293,15	848,3	855,5	861,7	867,6	873,0	878,2	883,3
323,15	827,4	835,6	843,0	849,4	855,4	861,2	866,6
353,15	806,3	815,5	823,8	831,3	838,1	844,4	850,0
383,15	785,3	795,4	804,7	812,7	820,4	827,1	833,7
413,15	764,3	776,0	786,1	795,4	803,2	810,1	817,0
443,15	743,6	756,0	767,2	777,4	786,0	794,4	800,6
473,15	722,3	736,5	748,8	759,3	768,5	776,8	784,1

Таблица 2.115

**Значения плотности ρ , кг/м³ фракции 325–к.к.°С газового конденсата
Опошнянского месторождения при различных
температурах и давлениях [60]**

T, К	Плотность при давлении P, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
123,15	840,2	845,8	851,3	856,3	861,0	865,6	869,9
153,15	821,6	827,8	834,3	839,9	845,0	850,6	855,0
183,15	803,1	810,3	817,8	824,0	829,9	835,6	840,6
213,15	784,5	792,8	800,7	807,7	813,9	820,2	825,6
243,15	766,0	775,2	784,1	792,0	799,0	805,5	811,4
273,15	747,4	758,5	767,9	776,4	784,0	790,9	797,5

Таблица 2.116

**Значения плотности ρ , кг/м³ газового конденсата
Солоховского месторождения и его фракций [60]**

T, К	Плотность конденсата и его фракций					
	Конденсат	н.к. –60°С	60–95°С	95–122°С	122–150°С	150–175°С
223,15	—	713,9	780,0	820,0	835,4	—
233,15	—	704,1	770,9	811,6	827,2	839,6
243,15	—	694,3	762,0	803,2	819,0	831,8
253,15	—	684,5	753,0	794,8	810,8	824,0
263,15	—	674,7	743,9	786,4	802,6	816,2
273,15	806,0	664,9	735,0	778,0	794,4	808,4
283,15	797,6	655,1	725,9	769,6	786,2	800,6
293,15	789,2	645,3	717,0	761,2	778,0	792,8
303,15	780,8	635,4	708,0	752,8	769,8	785,0
313,15	—	—	699,0	744,4	761,6	777,2
323,15	—	—	690,0	736,0	753,4	769,4
333,15	—	—	681,0	727,6	745,2	761,6
343,15	—	—	—	719,2	736,9	753,8
353,15	—	—	—	710,8	728,8	746,0
363,15	—	—	—	702,4	720,6	738,2
373,15	—	—	—	—	712,4	730,4
383,15	—	—	—	—	704,2	722,6
393,15	—	—	—	—	696,0	714,8
403,15	—	—	—	—	687,8	707,0
413,15	—	—	—	—	679,6	699,2
423,15	—	—	—	—	671,4	691,4
433,15	—	—	—	—	663,2	—
443,15	—	—	—	—	655,0	—
453,15	—	—	—	—	646,8	—
463,15	—	—	—	—	638,6	—
473,15	—	—	—	—	630,4	—

Т, К	Плотность конденсата и его фракции						
	175–200°C	200–225°C	225–250°C	250–275°C	275–300°C	300–325°C	325–К.В.
223,15	—	—	—	—	—	—	—
233,15	851,3	—	—	—	—	—	—
243,15	843,7	—	—	—	—	—	—
253,15	836,1	—	—	—	—	—	—
263,15	828,5	845,0	857,9	—	—	—	—
273,15	820,9	837,7	850,7	860,0	—	—	—
283,15	813,3	830,4	843,5	853,0	—	—	—
293,15	805,7	823,1	836,3	846,0	849,6	850,2	—
303,15	798,1	815,8	829,1	839,0	842,9	843,7	—
313,15	790,5	808,5	821,9	832,0	836,2	837,2	—
323,15	782,9	801,2	814,7	825,0	829,5	830,7	837,8
333,15	775,3	793,9	807,5	818,0	822,8	824,2	831,5
343,15	767,7	786,6	800,3	811,0	816,1	817,7	825,2
353,15	760,1	779,3	793,1	804,0	809,4	811,2	818,9
363,15	752,5	772,0	785,9	797,0	802,7	804,7	812,6
373,15	744,9	764,7	778,7	790,0	796,0	798,2	806,3
383,15	737,3	757,4	771,5	783,0	789,3	791,7	800,0
393,15	729,7	750,1	764,3	776,0	782,6	785,2	793,7
403,15	722,1	742,8	757,1	769,0	775,9	778,7	787,5
413,15	714,5	735,5	749,9	762,0	769,2	772,2	781,2
423,15	706,9	728,2	742,7	755,0	762,4	765,6	774,9
433,15	699,3	720,9	735,5	748,0	755,8	759,1	768,6
443,15	691,7	713,6	728,3	741,0	749,0	752,6	762,3
453,15	—	706,3	721,1	734,0	742,3	746,1	756,0
463,15	—	699,0	713,9	727,1	735,6	739,6	749,7
473,15	—	691,7	706,7	720,1	728,9	733,1	743,4

Таблица 2.117

Значения плотности ρ , кг/м³ газового конденсата Солоховского месторождения при различных температурах и давлениях [60]

Т, К	Плотность при давлении P , МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
293,15	789,2	797,0	804,2	810,3	817,0	822,5	828,2
323,15	763,1*	772,0	780,4	787,6	795,2	801,3	807,6
353,15	734,7*	745,2	754,4	762,8	771,1	778,4	784,8
383,15	703,2*	716,1	723,4	737,8	746,6	754,3	761,6
413,15	668,7*	683,4	696,6	707,9	718,7	727,6	735,4
443,15	630,0*	647,6	662,4	671,0	687,9	697,8	706,3
473,15	587,4*	607,8	626,0	640,1	652,0	662,4	671,4

*Значения плотности при давлении насыщения.

Таблица 2.118

Значения плотности ρ , кг/м³ фракции 95–122°С газового конденсата
Солоховского месторождения при различных
температурах и давлениях [60]

Т, К	Плотность при давлении Р, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
163,15	786,4	791,6	798,0	803,1	807,0	812,4	818,1
193,15	761,2	768,9	776,6	783,1	789,1	794,8	800,5
123,15	736,0*	745,7	755,0	762,6	769,8	776,0	782,4
103,15	710,8*	723,0	733,6	742,4	750,4	757,7	764,4
101,15	685,6*	699,9	712,0	722,1	731,4	739,4	746,7
413,15	657,2*	675,0	689,3	701,0	711,9	720,0	728,0
443,15	625,0*	647,2	664,3	678,1	690,0	699,4	708,0
473,15	589,0*	616,6	637,0	652,8	665,8	677,0	686,9

* Значения плотности при давлении насыщения.

Таблица 2.119

Значения плотности ρ , кг/м³ фракции 200–225°С газового конденсата
Солоховского месторождения при различных
температурах и давлениях [60]

Т, К	Плотность при давлении Р, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
263,15	845,0	850,0	854,6	859,1	863,3	867,9	872,7
293,15	823,1	829,3	835,1	840,6	845,8	850,6	855,0
323,15	801,2	808,7	815,6	821,8	827,7	833,0	838,4
353,15	779,3	788,1	796,0	802,9	809,0	815,0	821,6
383,15	757,4	767,3	776,0	784,1	791,1	797,9	804,2
413,15	735,5	746,2	756,4	761,1	774,0	780,9	788,6
443,15	713,6	726,0	738,0	748,9	757,7	765,2	773,4
473,15	691,7	708,2	721,7	733,1	743,4	752,3	760,3

Таблица 2.120

Значения плотности ρ , кг/м³ фракции 325–к.к.°С газового конденсата
Солоховского месторождения при различных
температурах и давлениях [60]

Т, К	Плотность при давлении Р, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
323,15	837,8	843,7	849,1	854,3	859,2	863,7	868,3
353,15	818,9	825,9	832,6	838,5	844,0	849,0	853,8
383,15	800,0	807,9	815,3	822,2	828,1	833,7	839,2
413,15	781,2	790,0	798,2	805,9	812,6	818,6	824,8
443,15	762,2	772,3	781,5	789,8	797,1	803,2	809,8
473,15	743,4	754,7	764,6	773,5	781,6	788,3	799,4

Таблица 2.101

Значения плотности ρ , кг/м³ фракции 325–к.к.°С газовых конденсатов
Рыбальского, Юбилейного, Некрасовского, Перещепинского
и Шебелинского месторождений при различных
температурах и давлениях [60]

Т, К	Плотность газовых конденсатов месторождения				
	Рыбальское	Юбилейное	Некрасовское	Перещепинское	Шебелинское
243,15	833,5	—	833,3	—	—
253,15	825,7	830,4	825,4	—	798,7
263,15	817,9	823,3	817,5	774,5	791,2
273,15	810,1	816,2	809,5	766,7	783,7
283,15	802,3	809,0	801,6	759,0	776,2
293,15	794,5	801,9	793,7	751,3	768,7
303,15	786,7	—	—	743,6	761,2
313,15	778,9	—	—	735,9	—
323,15	771,1	—	—	—	—

3. ВЯЗКОСТЬ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ И ГАЗОВЫХ КОНДЕНСАТОВ

Коэффициент вязкости является одной из основных физико-химических констант, характеризующих вещество в жидком и газообразном состоянии. Он входит в качестве одной из определяющих величин в фундаментальные уравнения гидродинамики и теплообмена. Поэтому для научно обоснованного проектирования оборудования, выбора оптимальных термодинамических параметров процессов получения углеводородов, добычи и подготовки к транспорту природного газа и газового конденсата, а также переработки последнего требуются надежные и исчерпывающие сведения о коэффициентах вязкости в широком диапазоне параметров состояния.

В настоящее время накоплен большой экспериментальный материал о вязкости различных индивидуальных веществ, в том числе углеводородов. Установлен ряд теоретических, полуэмпирических и эмпирических зависимостей, позволяющих вычислить величину коэффициента вязкости чистых веществ. Достаточно подробно методы экспериментального определения, способы предвычисления вязкости индивидуальных углеводородов и их смесей изложена в монографиях [1–3].

Для определения вязкости в широком интервале параметров состояния жидкостей и особенно многокомпонентных жидких смесей, каковыми являются газовые конденсаты, надежные методы, основанные на физических предположениях, отсутствуют, поэтому существующие расчетные уравнения носят эмпирический или полуэмпирический характер и получены на основе экспериментальных данных. В связи с этим большое значение приобретают надежные экспериментальные данные по вязкости углеводородов и газовых конденсатов.

В данной главе приводятся методы измерения динамической вязкости, описание экспериментальной установки, с помощью которой произведено подавляющее большинство измерений вязкости, как индивидуальных углеводородов, так и газовых конденсатов.

3.1. Методы экспериментального определения вязкости углеводородов и газовых конденсатов

Все методы экспериментального определения коэффициентов динамической вязкости газов и жидкостей основаны на законе сил внутреннего трения, который впервые был сформулирован в виде гипотезы

Ньютоном. Согласно этому закону при движении газа или жидкости между двумя соседними слоями действует сила, пропорциональная скорости относительного движения слоев и площади их соприкосновения. Эта сила действует в направлении, перпендикулярном движению, и называется внутренним трением или вязкостью.

Аналитически этот закон выражается уравнением:

$$F = -\eta S \frac{\Delta V}{\Delta n}, \quad (3.1)$$

где F — сила внутреннего трения; S — площадь соприкосновения; V/n — градиент скорости в направлении нормали к движущимся слоям.

Коэффициент пропорциональности η называется коэффициентом динамической вязкости.

Впервые Навье вывел общие уравнения для движения в реальных вязких жидкостях. Он также дал определение постоянной, которая идентична определению коэффициента внутреннего трения, выведенного из гипотезы Ньютона. Уравнения, полученные Навье, были позднее выведены Пуассоном и Стоксом. Гаген, исследуя поток воды через капилляры при различных температурах, установил, что объем воды, вытекающей в единицу времени, пропорционален давлению и четвертой степени радиуса и обратно пропорционален длине капилляра. К аналогичным результатам впоследствии пришел Пуазейль.

Окончательную теоретическую обоснованность вискозиметрия получила благодаря Рейнольдсу, который установил, что существует верхний предел градиента скорости, выше которого вязкое истечение жидкости переходит в беспорядочное или турбулентное, к которому законы ламинарного (струйного) течения не пригодны. Этот предел характеризуется числом Рейнольдса. Для прямых гладких труб число Рейнольдса при ламинарном течении не превышает 2300.

Размерность коэффициентов динамической вязкости в различных системах единиц приводится ниже.

Система единиц	Единица измерения	н·с/м ²	г/см·с	кг·с/м ²
СИ (международная)	н·с/м ²	1	10	0,102
СГС (физическая)	г/см·с	0,1	1	102·10 ⁻⁴
МКС (техническая)	кг·с/м ²	9,81	98,1	1

Отношение коэффициента динамической вязкости к плотности называется коэффициентом кинематической вязкости:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}, \quad (3.2)$$

размерность которого в физической системе единиц равна см²/с. Эта единица называется стоксом (Ст). В системе СИ размерность кинематической вязкости выражается в м²/с.

Величина, обратная динамической вязкости, называется текучестью:

$$\vartheta = \frac{1}{\eta}, \quad (3.3)$$

размерность текучести в физической системе единиц — с·мс/г, в системе СИ — м·с/кг.

Наиболее распространенными методами для определения коэффициента динамической вязкости газов и жидкостей, в частности, вязкость углеводородов и газовых конденсатов, которыми сделана основная масса всех исследований являются: метод капилляра — вязкость определяется при протекании исследуемой среды через трубки малого диаметра — капилляр; метод свободно подающего груза и катящегося по наклонной траектории шарика; метод колеблющегося диска или шара; метод вращения цилиндра.

Подробно методы измерения вязкости газов и жидкостей и конструкции вискозиметров изложены в работах [1–9].

Теоретическим обоснованием метода капилляра является известное уравнение Гагена-Пуазейля для ламинарного течения газов и жидкостей:

$$\eta = \frac{\pi \cdot r^4 \Delta P}{8 l V}, \quad (3.4)$$

где ΔP — перепад давления на концах капилляра; r — радиус капилляра; l — длина капилляра; V — объем вещества, протекшего через капилляр в единицу времени.

Для определения коэффициента вязкости по этому уравнению необходимо знать диаметр и длину капилляра, перепад давления на концах капилляра, объем вещества, протекшего через капилляр в единицу времени.

В реальных условиях при расчете коэффициента динамической вязкости из данных опыта в уравнение (3.4) необходимо вводить ряд поправок в зависимости от конструкции используемого вискозиметра и условий проведения опыта.

Метод капилляра считается наиболее надежным и теоретически обоснованным из всех методов исследования вязкости газов и жидкостей. Значения коэффициентов динамической вязкости, полученные на капиллярных вискозиметрах, отличаются большой точностью, измерения различных исследователей хорошо согласуются между собой.

Вискозиметры, выполненные по капиллярному методу, относительно несложны в изготовлении и обслуживании, позволяют измерять коэффициент вязкости как в абсолютном, так и относительном варианте.

Широкие и систематические исследования вязкости газов и жидкостей были проведены под руководством проф. И. Ф. Голубева, при

этом было разработано несколько вариантов конструкции вискозиметров. Наиболее удачной конструкцией следует считать вискозиметр 5-го варианта, а также вискозиметр с выносным капилляром. Эти вискозиметры получили признание среди исследователей, измеряющих ряд технически важных веществ, в том числе, углеводородов и газовых конденсатов [1—3, 10—15].

Метод колеблющегося диска (цилиндра или шара) основан на изменении амплитуды вращательных колебаний диска, помещенного в жидкость или газ. Амплитуда колебаний диска монотонно убывает, причиной уменьшения амплитуды является вязкость окружающей среды. Скорость убывания амплитуды характеризуется логарифмом отношения двух последовательных амплитуд — логарифмическим декрементом затухания. Величина логарифмического декремента затухания пропорциональна вязкости, что составляет основу экспериментального метода вычисления вязкости.

Достоинством метода является проведение опытов при постоянном давлении в вакууме, вблизи критической точки и на линии насыщения.

К трудностям метода следует отнести необходимость очень точного измерения амплитуд колебания, а также конструктивные сложности, связанные с наблюдением амплитуды колебания диска при высоких давлениях и изменением упругости подвесной нити при высоких температурах.

Принцип измерения вязкости по методу вращения цилиндра заключается в следующем. Два коаксиальных цилиндра, один из которых подвешен на упругой проволоке, а другой свободно вращается, погружены в исследуемую среду. При вращении наружного цилиндра с постоянной угловой скоростью жидкость передает внутреннему цилиндру вращающий момент. Для сохранения состояния покоя внутреннего цилиндра необходимо приложить равный, но противоположный по знаку момент, создаваемый упругой силой проволоки.

Достоинством метода является то, что для расчета коэффициента вязкости из данных опыта не требуется знания плотности исследуемого вещества. Погрешность метода составляет $\pm 3 + 5\%$.

К трудностям метода следует отнести сложность конструктивного оформления вискозиметра в отношении соблюдения строгой соосности цилиндров с учетом высоких температур и давлений.

Теоретической предпосылкой метода падающего груза является классическая задача гидродинамики о движении шара в бесконечной жидкой среде. При равномерном медленном падении шара в жидкой среде сила сопротивления уравнивается его кажущимся весом.

В практике применяются вискозиметры, в которых между цилиндрической трубкой и падающим в ней цилиндрическим грузом или шариком устанавливается узкий цилиндрический зазор. В связи с этим

применение этого метода связано с необходимостью учета ряда трудно определяемых поправок и связанную с этим невысокую точность измерения вязкости (погрешность метода 5–8%). Поэтому этот метод обычно используется в относительном варианте. К достоинствам этого метода нужно отнести простоту конструктивного исполнения и методики измерения коэффициента динамической вязкости.

Таким образом, краткий обзор и анализ современных методов экспериментального определения коэффициента динамической вязкости показал, что для исследования вязкости углеводородов и газовых конденсатов целесообразно использовать капиллярный метод.

3.2. Экспериментальная установка и методика проведения измерений вязкости

Экспериментальная установка состоит из вискозиметрического прибора, системы создания и измерения давления, системы термостатирования и измерения температуры и схемы автоматического измерения времени истечения жидкости через капилляр.

Вискозиметрический прибор. Вискозиметрический прибор включает в себя стеклянный вискозиметр, который вставляется в вискозиметрический сосуд высокого давления.

Стеклянный вискозиметр (рис. 3.1) имеет нижний баллончик (1), внутри которого расположена соединительная трубка овального сечения (8). Нижний конец соединительной трубки не доходит до дна баллончика на 2–3 мм, а верхний переходит в измерительный (3) и предварительный (4) баллончики.

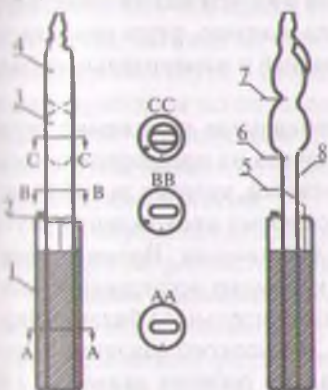


Рис. 3.1. Принципиальная схема вискозиметра с выносным капилляром: 1 — нижний баллончик; 2 — отверстие для заливки ртути; 3 — измерительный баллончик; 4 — предварительный баллончик; 5, 6, 7 — платиновые контакты; 8 — соединительная трубка

В верхнюю часть предварительного баллончика приварена стеклянная трубка, которая через промежуточные трубки соединяет его с капилляром, помещенным в трубке высокого давления. На нижнем баллончике имеется отверстие (2) для заливки в вискозиметр ртути. Для фиксации измерительного объема в вискозиметр впаяно три контакта из платиновой проволоки диаметром 0,25 мм. Из них два контакта расположены на входе (7) и выходе

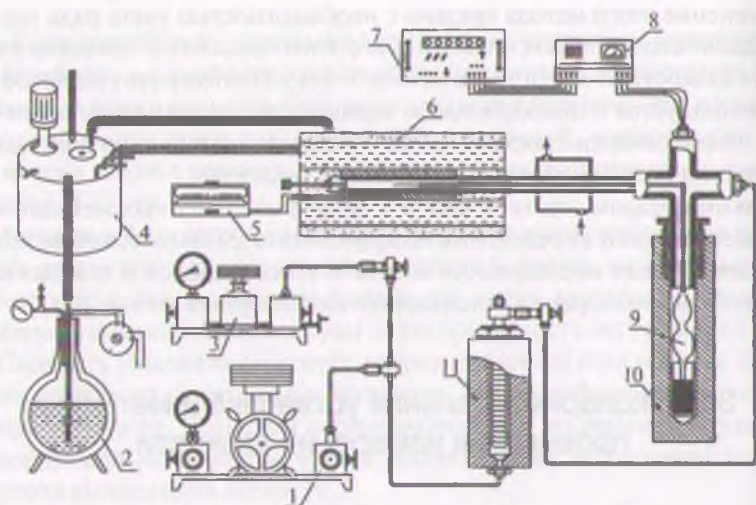


Рис. 3.2. Принципиальная схема экспериментальной установки по исследованию вязкости газов и жидкостей: 1 — грузопоршневой манометр МП-600; 2 — сосуд Дьюара; 3 — грузопоршневой манометр МП-60; 4 — ультратермостат; 5 — гальванометр М195/1; 6 — термостат; 7 — частотомер-хронометр; 8 — реле времени; 9 — вискозиметр; 10 — вискозиметрический сосуд высокого давления; 11 — разделительный сосуд

(6) измерительного баллончика, один (5) на нижнем баллончике для постоянного контакта с ртутью.

Принцип действия вискозиметра. В исходном — вертикальном положении вискозиметра вся ртуть находится на нижнем баллончике. При повороте вискозиметра в горизонтальное положение, ртуть разливается по всей его длине, заполняя предварительный и измерительный баллончики.

При возвращении вискозиметра в вертикальное положение ртуть под действием силы тяжести перетекает сначала из предварительного, потом из измерительного баллончиков в нижний, увлекая за собой исследуемую жидкость. При этом фиксируется время прохождения ртути между двумя контактами измерительного баллончика. Время истечения ртути равно времени истечения через капилляр исследуемой жидкости, количество которой равно объему измерительного баллончика.

Вискозиметрический сосуд (10) (рис. 3.2) высокого давления изготовлен из нержавеющей стали и рассчитан на рабочее давление 150 МПа. Он при помощи двух полуосей смонтирован на стойках рамы таким образом, что может вращаться вокруг горизонтальной оси. Одна из полуосей снабжена стопорным устройством, фиксирующим строго вертикальное и горизонтальное положение сосуда.

Вискозиметр (9) подвешивается за ушко к крестовине и вставляется в сосуд высокого давления, термостатируемый при комнатной темпе-

ратуре. Соединение крестовины с сосудом высокого давления конусное, уплотняемое с помощью нажимной гайки. В верхней части крестовины размещен электроввод высокого давления, через который введено три проводника во второпластовой оболочке, соединяющие контакты вискозиметра со схемой измерения времени истечения.

Медная тонкостенная трубка, протянутая через крестовину, соединяется фторопластовыми трубками с одной стороны с вискозиметром, с другой — со стеклянной трубкой, переходящей в капилляр.

Справа крестовина соединена с системой создания в установке требуемого давления, слева — с трубкой высокого давления, выполненной из нержавеющей стали. В зоне расположения капилляра на трубке горючей посадкой впрессован медный цилиндрический блок.

В этом блоке просверлено три отверстия: одно для платинового термометра сопротивления, второе для дифференциальной термопары, измеряющей неравномерность распределения температуры по длине блока и третье для термопары, являющейся датчиком регулятора температуры термостата.

Медный цилиндрический блок вставляется в термостат, который смонтирован горизонтально. Внутри термостата медный блок сцентрирован двумя кольцами, изготовленными из меди.

Для заполнения установки исследуемым веществом трубка высокого давления на левом конце имеет стальной капилляр с заглушкой.

Создание и измерение давления опыта (рис. 3.2). Система создания и измерения давления состоит из двух грузопоршневых манометров (МП-60 и МП-600 класса точности 0,05) (1, 3), двух разделительных сосудов (12), залитых до половины своего объема ртутью, и схемы измерения уровня ртути в разделительных сосудах. Один из сосудов соединен с прибором по определению вязкости, а пространство над ртутью заполнено исследуемым веществом. Во втором сосуде пространство над ртутью заполнено трансформаторным маслом и соединено с гидравлическим прессом.

При определении давления опыта (в приборе) учтены перепад давления за счет разности уровней ртути в разделительных сосудах.

Создание и измерение температуры опыта (рис. 3.2). В качестве термостата (6) использован специально изготовленный двухстеночный цилиндрический сосуд из нержавеющей стали, соединенный с ультратермостатом У-10 (4). В качестве термостатирующего агента использовалась полиметилсилоксановая жидкость ПМС-10, которая обеспечивает работу термостата в пределах температур от 210 до 460 К без замены термостатирующего агента. Отрицательные температуры создавались при помощи паров азота, получаемых в сосуде Дьюара (2) и прокачиваемых через змеевик термостата.

Измерение температуры опыта проводилось образцовым платиновым термометром сопротивления ПТС-10 в комплекте с потенциометром Р-363 (8) класса точности 0,03.

Равномерность температурного поля по длине медного блока контролировалось дифференциальной медь-константановой термопарой. Градиент температуры по длине не превышал $0,01^{\circ}\text{C}$.

Измерение времени истечения. Схема автоматического измерения времени истечения ртути между двумя контактами измерительного баллончика включает в себя частотомер-хронометр 522А (7) и приставку контроля положения ртути в вискозиметре. В качестве прибора, указывающего положение уровня ртути в вискозиметре, применен микроамперметр М24. Сопротивление схемы подбирается таким образом, чтобы стрелка микроамперметра находилась в конце шкалы и фиксировалось верхнее положение уровня ртути, когда ртуть находится в предварительном баллончике. При прохождении уровня ртути первого контакта стрелка микроамперметра перемещается в середину шкалы, фиксируя среднее положение уровня ртути, это означает, что ртуть находится в измерительном баллончике. При прохождении уровня ртути второго контакта стрелка микроамперметра уходит в начало шкалы прибора, фиксируя нижнее положение уровня ртути.

Работа схемы измерения времени истечения ртути между двумя контактами измерительного баллончика вискозиметра осуществляется следующим образом. При горизонтальном положении вискозиметра предварительный баллончик заполнен ртутью, в это время стрелка микроамперметра показывает крайнее левое положение, а частотомер-хронометр готов к измерению. При возвращении вискозиметра в вертикальное положение уровень ртути начинает опускаться, и в момент размыкания с верхним контактом частотомер-хронометр автоматически начинает отсчет времени, а стрелка микроамперметра показывает среднее положение. При размыкании со вторым контактом частотомер-хронометр заканчивает отсчет и фиксирует время истечения ртути между двумя контактами измерительного баллончика.

Время истечения ртути между контактами измерительного баллончика вискозиметра фиксируется с точностью 0,05 с.

Подготовка установки для проведения измерений. Подготовка заключается в выборе вискозиметра с подходящим капилляром для измерений, сборки экспериментальной установки, заполнении ее исследуемым веществом и проверке на герметичность.

Выбор вискозиметра с необходимым диаметром капилляра производится исходя из предварительного предела изменения вязкости исследуемого вещества. Такая оценка производится приблизительно по вязкости при атмосферном давлении. При этом время истечения фиксируемого объема исследуемого вещества через капилляр не должно быть

слишком малым, чтобы не допустить большой ошибки в измерении вязкости и не очень большим, так как опыт может продлиться слишком долго, а сохранение изотермичности процесса конкретного измерения обязательно. Характер движения измеряемого вещества в капилляре должен быть ламинарным, для этого значение числа Рейнольдса не должно превышать 2300. Число Рейнольдса с учетом линейной скорости потока вещества через капилляр имеет вид:

$$Re = \frac{4V\rho}{\pi d\eta\tau}, \quad (3.5)$$

где V — объем вещества, протекающего через капилляр; ρ — плотность исследуемого вещества; d — диаметр капилляра; τ — время истечения вещества через капилляр.

Подставляя в эту формулу предполагаемые значения вязкости, плотности и времени истечения через капилляр исследуемого вещества, можно подобрать для данного конкретного случая размеры диаметра капилляра и геометрического объема измерительного баллончика.

Для вычисления значений коэффициентов динамической вязкости из данных опыта необходимо знать основные геометрические характеристики вискозиметра: радиус и длину капилляра, объем измерительного баллончика, длину ртутного столба в начале и конце истечения, уровень ртути в нижнем баллончике (рис. 3.3). Проводились тщательное измерение и калибровка указанных величин. Подробное описание технологии проведения измерения и калибровки геометрических размеров вискозиметра и капилляра приводится в работе [3].

Откалиброванные капилляры с круглым поперечным сечением и с участками постоянных диаметров, приваривались к кварцевым трубкам, внешним диаметром 2 мм, внутренним — 1,5 мм и длиной 400 мм. Для измерения вязкости газовых конденсатов имелся набор таких тру-

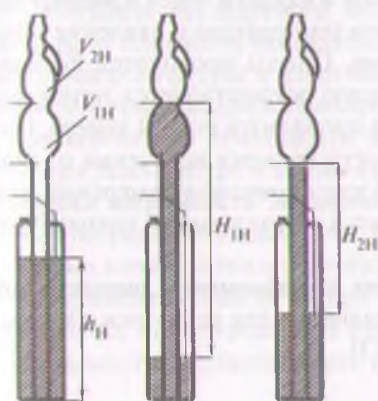


Рис. 3.3. Схема истечения ртути в вискозиметре: V_{1H} , V_{2H} — соответственно геометрические объемы измерительного и предварительного баллончиков; h — уровень ртути в нижнем баллончике; H_{1H} , H_{2H} — соответственно перепады уровня ртути в начале и конце истечения через измерительный баллончик

бок с капиллярами. В частности размеры капилляров, примененные нами, были следующие:

$$\begin{aligned} d_1 &= 0,01262 \text{ см}; \quad l_1 = 9,790 \text{ см}; \quad d_4 = 0,01032 \text{ см}; \quad l_4 = 9,804 \text{ см}; \\ d_2 &= 0,00912 \text{ см}; \quad l_2 = 9,725 \text{ см}; \quad d_5 = 0,01298 \text{ см}; \quad l_5 = 7,918 \text{ см}; \\ d_3 &= 0,00985 \text{ см}; \quad l_3 = 8,974 \text{ см}; \quad d_6 = 0,01147 \text{ см}; \quad l_6 = 9,363 \text{ см}. \end{aligned}$$

Стеклянный вискозиметр изготавливается независимо от капилляра и калибруется. Геометрические размеры двух вискозиметров приводятся ниже.

Наименование параметров	Вискозиметр	
	№ 1	№ 2
Измерительный объем $V_H \cdot 10^6, \text{ м}^3$	1,7245	1,8813
Уровень ртути в нижнем баллончике $h_H \cdot 10^2, \text{ м}$	4,582	4,648
Перепад уровня ртути в начале истечения $H_{1H} \cdot 10^2, \text{ м}$	7,634	7,648
Перепад уровня ртути в конце истечения $H_{2H} \cdot 10^2, \text{ м}$	3,625	3,770
Средний интегральный перепад уровней ртути $H_H \cdot 10^2, \text{ м}$	5,382	5,484

Перед проведением измерений вискозиметр заполняется строго определенным объемом ртути и помещается в сосуд высокого давления. Далее вискозиметр соединяется с капилляром. Гидравлическая система установки заполняется исследуемым веществом. После чего установка проверяется на герметичность.

Методика проведения опытов. Перед началом опытов проверяются схемы измерения температуры и измерения времени истечения исследуемого вещества через капилляр. Затем создается требуемый стационарный тепловой режим в установке. Выход на режим контролируется по показаниям образцового платинового термометра сопротивления ПТС-10 и дифференциальной медь-константановой термопары. Далее с помощью гидропресса грузопоршневого манометра в гидравлической системе установки создается требуемое давление и проводится измерение времени истечения исследуемой жидкости через измерительный участок капилляра. Во время опыта температура и давление в установке поддерживаются постоянными. Опыты проводятся по изотермам. Переход из одной точки в другую осуществляется путем повышения давления. На каждом режиме проводится по 3–4 замера. Одновременно строится график зависимости времени истечения от давления при постоянной температуре. После окончания измерений при одной температуре установка переводится на следующий температурный режим.

Расчетное уравнение для вычисления коэффициента динамической вязкости из опыта. Вывод расчетного уравнения для установки с выносным капилляром приводится в работе [3].

При выводе расчетного уравнения были внесены следующие поправки, учитывающие специфику методики определения коэффициента динамической вязкости на установке с выносным капилляром: на кинетическую энергию исследуемой жидкости; на изменение геометрических размеров капилляра с изменением температуры; на изменение плотностей ртути и исследуемого вещества в зависимости от условий опыта.

С учетом всех поправок расчетное уравнение имеет вид:

— для измерения при низких температурах (ниже 20°C)

$$\eta = A(1 - 3\alpha\Delta T) \frac{\rho_i}{\rho_0} \tau \left\{ \left[\frac{\rho_{рт}}{\rho_{рtn}}(1+a) - a \right] \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_{орт}} \right) - \frac{B\rho_0^2}{(1 - 4\alpha\Delta T)\tau^2\rho_i} \right\}, \quad (3.6)$$

— для измерения при высоких температурах (выше 20°C)

$$\eta = A(1 + 3\alpha\Delta T) \frac{\rho_i}{\rho_0} \tau \left\{ \left[\frac{\rho_{рт}}{\rho_{рtn}}(1+a) - a \right] \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_{орт}} \right) - \frac{B\rho_0^2}{(1 - 4\alpha\Delta T)\tau^2\rho_i} \right\}, \quad (3.7)$$

где

$$A = \frac{9,81\rho_{рtn}H_H\pi r_H^4}{8V_{1H}l_H}; \quad B = \frac{mV_{1H}^2}{9,81\rho_{рtn}H_H\pi^2r_H^4};$$

$$a = \frac{h_H}{H_H}; \quad H_H = \frac{H_{1H} - H_{2H}}{\ln \frac{H_{1H}}{H_{2H}}},$$

$r_H, l_H, h_H, V_{1H}, H_{1H}, H_{2H}$ — геометрические размеры вискозиметра; τ — время истечения ртути между контактами измерительного баллончика; m — численная величина, равная 1,12; ΔT — разность температур опыта и калибровки геометрических размеров вискозиметра и капилляра; ρ_i — плотность исследуемого вещества при температуре и давлении опыта; ρ_0 — плотность исследуемого вещества при температуре вискозиметрического сосуда и давлении опыта; $\rho_{орт}$ — плотность ртути при комнатной температуре и атмосферном давлении; $\rho_{рт}$ — плотность ртути при комнатной температуре и давлении опыта; $\rho_{рtn}$ — плотность ртути при температуре и давлении опыта.

Оценка погрешности экспериментальных измерений. На основании анализа погрешности измерения коэффициента динамической вязкости газовых конденсатов и их фракций, вычисленных для большого числа экспериментальных точек при различных температурах и давлениях установлено, что погрешность проводимых экспериментальных измерений вязкости оценивается как не превышающая 2%.

3.3. Результаты экспериментальных измерений вязкости углеводородов и газовых конденсатов

Экспериментальные работы по определению коэффициента вязкости углеводородов и газовых конденсатов опубликованы в значительном количестве. Измерения динамической вязкости были проведены различными методами в широком интервале температур и давлений, охватывающих газообразное и жидкое состояния. При этом наиболее надежные данные были получены на установках, работающих методом капилляра. Ниже приведен перечень работ по экспериментальному определению вязкости (численные значения которой представлены в разделах 3.6–3.10) углеводородов и газовых конденсатов с указанием интервалов исследований по температуре и давлению, методы измерения и авторы.

Значения коэффициентов динамической вязкости углеводородов и газовых конденсатов при различных температурах и давлениях, приведенные в табл. 3.12–3.118, являются наиболее надежными из опубликованных в литературе. При подборе таблиц преследовалась также цель дать экспериментальные данные в возможно широких интервалах температур и давлений. В общей сложности в этих таблицах представлены значения коэффициентов динамической вязкости 95 углеводородов и газовых конденсатов. Представленные значения вязкости индивидуальных углеводородов включают парафиновые, олефиновые, ароматические и нафтеновые углеводороды. Значения вязкости газовых конденсатов и их фракций представлены для 21 месторождений, включающих месторождения Российской Федерации и стран СНГ.

Перечень экспериментальных работ по определению вязкости углеводородов и газовых конденсатов, данные которых использованы для составления таблиц разделов 3.6–3.10

Вещество	Авторы исследования	Методы измерения	Диапазон исследования		Литературный источник
			T, К	P, МПа	
1	2	3	4	5	6
Этан	Мещеряков, Голубев	Капилляр	258–523	0,1–80,8	[1]
Пропан	Голубев, Петров	Капилляр	298–523	0,1–80,8	[1]
n-Бутан	Старлинг, Ли, Эйкин, Эллингтон	Капилляр	311–511	0,1–69	[1]
Изо-бутан	Седж, Яле, Леси	Катящийся шарик	310–377	0,1–14	[1]
n-Пентан	Агаев и Голубев	Капилляр	299–548	0,1–51	[2]
n-Гексан	Агаев и Голубев	Капилляр	299–548	0,1–51	[2]

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
■ Гептан	Агаев и Голубев	Капилляр	299–548	0,1–51	[2]
■ Октан	Агаев и Голубев	Капилляр	299–548	0,1–51	[2]
■ Нонан	Агаев и Голубев	Вычислительные значения	348–523	1–80,8	[2]
■ Декан	Агаев и Голубев	Вычислительные значения	323–423	2–40,4	[2]
■ Ундекан	Гусейнов	Капилляр	293–520	0,35–49	[10]
■ Ундекадесан	Гусейнов	Капилляр	324–522	0,35–49	[10]
■ Октадесан	Гусейнов	Капилляр	320–507	0,35–49	[10]
■ Нонадесан	Гусейнов	Капилляр	333–523	0,35–49	[10]
■ Икозан	Керамиди, Расторгуев, Григорьев	Капилляр	350–500	0–49	[16]
■ Гептэикозан	Керамиди, Расторгуев, Григорьев	Капилляр	350–500	0–49	[16]
■ Докозан	Керамиди, Расторгуев, Григорьев	Капилляр	350–510	0–49	[16]
■ Этилен	Голубев, Петров	Капилляр	297–423	0,1–80,8	[1]
■ Пропилен	Голубев, Петров	Капилляр	291–523	0,1–80,8	[1]
■ Бутен-1	Фрост, Гусейнов	Вычислительные значения	163–240 273–773	–	[17, 10]
■ Изобутилен	Голубев	Капилляр	273–573	–	[1]
■ Пентен-1	Россини и др., Гусейнов	Вычислительные значения	183–273 273–773	–	[17, 10]
■ Гексен-1	Гусейнов	Капилляр	158–473	0,1–50	[13]
■ Гептен-1	Гусейнов	Капилляр	173–473	0,1–50	[13]
■ Октен-1	Гусейнов	Капилляр	193–473	0,1–50	[13]
■ Нонен-1	Гусейнов	Капилляр	203–473	0,1–50	[13]
■ Децен-1	Гусейнов	Капилляр	223–473	0,1–50	[13]
■ Бензол	Ахундов	Капилляр	300–550	0,1–40	[14]
■ Толуол	Ахундов	Капилляр	300–550	0,1–40	[14]
■ Этилбензол	Ахундов	Капилляр	300–550	0,1–40	[14]
■ Ксилол	Ахундов	Капилляр	300–550	0,1–40	[14]
■ Ксилол	Ахундов	Капилляр	300–550	0,1–40	[14]
■ Ксилол	Ахундов	Капилляр	320–550	0,1–40	[14]
■ Метилциклопентан	Россини, Подзер и др.	–	248–323	–	[18]
■ Этилциклопентан	Россини, Подзер и др.	–	253–323	–	[18]
■ Циклогексан	Голубев	Капилляр	273–873	–	[1]

1	2	3	4	5	6
Метилциклогексан	Голубев	Капилляр	273–313	—	[11]
Газовый конденсат Вуктыльского месторождения	Казарян	Капилляр	220–460	0,1–60	[19]
Фракция н.к.–60°C	Казарян	Капилляр	220–460	0,1–60	[19]
Фракция 60–95°C	Казарян	Капилляр	220–460	0,1–60	[19]
Фракция 95–122°C	Казарян	Капилляр	220–460	0,1–60	[19]
Фракция 122–150°C	Казарян	Капилляр	220–460	0,1–60	[19]
Фракция 150–175°C	Казарян	Капилляр	220–460	0,1–60	[19]
Фракция 175–200°C	Казарян	Капилляр	230–460	0,1–60	[19]
Фракция 200–к.к.	Казарян	Капилляр	290–460	0,1–60	[19]
Газовый конденсат Оренбургского месторождения	Казарян	Капилляр	220–460	0,1–60	[19]
Фракция н.к.–60°C	Казарян	Капилляр	220–460	0,1–60	[19]
Фракция 60–95°C	Казарян	Капилляр	220–460	0,1–60	[19]
Фракция 95–122°C	Казарян	Капилляр	220–460	0,1–60	[19]
Фракция 122–150°C	Казарян	Капилляр	220–460	0,1–60	[19]
Фракция 150–к.к.	Казарян	Капилляр	240–460	0,1–60	[19]
Газовый конденсат Харасавэйского месторождения	Казарян	Капилляр	220–470	0,1–60	
Газовый конденсат Карачаганакского месторождения	Казарян	Капилляр	280–430	0,1–60	
Газовый конденсат Астраханского месторождения	Казарян	Капилляр	270–470	0,1–60	
Газовый конденсат месторождения Шатлык	Шубин, Абдурахманов	Капилляр	323–473	0,1–50	[11]
Газовый конденсат месторождения Шапахты	Шубин, Абдурахманов	Капилляр	323–473	0,1–50	[11]
Газовый конденсат месторождения Гугуртли	Шубин, Абдурахманов	Капилляр	323–473	0,1–50	[11]
Газовый конденсат месторождения Наип	Шубин, Абдурахманов	Капилляр	323–473	0,1–50	[11]
Газовый конденсат месторождения Северный Мубарек	Шубин, Абдурахманов	Капилляр	323–473	0,1–50	[11]
Газовый конденсат месторождения Ачак	Шубин, Абдурахманов	Капилляр	323–473	0,1–50	[11]

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
Газовый конденсат Майкопского место- рождения (III горизонт) и его фракции	Рудаков	Капилляр	273—423	Атмос- ферное давление	[15]
Газовый конденсат Перевешинского месторождения	Рудаков и Магомадов	Капилляр	273—423	0,1—59	[20]
Газовый конденсат Шобелинского место- рождения	Рудаков и Магомадов	Капилляр	263—423	0,1—59	[20]
Газовый конденсат Рыбальского место- рождения	Рудаков и Магомадов	Капилляр	273—473	0,1—59	[20]
Газовый конденсат Опоницкого место- рождения	Рудаков и Магомадов	Капилляр	283—473	0,1—59	[20]
Фракция н.к.—95°C	Рудаков и Магомадов	Капилляр	263—473	0,1—59	[20]
Фракция 95—122°C	Рудаков и Магомадов	Капилляр	263—473	0,1—59	[20]
Фракция 122—150°C	Рудаков и Магомадов	Капилляр	263—473	0,1—59	[20]
Фракция 150—175°C	Рудаков и Магомадов	Капилляр	263—473	0,1—59	[20]
Фракция 175—200°C	Рудаков и Магомадов	Капилляр	263—473	0,1—59	[20]
Фракция 200—225°C	Рудаков и Магомадов	Капилляр	273—423	0,1—59	[20]
Фракция 225—250°C	Рудаков и Магомадов	Капилляр	293—473	0,1—59	[20]
Фракция 250—275°C	Рудаков и Магомадов	Капилляр	303—473	0,1—59	[20]
Фракция 275—300°C	Рудаков и Магомадов	Капилляр	323—473	0,1—59	[20]
Фракция 300—325°C	Рудаков и Магомадов	Капилляр	333—473	0,1—59	[20]
Фракция 325—к.к.	Рудаков и Магомадов	Капилляр	343—473	0,1—59	[20]
Газовый конденсат Карагаганаского месторождения	Казарян	Капилляр	280—430	0,1—60	
Газовый конденсат Астраханского место- рождения	Казарян	Капилляр	270—470	0,1—60	
Газовый конденсат Солоховского место- рождения	Магомадов	Капилляр	283—473	0,1—60	[12]

1	2	3	4	5	6
Фракция 95–122°C	Магоматов	Капилляр	263–473	0,1–60	[12]
Фракция 122–150°C	Магоматов	Капилляр	263–473	0,1–60	[12]
Фракция 150–175°C	Магоматов	Капилляр	263–473	0,1–60	[12]
Фракция 175–200°C	Магоматов	Капилляр	263–473	0,1–60	[12]
Фракция 200–225°C	Магоматов	Капилляр	263–473	0,1–60	[12]
Фракция 225–250°C	Магоматов	Капилляр	273–473	0,1–60	[12]
Фракция 250–275°C	Магоматов	Капилляр	293–473	0,1–60	[12]
Фракция 275–300°C	Магоматов	Капилляр	313–473	0,1–60	[12]
Фракция 300–325°C	Магоматов	Капилляр	333–473	0,1–60	[12]
Фракция 325–к.к.	Магоматов	Капилляр	343–473	0,1–60	[12]

3.4. Вязкость углеводородов и газовых конденсатов при атмосферном давлении

На рис. 3.4–3.6 приводятся температурные зависимости коэффициента динамической вязкости газообразных и жидких индивидуальных углеводородов парафинового ряда, а также газовых конденсатов ряда месторождений. Как видно из рисунков, вязкость как индивидуальных углеводородов, так и газовых конденсатов существенно зависит от температуры. С увеличением температуры сильно уменьшается вязкость для жидких углеводородов, а для газообразных увеличивается.

На основе элементарной молекулярно-кинетической теории газов впервые было выведено Максвеллом следующее уравнение:

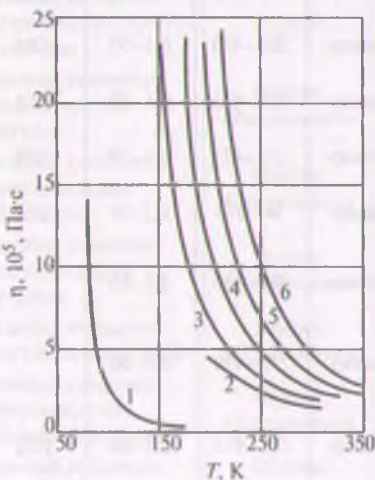


Рис. 3.4. Зависимость коэффициента динамической вязкости жидких углеводородов от температуры:

1 — пропан; 2 — н-бутан;
3 — н-пентан; 4 — н-гексан;
5 — н-гептан; 6 — н-октан

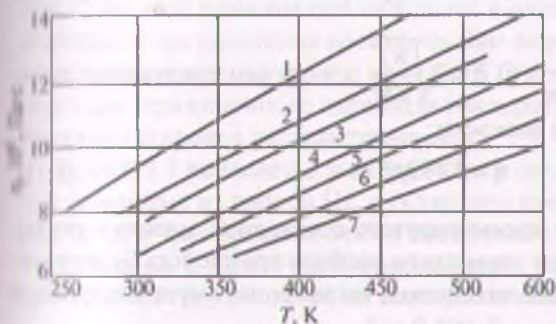


Рис. 3.5. Зависимость коэффициента динамической вязкости газообразных углеводородов от температуры: 1 — этан; 2 — пропан; 3 — н-бутан; 4 — н-пентан; 5 — н-гексан; 6 — н-гептан; 7 — н-октан

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \bar{c} l, \quad (3.8)$$

где ρ — плотность газа $\rho = nm$; $\bar{c}$ — средняя скорость теплового движения молекул; l — средняя длина свободного пробега молекул между двумя последовательными столкновениями; n — число молекул в единице объема; m — масса молекулы.

Позднее были получены и другие уравнения, отличающиеся от уравнения (3.8) только постоянным числовым множителем. В этом случае более общее уравнение для вязкости газов имеет вид:

$$\eta = k \rho \bar{c} l, \quad (3.9)$$

где k — коэффициент пропорциональности, несколько отличающийся по данным различных исследователей в зависимости от тех или иных допущений, принятых при выводе этого уравнения.

Энског, рассматривая молекулы как абсолютно упругие шары, получил следующее уравнение:

$$\eta = \frac{5}{16} 1,016 \sqrt{\frac{MRT}{\pi}} \frac{1}{\pi d^2}, \quad (3.10)$$

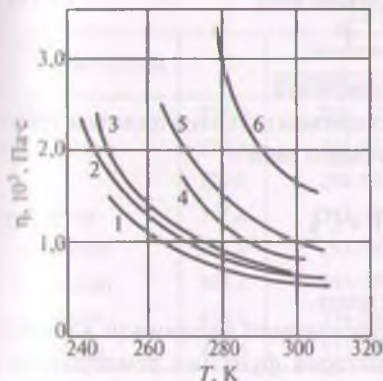


Рис. 3.6. Зависимость коэффициента динамической вязкости газовых конденсатов от температуры: 1 — Шебелинского; 2 — Некрасовского; 3 — Вуктыльского; 4 — Юбилейного; 5 — Солоховского; 6 — Опошнянского месторождений

где d — диаметр молекулы; M — молекулярная масса газа; R — газовая постоянная.

Принимая $l = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n}$ и $\bar{c} = 2 \sqrt{\frac{RT}{\pi M}}$, получим следующее выражение для коэффициента вязкости:

$$\eta = 0,499 \rho \bar{c} l. \quad (3.11)$$

Сезерланд предложил кроме упругого соударения молекул учитывать и их притяжение. При этом длина свободного пробега будет зависеть от температуры, и аналитическое выражение имеет следующий вид:

$$l = \frac{1}{\sqrt{2} \pi n d^2 \left(1 + \frac{C}{T}\right)}. \quad (3.12)$$

Тогда уравнение (3.9) примет вид:

$$\eta_T = \frac{\kappa \rho \bar{c}}{\sqrt{2} \pi n d^2 \left(1 + \frac{C}{T}\right)}. \quad (3.13)$$

Соответственно для 0°C имеем:

$$\eta_0 = \frac{\kappa \rho_0 \bar{c}_0}{\sqrt{2} \pi n d^2 \left(1 + \frac{C}{T_0}\right)}. \quad (3.14)$$

Следовательно, из уравнений (3.13) и (3.14) получаем:

$$\eta_T = \eta_0 \sqrt{\frac{T}{T_0}} \frac{1 + \frac{C}{T_0}}{1 + \frac{C}{T}}, \quad (3.15)$$

где C — характерная для каждого газа константа.

Для вычисления величины C по экспериментальным данным уравнение Сезерленда записывается в следующем виде:

$$\frac{\sqrt{T^2}}{\eta} = \frac{d^2}{A \sqrt{M}} (T + C), \quad (3.16)$$

где $A = 2,7 \cdot 10^{-21}$ — универсальная константа.

Значение константы C не является постоянной величиной в широком интервале температур, а есть некоторая функция температуры.

Чем сильнее силы притяжения между молекулами, тем больше значение C , по этой причине она находится в определенном соотношении с величиной «а» уравнения состояния Ван-дер-Ваальса и теплотой испарения. Несмотря на то, что величину C можно принять постоянной лишь для ограниченного интервала температур, все же уравнение (3.15) получило широкое распространение.

В табл. 3.1 приведены значения C для некоторых углеводородов, заимствованные из работы [1], с указанием пределов температур, в которых следует пользоваться этими значениями.

Величина C может быть приближенно рассчитана через критическую температуру вещества по соотношению:

$$C = 0,893 T_{кр}, \quad (3.17)$$

или, используя температуру кипения вещества $T_{кип}$ (при давлении 760 мм рт. ст.):

$$C = 1,47 T_{кип}. \quad (3.18)$$

Гишфельдер, Кертис, Берд [21], основываясь на кинетической теории Энскога-Чепмена, рассматривавших распределение скоростей молекул газа, с одной стороны, как результат взаимных столкновений а с другой стороны — как результат действия внешних сил, и при этом, избрав в качестве модели межмолекулярного взаимодействия модель Леннарда-Джонса (потенциал Леннарда-Джонса) для вычисления коэффициентов вязкости, приводят следующее уравнение:

$$\eta_T = \frac{266,93 \sqrt{MT}}{\sigma^2 \Omega^{(2,2)}(T^*)} f_{\eta}, \quad (3.19)$$

где η_T — коэффициент вязкости в 10^{-8} Па·с; T^* — приведенная температура, $T^* = T(k/\epsilon)$; k — постоянная Больцмана; σ , ϵ/k — параметры

Таблица 3.1

**Значения коэффициента C уравнения Сесерленда
для некоторых углеводородов**

Углеводороды	C	Интервал температуры T , К	Углеводороды	C	Интервал температуры T , К
Этан	252,0	293–523	<i>n</i> -Октан	337,0	373–523
Пропан	278,0	293–523	<i>n</i> -Нонан	276,0	373–523
	290,0	298–553	Пропилен	321,6	293–393
<i>n</i> -Бутан	377,4	293–393	Изобутилен	339,0	293–393
Изобутан	368,0	293–393	Циклопропан	372,0	293–393
<i>n</i> -Пентан	382,8	395–579	Циклогексан	350,9	395–579
<i>n</i> -Гексан	436,1	394–580	Бензол	447,5	403–586
<i>n</i> -Гептан	445,0	373–525	Толуол	370,0	333–523

Таблица 3.2

Значения f_η для различных T^* [1]

T^*	f_η	T^*	f_η
0,3	1,0014	3,0	1,0034
0,5	1,0002	4,0	1,0049
0,75	1,0000	5,0	1,0058
1,0	1,0000	10,0	1,0075
1,25	1,0001	50,0	1,0079
1,5	1,0004	100,0	1,0080
2,0	1,0014	400,0	1,0080
2,5	1,0025		

потенциальной функции межмолекулярного взаимодействия; $\Omega^{(2,2)}$ — интеграл столкновения; f_η — мало меняющаяся функция от T^* .

Численные значения f_η приведены в табл. 3.2.

Из табл. 3.2 видно, что величина f_η для широкого интервала T^* отличается от единицы меньше, чем на 0,8%. Для вычисления коэффициента вязкости по уравнению (3.19) требуется знание величин ϵ/k и σ . Эти величины определяются из экспериментальных значений вязкости для двух температур с решением уравнения (3.19) относительно искомых величин.

Значения констант, входящих в уравнение (3.19) для парафиновых углеводородов, приведены в табл. 3.3.

Для вычисления значения коэффициента вязкости по уравнению (3.19) нужно еще знать величину интеграла столкновения, которая для

Таблица 3.3

Значения констант ϵ/k и σ , вычисленные по величине η_r [1]

Углеводороды	k/ϵ , К	σ , А
Этан	230	3,882
Пропан	254	5,061
<i>n</i> -Бутан	410	4,997
Изобутан	313	5,341
<i>n</i> -Пентан	345	5,769
<i>n</i> -Гексан	413	5,909
<i>n</i> -Гептан	282*	8,880*
<i>n</i> -Октан	320	7,451
<i>n</i> -Нонан	240	8,448
Бензол	440	5,270
Циклогексан	324	6,093

* Вычислены из второго вириального коэффициента.

значений T^* вычислена Гиршфельдером и др. и приведена в табл. 3.4 [1].

Паргифтик [18] применил следующее уравнение для расчета вязкости газа при атмосферном давлении:

$$\eta_T = \eta_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^m, \quad (3.20)$$

где η_0 — вязкость газа при 273,15 К; m — постоянная, определяемая из экспериментальных данных.

В работе [18] приводятся значения m для многих газов, в том числе и для углеводородов.

Для вязкости газов при атмосферном давлении, приняв за основу принцип соответственных состояний, Голубевым и Петровым [1] была предложена обобщающая температурная зависимость вида:

$$\frac{\eta_T}{\eta_{T_k}} = \eta_\tau = f\left(\frac{T}{T_k}\right) = f(\tau), \quad (3.21)$$

Таблица 3.4
Значения интеграла столкновений $\Omega^{(2,2)}$ для различных T^*

T^*	$\Omega^{(2,2)}$	T^*	$\Omega^{(2,2)}$	T^*	$\Omega^{(2,2)}$	T^*	$\Omega^{(2,2)}$
0,30	2,785	1,35	1,375	2,8	1,058	4,9	0,9305
0,35	2,628	1,40	1,353	2,9	1,048	5,0	0,9269
0,40	2,492	1,45	1,333	3,0	1,039	6,0	0,8963
0,45	2,368	1,50	1,314	3,1	1,030	7,0	0,8727
0,50	2,257	1,55	1,296	3,2	1,022	8,0	0,8538
0,55	2,156	1,60	1,279	3,3	1,014	9,0	0,8379
0,60	2,065	1,65	1,264	3,4	1,007	10,0	0,8242
0,65	1,982	1,70	1,248	3,5	0,9999	20,0	0,7432
0,70	1,908	1,75	1,234	3,6	0,9932	30,0	0,7005
0,75	1,841	1,80	1,221	3,7	0,9870	40,0	0,6718
0,80	1,780	1,85	1,209	3,8	0,9811	50,0	0,6504
0,85	1,725	1,90	1,197	3,9	0,9755	60,0	0,6335
0,90	1,675	1,95	1,186	4,0	0,8700	70,0	0,6194
0,95	1,629	2,0	1,175	4,1	0,9649	80,0	0,6076
1,00	1,587	2,1	1,156	4,2	0,9600	90,0	0,5973
1,05	1,549	2,2	1,138	4,3	0,9553	100,0	0,5882
1,10	1,514	2,3	1,122	4,4	0,9507	200,0	0,5320
1,15	1,482	2,4	1,107	4,5	0,9464	300,0	0,5016
1,20	1,452	2,5	1,093	4,6	0,9422	400,0	0,4811
1,25	1,424	2,6	1,081	4,7	0,9382		
1,30	1,399	2,7	1,069	4,8	0,9343		

где η_T и η_{T_k} — соответственно, вязкость газа при данной температуре и критической температуре; η_c и τ — соответственно, приведенная вязкость и приведенная температура.

Вязкость при критической температуре аналитически можно определить, используя уравнение Камерлинг-Оннес:

$$\eta_{T_k} = K \left(\frac{M^3 P_c^4}{T_c} \right)^{\frac{1}{6}}, \quad (3.22)$$

где K — размерная константа.

Согласно этой зависимости экспериментальные значения коэффициентов вязкости различных газов на графике с координатами η_c — τ должны располагаться на одной общей кривой (приведенная кривая вязкости). В работе [1] найдены аналитические выражения для приведенной кривой вязкости веществ в газообразном состоянии, которыми можно пользоваться при практических вычислениях.

Для $\tau \leq 1$

$$\eta_T = \eta_{T_k} \left(\frac{T}{T_c} \right)^{0.965} \quad (3.23)$$

Для $\tau \geq 1$

$$\eta_T = \eta_{T_k} \left(\frac{T}{T_c} \right)^{0.71 + \frac{0.297}{\tau}} \quad (3.24)$$

Для определения вязкости жидкостей надежных методов, основанных на теоретических предпосылках, не существует. Промежуточное положение, занимаемое жидкостями между газами и твердыми телами, позволяет рассматривать жидкое состояние с двух сторон: твердого тела и газа. Поэтому наиболее распространенные теории вязкости жидкостей могут быть разделены несколько условно на теории, основанные на «газообразной» жидкости и теории, основанные на «кристаллической» жидкости [21–24]. Однако не одна из этих теорий не предлагает простой зависимости, которая позволила бы с достаточной точностью определить вязкость жидкости, поэтому приходится пользоваться эмпирическими методами. Эти методы не противоречат теории, они позволяют аппроксимировать некоторые из неизвестных или неподдающихся расчету теоретических констант по структурным характеристикам или по другим физическим свойствам.

Первые количественные исследования зависимости вязкости от температуры были приведены Пуазейлем [4]. Он установил, что вяз-

вязкость воды при данной температуре может быть выражена через вязкость при температуре 0°C следующей эмпирической формулой:

$$\eta_t = \frac{\eta_0}{1 + \alpha t + \beta t^2}, \quad (3.25)$$

где α и β — постоянные коэффициенты для данной жидкости.

Бачинский [25] формулу (3.25) приводит в более общем виде:

$$\eta = \frac{B}{(t + a)^n}, \quad (3.26)$$

где B , a , n — постоянные, определяемые из экспериментальных данных.

Эта формула дает удовлетворительные результаты для жидкостей в интервале температур от 0°C до температуры кипения, при этом расхождения вычислительных и опытных данных не превышают 2%. Позднее Бачинский предложил уравнение, связывающее вязкость с удельным объемом:

$$\eta = \frac{c}{V - \omega}, \quad (3.27)$$

где c и ω — постоянные, характерные для данной жидкости и определяемые из экспериментальных данных по вязкости; V — удельный объем жидкости.

Голубев и Агаев [2] для обобщения экспериментальных данных парафиновых углеводородов от метана до n -октана применили эмпирическое уравнение следующего вида:

$$\vartheta = 0,3014 + \frac{1,551}{\psi}, \quad (3.28)$$

где $\vartheta = V/V_k$; V — удельный объем жидкости при данной температуре; V_k — удельный объем жидкости при критических температуре и давлении; $\psi = \eta/\eta_{Tk}$; η — вязкость жидкости при данной температуре; η_{Tk} — вязкость этой жидкости в газообразном состоянии при атмосферном давлении и критической температуре, определяемая по экспериментальным данным.

В табл. 3.5 приводятся значения коэффициентов вязкости для жидких парафиновых углеводородов, вычисленные по уравнению (3.28) для интервалов температур от температуры плавления до температуры кипения при атмосферном давлении.

Газовые конденсаты и их фракции являются сложными многокомпонентными смесями углеводородов и не только углеводородов, поэтому существующие методы и эмпирические формулы для чистых жид-

Таблица 3

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
жидких парафиновых углеводородов при атмосферном давлении
и различных температурах [2]

T, K	Этан	Пропан	n-Бутан	n-Пентан	n-Гексан	n-Гептан	n-Октан	n-Нонан	n-Декал
163,15	28280	—	—	160020	—	—	—	—	—
173,15	24430	40180	—	118030	264100	—	—	—	—
183,15	21385	34850	—	92970	177900	638900	—	—	—
193,15	18920	30470	—	76690	131000	291400	—	—	—
203,15	—	27070	—	64750	103000	186600	—	—	—
213,15	—	24230	38240	55840	84950	137280	—	—	—
223,15	—	21870	34320	48800	71630	107200	274700	—	—
233,15	—	19800	31020	43340	61470	87430	178100	337700	—
243,15	—	—	28150	38610	53840	73500	130710	202600	—
253,15	—	—	25650	34820	47620	61740	103200	143400	160200
263,15	—	—	23430	31520	42580	55180	84400	110200	119500
273,15	—	—	21480	28690	38330	48860	71090	88900	95300
283,15	—	—	—	26250	34710	43710	61390	74140	78380
293,15	—	—	—	24085	31600	39290	53670	63600	66570
303,15	—	—	—	22190	28900	35650	47390	55270	57400
313,15	—	—	—	20470	26540	32440	42320	48870	50450
323,15	—	—	—	—	24460	29660	38130	43550	44860
333,15	—	—	—	—	22570	27270	34630	39070	40160
343,15	—	—	—	—	20870	25130	31530	35430	36360
353,15	—	—	—	—	—	23230	28890	32340	33060
363,15	—	—	—	—	—	21540	26570	29570	30190
373,15	—	—	—	—	—	20010	24520	27190	27770
383,15	—	—	—	—	—	—	22670	25120	25620
393,15	—	—	—	—	—	—	21050	23280	23710
403,15	—	—	—	—	—	—	—	21620	21990
413,15	—	—	—	—	—	—	—	20160	20480
423,15	—	—	—	—	—	—	—	18580	19130
433,15	—	—	—	—	—	—	—	17570	17910
443,15	—	—	—	—	—	—	—	—	16800

костей не все пригодны для расчета вязкости газовых конденсатов с достаточной точностью. При использовании этих формул предусматривается наличие точных данных по структурно-групповому углеводородному составу, критическим параметрам и другим величинам, которые, как правило, неизвестны.

Рассмотрим несколько уравнений, которые используются для расчета температурной зависимости вязкости углеводородов и нефтепро-

дуктов, в которых применены соотношения вида — «вязкость — температура» и «вязкость — удельный объем».

Если преобразовать формулу (3.27) к виду:

$$\frac{1}{\eta} = AV - B, \quad (3.29)$$

видно, что удельный объем V и динамическая текучесть $1/\eta$ связаны между собой линейной зависимостью. В этой формуле A и B — постоянные коэффициенты.

Для проверки этой формулы на рис. 3.7 приведена зависимость динамической текучести газового конденсата и его фракций Вуктыльского месторождения от удельного объема. Из рисунка видно, что экспериментальные значения плохо согласуются с уравнением (3.27). Линия, соединяющая экспериментальные точки имеет криволинейный характер, особенно в области низких температур.

Аналогичная проверка формулы (3.27) для газового конденсата и его фракции Опошнянского месторождения проведена в работе [20]. Показано, что экспериментальные данные хорошо описываются уравнением Бачинского в области положительных температур. В области же низких температур для некоторых фракций наблюдаются отклонения от линейной зависимости.

Часто используется величина кинематической текучести, для которой уравнение (3.29) будет:

$$\frac{1}{\nu} = A - \rho B, \quad (3.30)$$

где A и B — постоянные константы; ρ — плотность.

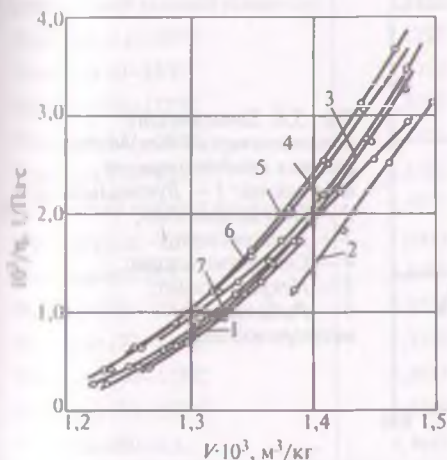


Рис. 3.7. Зависимость динамической текучести газового конденсата и его фракций Вуктыльского месторождения от удельного объема: 1 — газовый конденсат; 2 — фракция н.к.—60°C; 3 — фракция 60–95°C; 4 — фракция 95–122°C; 5 — фракция 122–150°C; 6 — фракция 150–175°C; 7 — фракция 175–200°C

Анализ уравнения (3.30) показал, что для газовых конденсатов зависимость между кинематической вязкостью и плотностью не имеет линейного характера по всему интервалу исследования по температуре. К такому выводу пришли и авторы работы [20] для газовых конденсатов ряда месторождений (рис. 3.8), где показано, что при больших плотностях (и области низких температур) не соблюдается линейная зависимость.

Проверка уравнения Ле-Шаталье [26]

$$\lg \lg \eta = A - B\rho \quad (3.31)$$

показала, что зависимость носит криволинейный характер, и поэтому формула (3.31) не может быть использована в качестве интерполяционной. В уравнении A и B являются постоянными коэффициентами.

Уравнение Вальтера [27]

$$\lg \lg(v_i \cdot 10^6 + 0,8) = A - \lg t \quad (3.32)$$

для газовых конденсатов и их фракций можно использовать лишь при грубой интерполяции, так как зависимость кинематической вязкости от температуры носит в этой формуле приближенно линейный характер [20].

Формула Филонова [26]

$$\lg v_2 = \lg v_1 - K(t_2 - t_1) \quad (3.33)$$

для нефтей в области низких температур дает достаточную точность. Для газовых конденсатов и их фракций это уравнение непригодно или же может быть использовано для некоторых фракций в весьма ограниченной области температур ($t_2 - t_1 = 40^\circ\text{C}$) [20].

Многие авторы предложили формулы, в которых вязкость связана с температурой экспоненциальной зависимостью. Наибольшую известность из них получило уравнение Гузмана [21]:

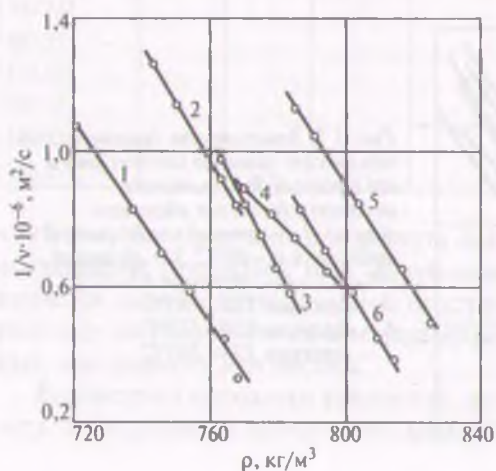


Рис. 3.8. Зависимость кинематической текучести газовых конденсатов от плотности: 1 — Вуктыльского; 2 — Перещепинского; 3 — Майконского; 4 — Ставропольского; 5 — Некрасовского; 6 — Рыбальского месторождений

$$\eta = A \exp \frac{B}{T}, \quad (3.34)$$

где A и B — постоянные величины, определяемые из экспериментальных данных; T — абсолютная температура.

Уравнение широко применялось различными исследователями в интервале температур от точки плавления до точки кипения для отображения экспериментальных данных и для интерполяционных вычислений.

В табл. 3.6 представлены значения A и B . Там же дается отклонение расчетных значений коэффициентов динамической вязкости газовых конденсатов Оренбургского и Вуктыльского месторождений и их фракций по уравнению (3.34) в сравнении с экспериментальными.

Как видно из таблицы, для большинства веществ уравнение (3.32) дает удовлетворительный результат. Большие отклонения от экспериментальных данных наблюдаются только для тяжелых фракций Вуктыльского конденсата.

Проверка формулы (3.32) для фракций газового конденсата Опошнинского месторождения показала отрицательный результат. Зависимость вязкости от температуры имеет криволинейный характер [20].

Обработка экспериментальных данных по вязкости фракций газовых конденсатов Оренбургского и Вуктыльского месторождений была проведена в координатах $\frac{T_T}{T_{Г=0,75T_{кип}}} - \frac{T}{T_{кип}}$ которая представлена на

Таблица 3.6

Численные значения постоянных A и B в формуле (3.32)

Наименование месторождения и вещество	$A \cdot 10^5$	B	Отклонение, %
Оренбургский газовый конденсат	2,6352	811	0,43
Фракция н.к.—60°C	2,6225	701	2,70
Фракция 60—95°C	2,7272	772	2,25
Фракция 95—122°C	2,6298	1029	2,03
Фракция 122—150°C	1,7573	1119	3,35
Фракция 150—к.к.	1,6291	1335	1,02
Вуктыльский газовый конденсат	1,5857	1084	0,62
Фракция н.к.—60°C	1,0915	941	1,98
Фракция 60—95°C	1,8389	892	2,01
Фракция 95—122°C	1,8796	977	1,25
Фракция 122—150°C	1,3358	1148	1,61
Фракция 150—175°C	1,5843	1195	2,10
Фракция 175—200°C	1,3809	1323	4,93
Фракция 200—к.к.	1,9647	1413	8,90

рис. 3.9. Экспериментальные значения вязкости всех исследованных фракций хорошо располагались, кроме последних фракций (фракции 200—к.к. газового конденсата Вуктыльского месторождения и 150—к.к. газового конденсата Оренбургского месторождения), около одной кривой, которая описывается уравнением:

$$\frac{\eta_T}{\eta_{T=0,75T_{\text{кип}}}} = 0,054761 \exp \frac{1,788668}{\frac{T}{T_{\text{кип}}} - 0,1293}, \quad (3.35)$$

где η_T — значение коэффициента динамической вязкости при температуре T , Па·с; $T_{\text{кип}}$ — средняя абсолютная температура кипения, К; $\eta_{T=0,75T_{\text{кип}}}$ — значение коэффициента динамической вязкости при температуре $0,75T_{\text{кип}}$, Па·с.

Уравнение (3.35) позволяет вычислить значения коэффициентов вязкости газовых конденсатов и их фракций по одному известному значению η_T и средней абсолютной температуре кипения $T_{\text{кип}}$.

Аналогичный подход был использован для обработки данных по вязкости для некоторых газовых конденсатов и их фракций и были получены удовлетворительные результаты [20].

В литературе приводится много эмпирических уравнений для определения связи между структурными характеристиками жидкостей и вязкостью, но в настоящее время еще нет надежных количественных зависимостей.

Как видно из существующих уравнений, для предвычисления вязкости газовых конденсатов и их фракций при атмосферном давлении удовлетворительный результат дают уравнения (3.34) и (3.35).

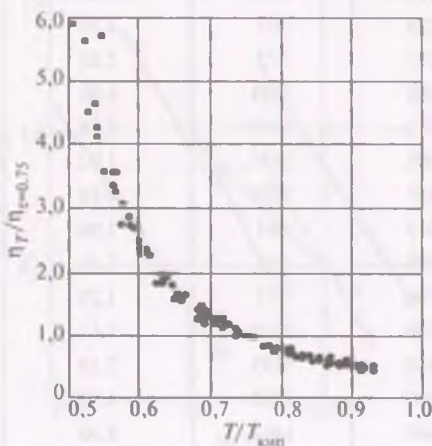


Рис. 3.9. Зависимость относительной вязкости фракций газовых конденсатов Вуктыльского и Оренбургского месторождений от относительной температуры

3.6. Вязкость углеводородов и газовых конденсатов при различных температурах и давлениях

Экспериментальных работ по определению коэффициентов вязкости углеводородов при повышенных давлениях опубликовано значительное количество. Наиболее надежные данные были получены методом капилляра. Поэтому в конце этого раздела приводятся таблицы значений коэффициентов динамической вязкости углеводородов, полученных экспериментально с применением метода капилляра. На рис. 3.10 и 3.11 экспериментальные данные вязкости для *n*-гексана изображены в виде изотерм зависимости от давления и изобар зависимости от температуры [2].

Результатов исследований вязкости газовых конденсатов и их фракций при повышенных давлениях опубликовано значительно меньше, чем работ по исследованию вязкости индивидуальных углеводородов. Большинство экспериментальных исследований проводилось методом капилляра. Все опубликованные работы по вязкости газовых конденсатов и их фракций месторождений Российской Федерации и стран СНГ, имеющиеся в настоящее время, приводятся в конце этого раздела. Для наглядности на рис. 3.12 и 3.13 представлены зависимость вяз-

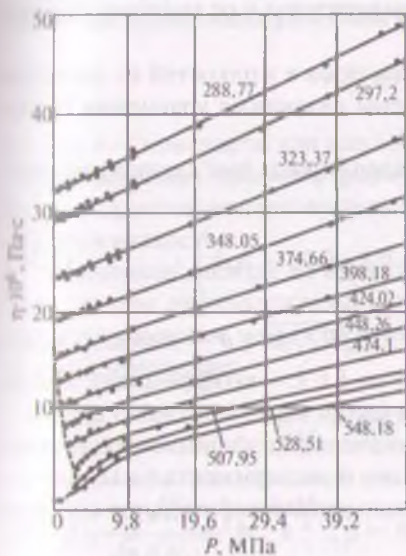


Рис. 3.10. Зависимость коэффициента динамической вязкости *n*-гексана от давления при постоянных температурах

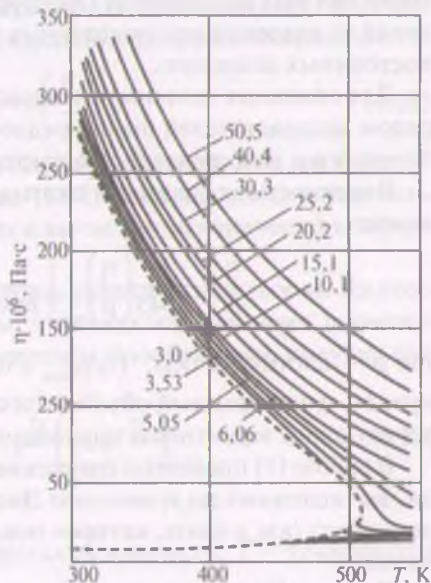


Рис. 3.11. Зависимость коэффициента динамической вязкости *n*-гексана от температуры при постоянных давлениях

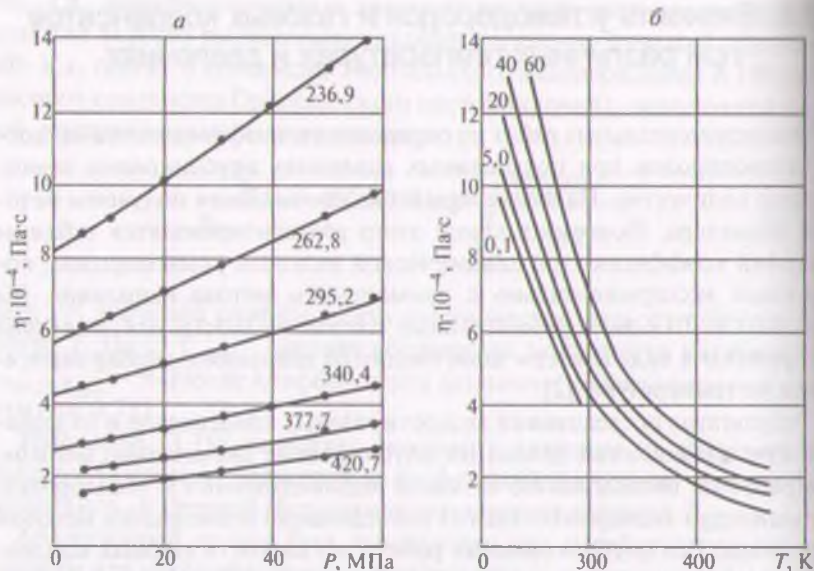


Рис. 3.12. Зависимость коэффициента динамической вязкости газового конденсата Оренбургского месторождения от давления при постоянных температурах (а) и от температуры при постоянных давлениях (б)

кости газовых конденсатов Оренбургского и Астраханского месторождений от давления при постоянных температурах и от температуры при постоянных давлениях.

Для описания зависимости вязкости газов и жидкостей от давления рядом исследователей были предложены различные уравнения теоретического и эмпирического характера.

В частности для вязкости сжатых газов Энског дает следующее уравнение:

$$\frac{\eta}{\rho} = \frac{1}{2,545} \left(\frac{\eta}{\rho} \right)_{\min} \left(\frac{1}{b\rho k} + 0,8 + 0,7614 b\rho k \right), \quad (3.36)$$

где ρ — плотность газа; $(\eta/\rho)_{\min} = 0,955d\sqrt{RT/M}$; d — диаметр молекул; b — учетверенный объем молекул на 1 г, k — коэффициент, характеризующий вероятность нахождения одной молекулы около другой.

В работе [1] проведено сравнение значений коэффициентов вязкости, вычисленных по уравнению Энског и экспериментальных для углекислого газа и азота, которое показало удовлетворительное согласование.

Позднее Предводителев предлагал уравнение следующего вида:

$$\frac{\eta_T}{\eta_{P,T}} = 1 - \frac{b}{\vartheta}, \quad (3.37)$$

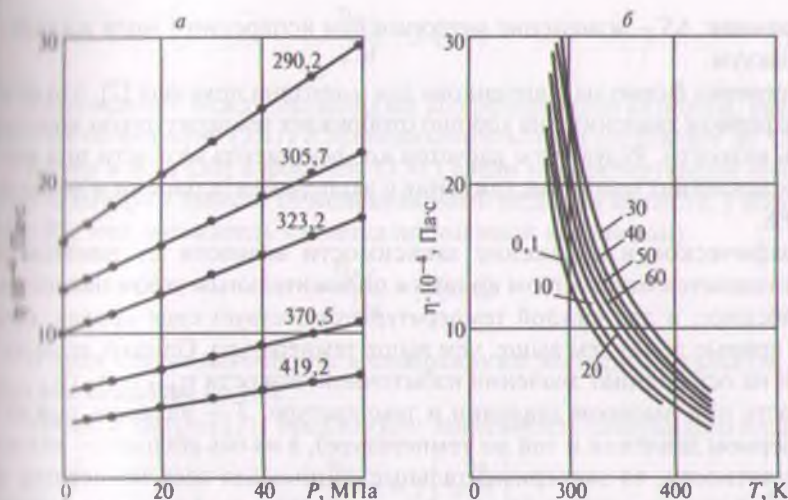


Рис. 1.13. Зависимость коэффициента динамической вязкости газового конденсата Астраханского месторождения от давления при постоянных температурах (а) и от температуры при постоянных давлениях (б)

Проверка формулы (3.37) показала неудовлетворительное согласование с экспериментальными данными [1].

Голубев [2] вывел уравнение сжатых газов, учитывающих геометрические размеры молекул и силы межмолекулярного взаимодействия:

$$\eta_{P,T} = \eta_T + a \left(\frac{P_i}{T} \right)^n, \quad (3.38)$$

где a и n — константы для каждого газа; P_i — термическое давление.

Проведенная проверка формулы (3.38) показала удовлетворительное совпадение экспериментальных и вычисленных значений коэффициентов вязкости.

Панченков, исходя из молекулярно-кинетической теории жидкости, с учетом предположений о том, что жидкость занимает промежуточное положение между твердым телом и газообразным, получил следующее уравнение:

$$\eta_{P,T} = A \rho^{\frac{4}{3}} T^{\frac{1}{2}} \cdot e^{\frac{\epsilon_0}{RT}} \left(1 - e^{-\frac{\epsilon_0}{RT}} \right), \quad (3.39)$$

где $A = \frac{12\sqrt{R}}{\sqrt{\pi}^3 N_0} \omega^{\frac{2}{3}} M^{-\frac{5}{6}} e^{\frac{\Delta S}{R}}$; ρ — плотность жидкости; T — температура;

M — молекулярный вес; ϵ_0 — энергия связи молекул; ω — диаметр молекулы жидкости; N_0 — число Авогадро; R — универсальная газовая

постоянная; ΔS — изменение энтропии при испарении 1 моля жидкости в вакуум.

Проверка формулы Панченкова для *n*-гептана показала [2], что при атмосферном давлении она хорошо отображает температурную зависимость вязкости. Результаты расчетов коэффициента вязкости при высоких давлениях имеют расхождение с экспериментальными и достигают до 40%.

Графическое изображение зависимости вязкости от плотности представляется множеством кривых с положительным углом наклона к оси абсцисс, и для каждой температуры существует своя кривая, при этом кривые лежат тем выше, чем выше температура. Однако, если нанести на ось ординат значения избыточной вязкости $\eta_{p,T} - \eta_T$ ($\eta_{p,T}$ — вязкость при высоком давлении и температуре, T — вязкость при атмосферном давлении и той же температуре), а на ось абсцисс — значения плотности, то экспериментальные данные для всех температур и давлений располагаются на одной кривой. На рис. 3.14 представлена зависимость избыточной вязкости от плотности для *n*-гексана [2]. Этот график и на нем кривая содержит, по существу, все данные по вязкости *n*-гексана, представленные на двух рис. 3.10 и 3.11. Из рис. 3.14 видно, что при всех температурах одинаковые значения плотности соответствуют одинаковым значениям $\eta_{p,T} - \eta_T$.

Учитывая вышеизложенное, Варгафтик [28] предложил эмпирическое уравнение, связывающее вязкость с плотностью при различных температурах и давлениях:

$$\eta_{p,T} = \eta_T + B \rho^m, \quad (3.40)$$

где B и m — константы, определяемые для каждого газа по экспериментальным данным.

Уравнение Варгафтика можно использовать при расчете коэффициентов вязкости при умеренных параметрах состояний.

Многие исследователи применяли закон соответственных состояний для описания зависимости вязкости от температуры и давления. Рассмотрим некоторые из них.

Смиит и Браун [29] предложили зависимость вязкости от приведенных давления и температуры в следующем виде:

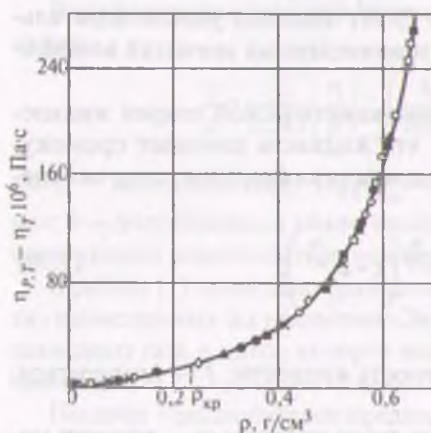


Рис. 3.14. Зависимость избыточной вязкости ($\eta_{p,T} - \eta_T$) от плотности *n*-гексана

$$\frac{\eta_{p,T}}{\sqrt{M}} = f(\tau, \pi). \quad (3.41)$$

Расхождение между значениями коэффициентов вязкости, рассчитанных по формуле (3.41) и экспериментальными составляет до 15%.

Бинчер и Кац [30] в формулу (3.41) ввели корректирующий множитель k , который зависит от молекулярного веса (для веществ, у которых $M > 11$, этот множитель является постоянной величиной):

$$\frac{\eta_{p,T}}{k\sqrt{M}} = f(\tau, \pi).$$

В этом случае неточность в отображении экспериментальных данных уменьшается до 10%.

Уихира и Ватсон [31] предложили зависимость следующего вида:

$$\frac{\eta_{p,T}}{\eta_{(p,T)_k}} = f\left(\tau, \frac{\rho}{\rho_k}\right) \quad (3.42)$$

Расхождение вычисленных по этой формуле и экспериментальных значений коэффициентов вязкости составляет 7–10%.

Голубев и Агаев [2] провели обобщение экспериментальных данных по вязкости парафиновых углеводородов с использованием принципа соответственных состояний в виде:

$$\frac{\eta_{p,T}}{\eta_{T_k}} = f(\tau, \pi). \quad (3.43)$$

Проведенный авторами анализ показал, что это соотношение качественно правильно отражает картину зависимости коэффициента вязкости парафиновых углеводородов от температуры и давления. Однако, в количественном отношении имеют место значительные расхождения, достигающие для жидкого состояния 25% и для газообразного 10%. Этими же авторами проведена проверка соотношения:

$$\frac{\eta_{p,T}}{\eta_{T_k}} = f\left(\frac{\rho}{\rho_k}\right), \quad (3.44)$$

которая показала для парафиновых углеводородов отклонение 5–7% экспериментальных данных от обобщающей кривой.

Усманов [32], написав для двух состояний соотношение $(\eta_{p,T} - \eta_T) = f(\rho)$, получил новое соотношение следующего вида:

$$\frac{\eta_{p,T} - \eta_T}{\eta_{(T,\rho_k)} - \eta_{T_k}} = f\left(\frac{\rho}{\rho_k}\right). \quad (3.45)$$

Таблица 3.7

Значения η_{T_k} и $\eta_{(T,P)_k}$ (10^{-8} Па·с) для углеводородов

Углеводороды	η_{T_k}	$\eta_{(T,P)_k}$	Углеводороды	η_{T_k}	$\eta_{(T,P)_k}$
Этан	950	2130	<i>n</i> -Гептан	1071	2710
Пропан	1000	2390	<i>n</i> -Октан	1045	2645
<i>n</i> -Бутан	1080	2540*	<i>n</i> -Нонан	980	2500*
<i>n</i> -Пентан	1073	2650	<i>n</i> -Декан	900*	2290*
<i>n</i> -Гексан	1090	2720			

* Определено графическим путем.

Проверка соотношения (3.45) для отдельных групп веществ, в том числе для парафиновых и олефиновых углеводородов, дала весьма хорошее согласование вычисленных и экспериментальных значений коэффициентов вязкости [2].

Для вычисления коэффициентов вязкости по соотношению (3.45) необходимо для данного вещества знать η_{T_k} и $\eta_{(T,P)_k}$. Величина определяется по экспериментальным данным или по формуле (3.22). Значение $\eta_{(T,P)_k}$ определяется из графика (рис. 3.14). Для этого сначала определяется значение избыточной вязкости при критической плотности ($\eta_{(T,P)_k} - \eta_{T_k}$); после этого, зная вязкость при атмосферном давлении и критической температуре η_{T_k} , легко вычислить коэффициент вязкости в критической точке, экспериментальное измерение которого представляет значительные трудности. Найденные таким путем значения $\eta_{(T,P)_k}$ для некоторых углеводородов приводятся в табл. 3.7 [2].

Полученный экспериментальный материал по вязкости газовых конденсатов и их фракций позволяет установить в пределах точности эксперимента связь между вязкостью и давлением:

$$\eta_{P,T} = \eta_T + \left(\frac{\partial \eta}{\partial P} \right)_T (P - P_0), \quad (3.46)$$

где $(\partial \eta / \partial P)_T$ — величина, характеризующая влияние давления на вязкость.

Численные значения этой величины для каждой жидкости рассчитываются на основе экспериментальных данных. Для некоторых газовых конденсатов и их фракций значения этой характеристики при различных температурах приводятся в табл. 3.8–3.11.

На рис. 3.15–3.18 представлены зависимости $(\partial \eta / \partial P)_T$ от температуры опыта и средней температуры кипения для фракций газовых конденсатов Опошнянского и Оренбургского месторождений. Как видно из рисунков, с увеличением температуры влияние давления на вязкость уменьшается, а с ростом средней температуры кипения продукта влияние давления на вязкость увеличивается.

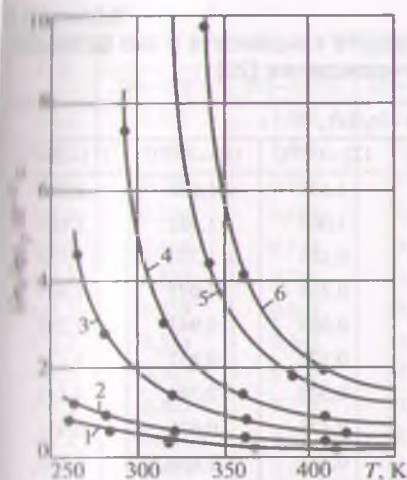


Рис. 3.15. Температурная зависимость величины $(\partial\eta/\partial P)_T$ для фракций газового конденсата Опoшнинского месторождения: 1 — фракция н.к. — 95°C; 2 — 122–150 °C; 3 — 175–200 °C; 4 — 225–250 °C; 5 — 275–300 °C; 6 — 325–к.к.

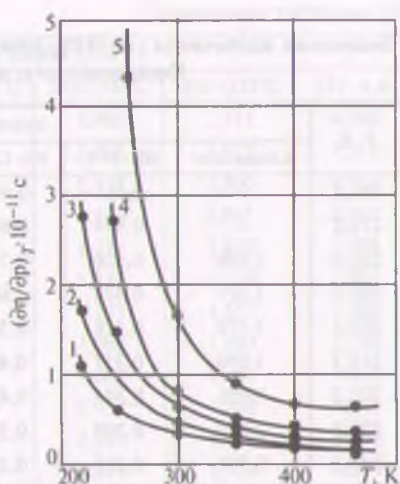


Рис. 3.16. Температурная зависимость величины $(\partial\eta/\partial P)_T$ для фракций газового конденсата Оренбургского месторождения: 1 — фракция н.к. — 60°C; 2 — 60–95°C; 3 — 95–122 °C; 4 — 122–150 °C; 5 — 150–к.к.

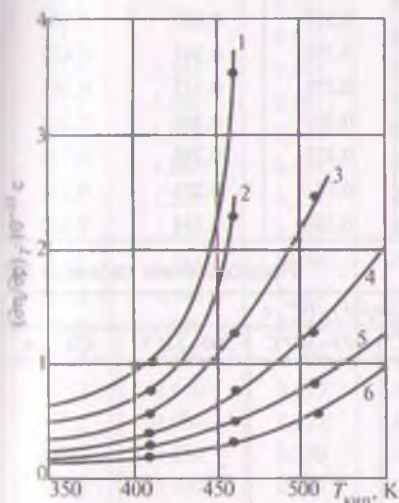


Рис. 3.17. Зависимость величины $(\partial\eta/\partial P)_T$ от средней температуры кипения для фракций газового конденсата Опoшнинского месторождения при температурах: 1 — 273 K; 2 — 293 K; 3 — 323 K; 4 — 373 K; 5 — 423 K; 6 — 473 K

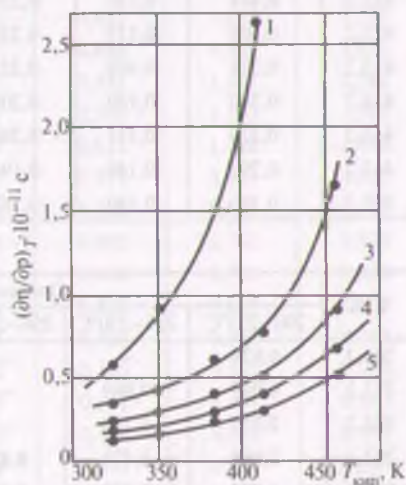


Рис. 3.18. Зависимость величины $(\partial\eta/\partial P)_T$ от средней температуры кипения для фракций газового конденсата Оренбургского месторождения при температурах: 1 — 250 K; 2 — 300 K; 3 — 350 K; 4 — 400 K; 5 — 450 K

Таблица 3.8

**Значения величины $(\partial\eta/\partial P)_T$ для газового конденсата и его фракции
Солоховского месторождения [20]**

T, К	Значение $(\partial\eta/\partial P)_T \cdot 10^{11}, \text{с}$					
	Конденсат	60–95°C	95–122°C	122–150°C	150–175°C	175–200°C
263,2	—	0,681	0,979	1,131	1,626	2,963
273,2	—	0,594	0,844	1,009	1,382	2,180
283,2	1,496	0,526	0,740	0,883	1,210	1,730
293,2	1,327	0,473	0,662	0,764	1,073	1,469
303,2	1,178	0,418	0,561	0,660	0,942	1,280
313,2	1,050	0,377	0,488	0,578	0,837	1,129
323,2	0,956	0,344	0,420	0,500	0,740	1,019
333,2	0,870	0,309	0,383	0,475	0,676	0,931
343,2	0,791	0,284	0,350	0,443	0,610	0,840
353,2	0,723	0,270	0,330	0,422	0,560	0,769
363,2	0,664	0,250	0,320	0,400	0,513	0,691
373,2	0,603	0,231	0,299	0,394	0,479	0,627
383,2	0,562	0,220	0,282	0,380	0,440	0,570
393,2	0,513	0,202	0,276	0,371	0,400	0,522
403,2	0,478	0,195	0,260	0,332	0,379	0,478
413,2	0,444	0,180	0,250	0,311	0,360	0,443
423,2	0,409	0,173	0,238	0,294	0,347	0,420
433,2	0,371	0,169	0,221	0,278	0,337	0,383
443,2	0,340	0,160	0,209	0,260	0,309	0,360
453,2	0,320	0,155	0,200	0,257	0,295	0,339
463,2	0,299	0,149	0,194	0,242	0,280	0,328
473,2	0,280	0,140	0,187	0,238	0,274	0,320

Продолжение таблицы 3.8

T, К	Значение $(\partial\eta/\partial P)_T \cdot 10^{11}, \text{с}$					
	200–225°C	225–250°C	250–275°C	275–300°C	300–325°C	325–к.к.
263,2	6,674	—	—	—	—	—
273,2	4,067	9,960	—	—	—	—
283,2	2,921	5,210	—	—	—	—
293,2	2,194	3,474	8,875	—	—	—
303,2	1,827	2,579	5,480	—	—	—
313,2	1,570	2,060	3,533	9,182	—	—
323,2	1,371	1,684	2,636	5,496	—	—
333,2	1,220	1,471	2,140	3,678	9,987	—
343,2	1,103	1,318	1,839	2,782	6,078	10,604
353,2	1,018	1,200	1,608	2,268	3,982	7,076

Окончание таблицы 3.8

Т, К	Значение $(\partial\eta/\partial P)_T \cdot 10^{11}$, с					
	200–225°C	225–250°C	250–275°C	275–300°C	300–325°C	325–к.к.
331,2	0,931	1,110	1,421	1,960	3,111	4,562
351,2	0,863	1,041	1,275	1,737	2,619	3,517
381,2	0,792	0,969	1,159	1,574	2,300	2,919
401,2	0,726	0,890	1,076	1,443	2,067	2,561
431,2	0,664	0,812	0,999	1,321	1,878	2,309
451,2	0,623	0,769	0,938	1,237	1,720	2,087
471,2	0,579	0,682	0,881	1,157	1,617	1,860
491,2	0,544	0,643	0,822	1,080	1,483	1,746
511,2	0,503	0,602	0,764	1,002	1,381	1,610
531,2	0,472	0,556	0,719	0,937	1,280	1,501
561,2	0,441	0,512	0,665	0,863	1,204	1,402
573,2	0,419	0,482	0,650	0,811	1,129	1,319

Таблица 3.9

Значения величины $(\partial\eta/\partial P)_T$ для газового конденсата и его фракций
Опошнянского месторождения [20]

Т, К	Значение $(\partial\eta/\partial P)_T \cdot 10^{11}$, с					
	Конденсат	60–95°C	95–122°C	122–150°C	150–175°C	175–200°C
263,2	—	0,701	0,921	1,157	2,352	5,161
273,2	—	0,615	0,803	1,011	1,857	3,537
283,2	3,243	0,549	0,701	0,886	1,590	2,643
293,2	2,356	0,501	0,620	0,792	1,344	2,262
303,2	1,952	0,441	0,543	0,700	1,170	1,781
313,2	1,680	0,394	0,490	0,631	1,040	1,479
323,2	1,504	0,352	0,441	0,579	0,945	1,260
333,2	1,356	0,319	0,400	0,530	0,841	1,102
343,2	1,244	0,290	0,369	0,495	0,762	0,979
353,2	1,160	0,262	0,342	0,458	0,701	0,884
363,2	1,079	0,241	0,326	0,428	0,645	0,819
373,2	1,100	0,229	0,305	0,401	0,593	0,764
383,2	0,959	0,220	0,290	0,385	0,539	0,700
393,2	0,900	0,211	0,275	0,371	0,499	0,643
403,2	0,850	0,200	0,260	0,356	0,465	0,591
413,2	0,800	0,191	0,258	0,341	0,440	0,555
423,2	0,761	0,182	0,248	0,316	0,409	0,506
433,2	0,728	0,174	0,240	0,301	0,385	0,476
443,2	0,684	0,165	0,231	0,286	0,360	0,440
453,2	0,651	0,157	0,221	0,270	0,338	0,407
463,2	0,617	0,148	0,192	0,253	0,315	0,375
473,2	0,582	0,140	0,182	0,236	0,288	0,341

T, К	Значение $(\partial\eta/\partial P)_T \cdot 10^{11}$, с					
	200–225°C	225–250°C	250–275°C	275–300°C	300–325°C	325–к.к.
263,2	—	—	—	—	—	—
273,2	7,849	—	—	—	—	—
283,2	4,584	—	—	—	—	—
293,2	2,964	7,867	—	—	—	—
303,2	2,359	4,663	9,158	—	—	—
313,2	1,929	3,200	5,862	—	—	—
323,2	1,600	2,450	3,744	9,997	—	—
333,2	1,394	1,984	2,820	6,399	10,307	—
343,2	1,238	1,700	2,257	4,076	6,448	9,264
353,2	1,113	1,509	1,921	3,008	4,560	6,419
363,2	1,015	1,362	1,693	2,480	3,405	4,291
373,2	0,954	1,242	1,520	2,177	2,820	3,307
383,2	0,880	1,159	1,380	1,957	2,440	2,798
393,2	0,800	1,061	1,264	1,780	2,189	2,480
403,2	0,732	0,970	1,172	1,640	1,998	2,253
413,2	0,678	0,897	1,080	1,511	1,812	2,054
423,2	0,617	0,842	1,006	1,384	1,650	1,847
433,2	0,580	0,776	0,937	1,300	1,543	1,720
443,2	0,549	0,720	0,868	1,216	1,436	1,587
453,2	0,498	0,669	0,802	1,137	1,329	1,462
463,2	0,452	0,624	0,757	1,071	1,243	1,357
473,2	0,421	0,595	0,703	1,022	1,179	1,280

Таблица 3.10
Значения величины $(\partial\eta/\partial P)_T$ для газового конденсата и его фракций
Оренбургского месторождения [20]

T, К	Значение $(\partial\eta/\partial P)_T \cdot 10^{11}$, с					
	Конденсат	н.к. –60°C	60–95°C	95–122°C	122–150°C	150–к.к.
220	1,230	1,071	1,704	2,820	6,660	—
230	1,082	0,765	1,498	2,339	5,589	—
240	0,935	0,654	1,266	2,030	3,853	11,309
250	0,798	0,567	0,991	1,432	2,610	7,070
260	0,698	0,501	0,758	1,014	1,701	4,325
270	0,606	0,452	0,607	0,842	1,306	3,094
280	0,531	0,412	0,529	0,746	1,069	2,415
290	0,475	0,377	0,479	0,685	0,895	1,984
300	0,425	0,347	0,442	0,622	0,777	1,637
310	0,382	0,319	0,409	0,570	0,689	1,390

Окончание таблицы 3.10

Т, К	Значение $(\partial\eta/\partial P)_T \cdot 10^{11}, \text{с}$					
	Конденсат	н.к.—60°C	60—95°C	95—122°C	122—150°C	150—к.к.
330	0,322	0,274	0,361	0,481	0,558	1,083
340	0,299	0,254	0,337	0,441	0,516	0,984
350	0,281	0,237	0,316	0,404	0,488	0,888
360	0,269	0,223	0,294	0,375	0,461	0,837
370	0,259	0,209	0,276	0,347	0,440	0,771
380	0,249	0,197	0,257	0,331	0,417	0,732
390	0,244	0,187	0,241	0,307	0,411	0,699
400	0,236	0,179	0,228	0,291	0,399	0,665
410	0,229	0,169	0,216	0,277	0,391	0,645
420	0,226	0,164	0,206	0,259	0,377	0,634
430	0,224	0,158	0,197	0,253	0,370	0,611
440	0,225	0,152	0,189	0,244	0,363	0,614
450	0,227	0,150	0,183	0,234	0,359	0,613
460	0,228	0,149	0,176	0,224	0,354	0,609
470	0,229	0,145	0,171	0,215	0,349	0,605

Таблица 3.11

Значения величины $(\partial\eta/\partial P)_T$ для газового конденсата и его фракций Вуктыльского месторождения [20]

Т, К	Значение $(\partial\eta/\partial P)_T \cdot 10^{11}, \text{с}$							
	Конденсат	н.к.—60°C	60—95°C	95—122°C	122—150°C	150—175°C	175—200°C	200—к.к.
220	5,145	1,491	1,612	2,391	5,804	8,175	—	—
230	3,709	0,916	1,200	1,787	4,400	6,101	10,418	—
240	2,527	0,705	0,932	1,296	2,983	5,252	8,418	—
250	1,800	0,600	0,764	1,045	2,098	3,737	6,400	—
260	1,365	0,523	0,652	0,900	1,619	2,855	4,336	—
270	1,110	0,454	0,571	0,794	1,260	2,218	3,182	—
280	0,945	0,398	0,500	0,696	1,000	1,782	2,490	—
290	0,814	0,345	0,452	0,631	0,832	1,454	2,018	5,382
300	0,745	0,305	0,414	0,565	0,698	1,236	1,674	4,036
310	0,713	0,272	0,385	0,514	0,606	1,016	1,318	3,135
320	0,613	0,245	0,360	0,469	0,527	0,952	1,066	2,464
330	0,570	0,231	0,340	0,427	0,494	0,819	0,883	1,964
340	0,535	0,220	0,320	0,389	0,439	0,747	0,752	1,582
350	0,492	0,212	0,300	0,356	0,427	0,698	0,647	1,354
360	0,460	0,202	0,289	0,328	0,407	0,672	0,584	1,173
370	0,438	0,194	0,274	0,304	0,403	0,645	0,551	1,054

T, К	Значение $(\partial\eta/\partial P)_T \cdot 10^{11}$, с							200 н.с.
	Конденсат	н.к.—60°C	60—95°C	95—122°C	122—150°C	150—175°C	175—200°C	
380	0,413	0,185	0,260	0,278	0,398	0,635	0,519	0,958
390	0,400	0,172	0,245	0,260	0,378	0,619	0,482	0,864
400	0,378	0,165	0,233	0,244	0,354	0,609	0,462	0,800
410	0,360	0,158	0,224	0,228	0,345	0,595	0,443	0,749
420	0,345	0,149	0,216	0,217	0,338	0,578	0,423	0,706
430	0,332	0,140	0,207	0,208	0,320	0,554	0,404	0,658
440	0,312	0,131	0,200	0,204	0,312	0,542	0,386	0,623
450	0,309	0,124	0,193	0,200	0,300	0,525	0,371	0,598
460	0,297	0,116	0,186	0,191	0,291	0,507	0,365	0,554
470	0,284	0,109	0,178	0,179	0,282	0,492	0,364	0,542

3.6. Коэффициенты динамической вязкости парафиновых углеводородов при различных температурах и давлениях

Таблица 3.12
Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^8$, Па·с этана при различных температурах и давлениях [2]

Р, МПа	Коэффициент вязкости при температуре Т, К				
	258,2	273,2	294,2	304,7	312,7
0,10	806	850	914	945	969
2,02	6830	1067	1020	1006	1016
3,03	6970	5525	1168	1108	1071
4,04	7110	5740	4090	1340	1229
5,05	7250	5940	4410	3090	1560
6,06	7380	6090	4650	3709	—
7,07	7500	6250	4800	4080	—
8,08	7630	6400	5035	4360	3800
10,10	7880	6670	5370	4780	4240
12,62	8170	6980	5710	5165	4090
15,15	8460	7290	6020	5490	5060
20,20	9000	7870	6610	6050	5670
30,30	10060	8890	7609	7020	6660
40,40	11050	9820	8490	7900	7560
50,50	12000	10700	9310	8720	8390
60,60	12900	11530	10070	9470	9110
70,70	13720	12300	10790	10190	9790
80,80	14500	13060	11496	10830	10400

Продолжение таблицы 3.12

Р, МПа	Коэффициент вязкости при температуре Т, К				
	333,2	373,2	423,2	473,2	523,2
0,10	1030	1144	1278	1410	1530
2,02	1070	1170	1295	1417	1540
3,03	1105	1201	1318	1422	1550
4,04	1165	1239	1349	1437	1555
5,05	1270	1305	1385	1460	1565
6,06	1480	1385	1429	1485	1575
7,07	1860	1500	1487	1508	1585
8,08	2320	1640	1553	1547	1615
10,10	3190	1980	1714	1600	1680

Окончание таблицы 3.12

P, МПа	Коэффициент вязкости при температуре T, К				
	333,2	373,2	423,2	473,2	523,2
12,62	3770	2450	1955	1775	1770
15,15	4170	2910	2250	1930	1860
20,20	4810	3670	2810	2290	2080
30,30	5840	4690	3720	3020	2575
40,40	6700	5490	4470	3660	3100
50,50	7480	6190	5160	4270	3610
60,60	8150	6800	5730	4850	4090
70,70	8840	7400	6280	5330	4510
80,80	9400	8020	6790	5700	5010

Таблица 3.13
Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^8$, Па·с этана
на линии насыщения [2]

T, К	P, МПа	$\eta_{\text{жид}}$	$\eta_{\text{пар}}$
184,55	0,101	16130	577
193,15	0,156	14390	615
203,15	0,247	12900	653
213,15	0,374	12520	690
223,15	0,550	10540	730
233,15	0,773	9570	775
243,15	1,060	8570	820
253,15	1,409	7690	875
263,15	1,848	6820	920
273,15	2,370	5900	978
283,15	2,995	5170	1068
293,15	3,737	4360	1193
298,15	4,156	3800	1320
303,15	4,646	2990	1633
305,45	4,924	2130	2130

Таблица 3.14
Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^8$, Па·с
пропана при различных температурах и давлениях [2]

P, МПа	Коэффициент вязкости при температуре T, К							
	297,7	325,7	365,9	374	398,2	424,2	474,2	523,2
0,10	811	885	987	1008	1067	1131	1252	1362
2,02	9670	—	—	1070	1120	1175	1285	1390
3,53	9950	7480	—	1270	1240	1260	1340	1425
4,04	10050	7580	—	1510	1305	1310	1375	1440
4,54	10150	7680	—	2400	1415	1365	1410	1460

Окончание таблицы 3.14

P , МПа	Коэффициент вязкости при температуре T , К							
	297,7	325,7	365,9	374	398,2	424,2	474,2	523,2
5,05	10240	7780	4440	3250	1600	1435	1450	1485
6,06	10420	7960	4770	4160	2300	1660	1535	1540
7,57	10700	8230	5200	4750	3160	2125	1735	1650
10,10	11120	8700	5850	5450	4140	2960	2170	1900
15,15	11920	9500	6840	6440	5320	4370	3130	2500
20,20	12640	10200	7580	7170	6160	5250	3960	3040
30,30	12980	11520	8870	8450	7440	6540	5160	4060
40,40	15260	12760	10050	9630	8600	7660	6200	5040
50,50	16530	13980	11200	10780	9670	8700	7120	5880
60,60	17770	15170	12280	11850	10690	9640	7940	6600
70,70	19040	16340	13280	12840	11600	10510	8720	7260
80,80	20300	17430	14270	13800	12500	11360	9500	7930

Таблица 3.15

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
пропана на линии насыщения [2]

T , К	P , МПа	$\eta_{\text{жидк}}$	$\eta_{\text{пар}}$
231,15	0,101	18110	630
233,15	0,111	17730	638
243,15	0,167	16200	670
253,15	0,239	14800	706
263,15	0,338	13500	740
273,15	0,472	12250	775
283,15	0,643	11050	805
293,15	0,843	10020	840
303,15	1,085	9020	880
313,15	1,381	8110	930
323,15	1,732	7560	985
333,15	2,148	6420	1045
343,15	2,587	5590	1130
353,15	3,136	4750	1255
358,15	3,434	4300	1360
363,15	3,762	3800	1505
366,15	3,964	3480	1655
368,15	4,111	3160	1855
369,95	4,257	2390	2390

Таблица 3

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^8$, Па·с
н-бутана при различных температурах и давлениях [2]**

Р, МПа	Коэффициент вязкости при температуре Т, К				
	310,98	298,64	344,31	360,98	377,64
0,10	800	840	880	920	960
0,68	14150	12050	900	940	970
1,37	14300	12200	10500	8850	1010
2,06	14450	12350	10650	9000	7600
2,75	14600	12500	10780	9150	7750
3,43	14720	12650	10920	9300	7900
4,12	14850	12780	11050	9450	8050
4,81	15000	12930	11200	9600	8250
5,49	15120	12050	11350	9750	8400
6,87	15400	13350	11600	10050	8680
10,31	16100	14000	12250	10750	9400
13,75	16750	14650	12900	11400	10050
20,61	17950	15900	14120	12600	11250
27,49	19200	17050	15220	13750	12330
34,36	20350	18200	16320	14800	13370
41,24	21500	19300	17350	15800	14320
48,11	22700	20400	18380	16760	15280
54,98	23750	21500	19400	17720	16180
61,85	24800	22600	20400	18650	17050
68,73	25850	23700	21400	19600	17950

Продолжение таблицы 3.16

Р, МПа	Коэффициент вязкости при температуре Т, К				
	394,31	410,98	444,31	477,64	510,98
0,10	1010	1050	1120	1200	1270
0,68	1020	1060	1130	1210	1280
1,37	1030	1070	1140	1220	1290
2,06	1100	1120	1180	1240	1300
2,75	6150	1220	1240	1280	1320
3,43	6400	5100	1340	1330	1360
4,12	6650	5350	1520	1420	1420
4,81	6850	5650	2000	1540	1500
5,49	7050	5900	2940	1660	1580
6,87	7400	6300	4050	2050	1780
10,31	8200	7150	5300	3600	2550
13,75	8870	7850	6100	4620	3500

Р, МПа	Коэффициент вязкости при температуре Т, К				
	394,31	410,98	444,31	477,64	510,98
20,61	10100	9050	7400	6000	4920
27,49	11200	10150	8420	7030	5950
34,36	12220	11150	9380	7950	6800
41,24	13150	12080	10250	8750	7600
48,11	14050	12930	11050	9520	8320
54,98	14950	13750	11800	10220	8960
61,85	15800	14550	12530	10900	9600
68,73	16650	15350	13250	11550	10200

Таблица 3.17

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^8$, Па·с
н-бутана на линии насыщения [2]

Т, К	Р, МПа	$\eta_{\text{наг}}$	$\eta_{\text{нас}}$
283,15	0,141	17570	700
293,15	0,210	16100	727
303,15	0,222	14670	756
313,15	0,376	13420	786
323,15	0,489	12300	818
333,15	0,638	11220	854
343,15	0,813	10250	893
353,15	1,012	9310	937
363,15	1,250	8440	980
373,15	1,520	7650	1052
383,15	1,831	6900	1127
393,15	2,210	6150	1217
403,15	2,622	5400	1329
413,15	3,108	4600	1490
418,15	3,375	4150	1620
423,15	3,658	3480	1892
425,16	3,784	2544	2544

Таблица 3.18

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^8$, Па·с
изобутана при различных температурах и давлениях [2]

Р, МПа	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа				
	310,93	327,29	344,26	360,93	377,29
0,10	765	795	825	857	887
0,14	775	802	831	866	898
0,27	792	818	852	887	921
0,41	821	842	873	911	942

Р, МПа	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа				
	310,93	327,29	344,26	360,93	377,29
0,69	—	898	925	957	994
1,03	—	—	1010	1030	1060
1,37	13440	10710	8960	1170	1140
1,72	13760	—	—	—	1310
2,75	14040	11020	9280	7800	—
4,12	14560	11320	9560	8110	—
6,87	15060	11860	10110	8620	—
10,31	15540	12520	10650	9130	—
13,75	—	12970	11060	9540	—
Пар (насыщ.)	841	913	1038	1344	—
Жидкость (насыщ.)	13200	10580	8900	7530	—

Таблица 3.19

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^8$, Па·с
 n-пентана при различных температурах и давлениях [2]

Р, МПа	Коэффициент вязкости при температуре Т, К						
	298,2	323,2	348,2	373,2	398,2	423,2	448,2
0,10	21620	723	784	849	909	967	1025
0,50	21720	17720	14290	872	925	978	1036
1,01	21850	17820	14400	11540	9846	1007	1053
1,51	21950	17960	14510	11670	9471	1086	1111
2,02	22090	18070	14610	11790	9606	7430	1201
2,52	22250	19170	14720	11920	9724	7630	5510
3,03	22320	18260	14820	12030	9855	7780	5800
3,34	22400	18320	14890	12110	9934	7870	5940
3,53	22450	18360	14940	12160	9985	7980	6010
4,04	22590	18480	15030	12270	10100	8070	6230
5,05	22820	18700	15230	12520	10330	8340	6600
6,06	23090	18920	15440	12730	10540	8580	6940
7,07	23330	19130	15670	12950	10780	8830	7220
8,08	23590	19850	15860	13160	11000	9060	7470
10,10	24080	19770	16290	13550	11390	9500	7990
15,15	25320	20830	17320	14500	12390	10460	9000
20,20	26560	21910	18320	15470	13330	11330	9940
25,25	27860	22960	19250	16400	14200	12180	10760
30,30	29150	24000	20200	17230	15050	13010	11530
40,40	31680	26120	22130	18980	16650	14610	12990
50,50	34310	28250	23930	20520	18180	16080	14440

Окончание таблицы 3.19

P, МПа	Коэффициент вязкости при температуре T, К							
	458,2	466,2	470,4	228,2	483,2	498,2	523,2	548,2
0,10	1046	1062	1073	1091	1102	1136	1189	1242
0,50	1058	1071	1081	1100	1109	1144	1199	1249
1,01	1075	1084	1091	1112	1122	1156	1204	1257
1,51	1126	1132	1143	1152	1160	1186	1230	1275
2,02	1203	1204	1203	1208	1212	1226	1270	1370
2,52	1364	1340	1329	1317	1302	1310	1335	1364
3,03	4825	1640	1506	1458	1440	1418	1418	1445
3,34	5080	4800	2650	1648	1575	1518	1484	1500
3,53	5200	4580	3780	2020	1732	1600	1535	1540
4,04	5510	4950	4410	3540	2980	1965	1690	1645
5,05	5950	5480	5110	4520	4290	2912	2163	1908
6,06	6330	5910	5590	5130	4860	3800	2680	2220
7,07	8620	6260	5950	5520	5250	4350	3220	2670
8,08	6920	6570	6240	5870	5570	4820	3750	2970
10,10	7420	7120	6800	6440	6140	5460	4520	3712
15,15	8480	8120	7900	7560	7340	6700	5810	4990
20,20	9420	9120	8850	8530	8290	7840	6670	5980
25,25	10270	9950	9680	9350	9120	8460	7490	6750
30,30	11010	11700	10430	10100	9870	9250	8250	7475
40,40	12450	12110	11890	11500	11290	10690	9610	8750
50,50	13860	13530	13280	12850	12640	12010	10950	10080

Таблица 3.20
Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^8$, Па·с
н-пентана на линии насыщения [2]

T, К	P, МПа	$\eta_{\text{нмн}}$	$\eta_{\text{нмд}}$
313,15	0,115	19060	705
323,15	0,160	17600	732
333,15	0,212	16180	758
343,15	0,282	14840	786
353,15	0,369	13550	818
363,15	0,462	12450	848
373,15	0,594	11420	880
383,15	0,739	10480	907
393,15	0,910	9624	944
403,15	1,107	8847	987

T, K	$P, \text{МПа}$	$\eta_{\text{жик}}$	$\eta_{\text{ыр}}$
413,15	1,332	8066	1036
423,15	1,598	7332	1092
433,15	1,890	6551	1163
443,15	2,222	5795	1271
453,15	2,592	5022	1421
459,15	2,838	4570	1560
463,15	3,010	4210	1677
466,15	3,146	3940	1854
468,15	3,242	3660	2003

Таблица 3.21

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^8, \text{Па} \cdot \text{с}$
 n -гексана при различных температурах и давлениях [2]

$P, \text{МПа}$	Коэффициент вязкости при температуре T, K					
	298,2	323,2	348,2	373,2	398,2	423,2
0,10	29300	23300	735	796	850	907
0,51	29410	23440	19400	15980	18100	931
1,01	29600	23600	19520	16050	13230	10840
1,51	29760	23730	19670	16190	13360	10940
2,02	29920	23880	19820	16300	13480	11110
2,52	30100	24040	19960	16430	13600	11240
2,83	30200	24130	20000	16500	13700	11280
2,99	30250	24190	20070	16560	13760	11330
3,53	30430	24330	20200	16680	13830	11460
4,04	30600	24500	20300	16800	13950	11600
5,05	30910	24770	20580	17040	14200	11830
6,06	31250	25070	20840	17300	14420	12040
8,08	31960	25700	21340	17840	14910	12580
10,10	32640	26310	21850	18320	15330	12920
15,15	34320	27750	23080	19470	16470	14030
20,20	35960	29180	34350	20610	17600	15100
25,25	37610	30650	25560	21730	18680	16170
30,30	39350	21100	26800	22890	19780	17240
40,40	42700	35080	29860	25140	21900	19250
50,50	46130	38140	31990	27440	24000	21200

Окончание таблицы 3.21

P, МПа	Коэффициент вязкости при температуре T, K					
	448,2	473,2	498,2	508,0	523,2	548,2
0,10	965	1014	1072	1090	1124	11777
0,51	983	1038	1105	1111	1144	1198
1,01	1065	1096	1150	1157	1186	1235
1,51	8610	1211	1230	1240	1253	1285
2,02	8770	6650	1281	1360	1354	1365
2,52	8920	6870	1647	1550	1470	1452
2,83	9010	7000	4800	1755	1610	1570
2,99	9050	7110	5070	2720	1730	1600
3,53	9220	7290	5480	4600	2590	1900
4,04	9360	7480	5780	5050	3480	2390
5,05	9600	7750	6220	5630	4480	3200
6,06	9880	8090	6580	6040	5070	3840
8,08	10380	8650	7170	6680	5830	4660
10,10	10840	9180	7680	7210	6430	5250
15,15	11980	10260	8810	8340	7580	6506
20,20	12960	11240	9750	9240	8520	7450
25,25	13950	12950	10670	10200	9470	8350
30,30	14950	13070	11500	11050	10290	9230
40,40	16840	14780	13130	12590	11810	10680
50,50	18640	16400	14630	14040	13190	11950

Таблица 3.22
 Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^8$, Па·с
 n-гексана на линии насыщения [2]

T, K	P, МПа	$\eta_{\text{жидк}}$	$\eta_{\text{пар}}$
343,15	0,104	20010	730
353,15	0,141	18350	754
363,15	0,187	17030	778
373,15	0,244	15370	802
383,15	0,313	14790	830
393,15	0,402	13580	861
403,15	0,494	12510	895
413,15	0,612	11530	932
423,15	0,745	10590	974
433,15	0,903	9720	1022
443,15	1,080	8880	1077
453,15	1,280	8110	1138
463,15	1,512	7310	1213

Окончание таблицы 3

T, K	$P, \text{МПа}$	$\eta_{\text{жид}}$	$\eta_{\text{тип}}$
473,15	1,576	6550	1306
483,15	2,069	5890	1423
493,15	2,405	5120	1586
499,15	2,626	4860	1728
503,15	2,784	4230	1885
506,15	2,909	3770	2100
507,95	2,992	2720	2720

Таблица 3.2

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^8, \text{Па} \cdot \text{с}$
 н-гептана при различных температурах и давлениях [2]

$P, \text{МПа}$	Коэффициент вязкости при температуре T, K					
	298,2	323,2	348,2	373,2	398,2	423,2
0,10	38830	30390	24170	733	784	833
0,50	39050	30550	24310	19640	16110	13200
1,01	39310	30730	24460	19780	16230	13320
1,51	39500	30890	24610	19940	16370	13440
2,02	39690	31110	24770	20080	16480	13550
2,32	39820	31230	24890	20130	16550	13630
2,52	39910	31270	24920	20200	16600	13680
2,74	39990	31340	24980	20250	16660	13720
3,03	40160	31510	25100	20340	16740	13800
3,53	40280	31840	25230	20480	16870	13930
4,04	40510	31850	25400	20640	17000	14060
5,05	40940	32200	25700	20910	17270	14340
6,06	41360	32550	26070	21210	17559	14580
8,08	42180	33270	26730	21740	18050	15080
10,10	43080	34060	27270	22450	18610	15590
15,15	45290	35860	28840	23770	19960	16830
20,20	47630	37780	30440	25200	21230	18030
25,25	50150	39740	32080	26510	22390	19240
30,30	52790	41700	33620	27870	23580	20320
40,40	57610	45550	36890	30650	25930	22440
50,50	62950	49520	40200	33450	28290	24460

Окончание таблицы 3.23

$P, \text{ МПа}$	Коэффициент вязкости при температуре $T, \text{ К}$						
	448,2	473,2	498,2	523,2	533,2	540,16	548,2
0,10	885	934	986	1037	1049	1071	1088
0,50	925	965	1011	1060	1060	1094	1110
1,01	10810	8670	1091	1117	1130	1143	1156
1,51	10970	8870	6920	1238	1234	1235	1235
2,02	11110	9050	7170	1440	1400	1380	1362
2,32	11170	9110	7320	5310	1595	1524	1465
2,52	11220	9230	7420	5440	4500	1680	1559
2,74	11880	9290	7490	5580	4720	2711	1730
3,03	11350	9380	7640	5810	5000	4300	3000
3,53	11480	9490	7810	6080	5360	4800	4130
4,04	11610	9670	8000	6320	5650	5220	4680
5,05	11860	9970	8300	6760	6160	5780	5310
6,06	12110	10250	8620	7120	6550	6190	5760
8,08	12640	10750	9140	7700	7170	6825	6480
10,10	13130	11240	9620	8235	7720	7400	7020
15,15	14310	12450	10800	9390	8880	8560	8200
20,20	15420	13500	11810	10380	9880	9560	9190
25,25	16490	14520	12770	11310	10800	10490	10110
30,30	17530	15530	13740	12230	11700	11350	10950
40,40	19530	17380	15490	13900	13330	12930	12550
50,50	21460	19150	17160	15500	15500	14530	14100

Таблица 3.24

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^8, \text{ Па} \cdot \text{с}$
 n -гексана на линии насыщения [2]

$T, \text{ К}$	$P, \text{ МПа}$	$\eta_{\text{жжк}}$	$\eta_{\text{нап}}$
373,15	0,106	19550	736
383,15	0,139	18090	759
393,15	0,182	16720	782
403,15	0,232	15460	807
413,15	0,296	14270	834
423,15	0,370	13180	863
433,15	0,458	12170	897
443,15	0,554	11210	932
453,15	0,677	10280	970
463,15	0,810	9450	1012
473,15	0,967	8670	1063
483,15	1,142	7950	1122
493,15	1,345	7220	1188

Окончание таблицы 3.24

T, K	$P, \text{МПа}$	$\eta_{\text{жидк}}$	$\eta_{\text{пар}}$
503,15	1,577	6520	1270
513,15	1,836	5810	1379
523,15	2,132	5170	1520
533,15	2,465	4470	1791
538,15	2,649	3783	2128
540,03	2,742	2711	2711

Таблица 3.25

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^8, \text{Па} \cdot \text{с}$
 n-октана при различных температурах и давлениях [2]

$P, \text{МПа}$	Коэффициент вязкости при температуре T, K					
	323,2	348,2	373,2	398,2	423,2	448,2
0,10	38300	30430	24400	19820	777	821
0,50	38500	30620	24530	19980	16470	13480
1,01	38730	30790	24700	20140	16610	13640
1,51	38950	31000	24900	20330	16800	13750
2,02	39170	31170	25060	20480	16950	13950
2,22	39300	31280	25120	20550	17040	14050
2,52	39400	31380	25240	20660	17200	14150
3,03	39640	31560	25400	20840	17330	14290
3,53	39860	31740	26570	21000	17500	14460
4,04	40060	31930	25740	21180	17660	14610
5,05	40520	32330	26100	21500	18000	14960
6,06	40970	32710	26450	21860	18330	15280
8,08	41800	33500	27160	22540	18980	15830
10,10	42670	34290	27860	23130	19600	16480
15,15	44870	36240	29670	24940	21140	17900
20,20	47180	38260	31520	26610	22650	19380
25,25	49580	40250	33380	28380	24130	20800
30,30	—	42310	35230	29900	25620	21860
40,40	—	46580	38860	33210	28560	23750
50,50	—	50710	42650	36500	31500	27000

Окончание таблицы 3.25

P, МПа	Коэффициент вязкости при температуре T, К					
	473,2	498,2	523,2	548,2	558,2	569,4
0,10	867	915	961	1007	1025	1045
0,50	915	951	993	1033	1052	1070
1,01	11190	8860	1093	1112	1123	1132
1,51	11360	9050	1080	1263	1252	1240
2,02	11520	9260	7290	2275	1500	1423
2,22	11550	9360	7380	5540	4610	1552
2,52	11580	9450	7510	5840	4800	2645
3,03	11850	9660	7110	6020	5200	4220
3,53	12030	9850	7500	6290	5520	4690
4,04	12170	10040	8100	6530	5820	5040
5,05	12470	10370	8410	6940	6270	5580
6,06	12790	10680	8810	7320	6700	6050
8,08	13390	11360	9450	7950	7340	6705
10,10	13970	11920	10660	8570	7940	7350
15,15	15250	13210	11390	9760	9170	8570
20,20	16450	14360	12590	10880	10290	9690
25,25	17620	15460	13530	11870	11240	10650
30,30	18730	16490	14510	12820	12210	11590
40,40	20950	18470	16450	14650	14020	13359
50,50	23080	20500	18220	16430	15690	15010

Таблица 3.26
 Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^8$, Па·с
 n-октана на линии насыщения [2]

T, К	P, МПа	$\eta_{\text{жид}}$	$\eta_{\text{пар}}$
403,15	0,112	19160	745
413,15	0,145	17680	766
423,15	0,190	16330	787
433,15	0,239	15070	809
443,15	0,299	13910	833
453,15	0,373	12830	860
463,15	0,454	11840	891
473,15	0,547	10900	926
483,15	0,654	10000	963
493,15	0,777	9200	1009
503,15	0,923	8400	1059
513,15	1,088	7670	1120
523,15	1,270	6960	1190

Окончание таблицы 3.24

T, K	$P, \text{МПа}$	$\eta_{\text{жидк}}$	$\eta_{\text{газ}}$
533,15	1,483	6270	1273
543,15	1,725	5610	1380
553,15	1,994	4925	1519
563,15	2,295	4110	1800
564,35	2,522	2645	2645

Таблица 3.27

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^8$, Па·с
жидкого *n*-нонана при различных температурах и давлениях
(вычисленные значения) [2]

$P, \text{МПа}$	Коэффициент вязкости при температуре T, K							
	348,2	373,2	390,2	423,2	448,2	473,2	498,2	523,2
1,01	34450	17750	22700	18900	15900	—	—	—
2,02	34950	28150	23100	19200	16200	13600	11450	9070
3,03	35300	28600	23450	19550	16500	13850	11720	9095
4,04	35850	29000	23750	19900	16800	14120	12000	10180
5,05	36250	29400	24100	20250	17100	14400	12230	10450
6,06	36750	29900	24500	20600	17350	14700	12550	10700
8,08	37600	30700	25300	21250	17900	15220	13100	11200
10,10	38600	31620	26150	21920	18550	15820	13620	11670
15,15	40820	33700	28000	23500	19850	17100	14800	12750
20,20	43250	35950	29900	25100	21280	18300	15950	13820
25,25	45650	38050	31600	26600	22750	19550	17100	14820
30,30	48000	40200	33420	28320	24220	20850	18200	15880
40,40	52750	44250	37000	31700	27000	23300	20280	17700
50,50	57600	48300	40550	34950	30050	25920	22500	19620
60,60	62500	52300	44250	38000	33990	28400	24700	21700
70,70	67000	56400	47900	41550	35950	31000	26950	23680
80,80	72000	60300	51750	44880	39020	33620	29250	25650

Таблица 3.28

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^8$, Па·с
жидкого *n*-декана при различных температурах и давлениях
(вычисленные значения) [2]

$P, \text{МПа}$	Коэффициент вязкости при температуре T, K				
	323,2	348,2	373,2	398,2	423,2
2,02	45650	35900	28750	23250	18770
3,03	46200	36400	29150	23600	19100
4,04	46750	36900	29600	23950	19450
5,05	47300	37350	29950	24300	19750
6,06	47900	37800	30350	24650	20100
8,08	49100	38750	31100	25300	20700

Окончание таблицы 3.28

P, МПа	Коэффициент вязкости при температуре T, К				
	323,2	348,2	373,2	398,2	423,2
10,10	50200	39600	31850	25950	21300
15,15	53100	41850	33700	27600	22750
20,20	55950	44100	35450	29150	24050
25,25	58750	46300	37300	30700	25400
30,30	61750	48520	39200	32250	26700
40,40	67750	52800	42700	35400	29250

Таблица 3.29

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^8$, Па·с
n-ундекана при различных температурах и давлениях [10]

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа								
	0,345	2,552	5,005	9,91	14,81	19,72	29,53	39,34	49,15
292,75	1176	1190	1242	1305	1388	1460	1623	1780	1950
329,15	701	710	740	791	838	876	970	1072	1170
349,15	554	564	590	625	659	696	762	842	927
373,15	439	448	468	488	510	540	596	639	694
403,15	349	355	363	378	406	426	470	516	558
423,15	302	310	320	338	348	381	419	460	497
449,15	241	250	261	273	291	312	348	387	418
472,15	—	210	219	234	250	269	304	336	360
497,15	—	178	187	198	213	230	260	286	312
520,15	—	158	163	168	188	201	219	243	270

Таблица 3.30

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
жидкого n-додекана при различных температурах [17]

T, К	η	T, К	η
263,15	2900	323,15	919
273,15	2264	333,15	803
283,15	1827	343,15	709
293,15	1492	353,15	632
303,15	1253	363,15	566
313,15	1064	373,15	510

Таблица 3.31

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
жидкого *n*-тридекана при различных температурах [17]**

<i>T</i> , К	η	<i>T</i> , К	η	<i>T</i> , К	η
273,15	2962	343,15	849	413,15	408
283,15	2339	353,15	751	423,15	375
293,15	1878	363,15	668	433,15	347
303,15	1561	373,15	598	443,15	322
313,15	1312	383,15	540	453,15	299
323,15	1114	393,15	489	463,15	279
333,15	969	403,3	446	473,15	260

Таблица 3.32

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
жидкого *n*-тетрадекана при различных температурах [17]**

<i>T</i> , К	η	<i>T</i> , К	η
283,15	2960	333,15	1135
293,15	2322	343,15	988
303,15	1889	353,15	868
313,15	1560	363,15	769
323,15	1323	373,15	685

Таблица 3.33

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
жидкого *n*-пентадекана при различных температурах [17]**

<i>T</i> , К	η	<i>T</i> , К	η
293,15	2841	333,15	1335
298,15	2546	343,15	1155
303,15	2291	353,15	1010
313,15	1873	363,15	888
323,15	1570	373,15	786

Таблица 3.34

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
жидкого *n*-гексадекана при различных температурах [1, 17]**

<i>T</i> , К	η	<i>T</i> , К	η	<i>T</i> , К	η
293,15	3451	363,15	1014	433,15	486
303,15	2754	373,15	892	453,15	409
313,15	2232	383,15	799	473,15	349
323,15	1852	393,15	716	493,15	299
333,15	1560	403,15	645	513,15	259
343,15	1338	413,15	584		
353,15	1161	423,15	532		

Таблица 3.35

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
n-гептадекана при различных температурах и давлениях [10]**

T, K	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа								
	0,345	2,552	5,005	9,91	14,81	19,72	29,53	39,34	49,15
124,65	2190	2228	2270	2404	2501	2636	2854	3068	—
130,15	1394	1454	1522	1620	1725	1815	2002	2204	2396
174,75	1018	1035	1076	1140	1220	1275	1430	1555	1674
401,15	738	765	790	840	890	940	1035	1155	1240
422,15	612	620	648	682	720	758	833	912	970
447,65	494	507	524	567	586	620	690	735	798
473,15	396	405	421	447	476	508	557	615	672
495,15	335	344	359	386	413	438	485	534	585
522,65	278	292	301	326	338	359	406	457	510

Таблица 3.36

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
n-октадекана при различных температурах и давлениях [10]**

T, K	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа								
	0,345	2,552	5,005	9,91	14,81	19,72	29,53	39,34	49,15
119,85	2714	2760	2871	3045	3230	3406	3735	4075	4420
157,15	1409	1455	1505	1594	1687	1787	1958	2167	2378
173,55	1125	1160	1203	1275	1349	1418	1558	1692	1837
398,15	856	882	912	962	1016	1071	1176	1264	1400
421,45	687	707	728	766	808	851	930	1018	1109
448,95	532	551	568	611	650	694	756	826	911
473,15	435	450	465	504	541	576	637	706	772
507,15	320	337	355	379	408	448	507	562	631

Таблица 3.37

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
n-нонадекана при различных температурах и давлениях [10]**

T, K	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа								
	0,345	2,552	5,005	9,91	14,81	19,72	29,53	39,34	49,15
332,65	2369	2429	2517	2672	2830	2991	3308	3637	3957
348,95	1716	1773	1838	1970	2088	2220	2475	2750	2996
375,05	1244	1284	1327	1416	1490	1580	1742	1913	2086
400,65	885	920	954	1013	1081	1148	1267	1400	1536
425,15	674	697	720	770	821	872	970	1074	1179
448,35	557	576	592	633	673	712	792	876	964
475,15	451	466	482	519	554	589	658	730	795
498,15	384	397	414	446	475	506	566	687	691
523,15	313	329	341	368	400	428	484	537	593

Таблица 3.38

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
н-эйкозана при различных температурах и давлениях [16]**

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа					
	0	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
350,45	2036	2370	2660	300	3265	3498
402,05	1004	1142	1280	1425	1566	1690
457,25	567	643	725	813	905	1003
499,95	395	466	535	608	670	728

Таблица 3.39

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
н-генэйкозана при различных температурах и давлениях [16]**

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа					
	0	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
353,15	2111	2450	2790	3132	3480	3863
394,05	1176	1355	1530	1691	1885	2066
428,25	818	940	1065	1191	1308	1414
460,85	598	688	778	861	960	1055
496,65	433	515	594	675	755	821

Таблица 3.40

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
н-докозана при различных температурах и давлениях [16]**

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа					
	0	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
353,05	2367	2746	3122	3465	3770	4149
396,75	1262	1142	1625	1807	1987	2168
453,45	700	800	898	993	1100	1212
510,65	424	502	582	653	745	827

3.7. Коэффициенты динамической вязкости олефиновых углеводородов при различных температурах и давлениях

Таблица 3.41

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^8$, Па·с
этилена при различных температурах и давлениях [1]**

Р, МПа	Коэффициент вязкости при температуре Т, К			
	297,2	323,2	373,2	423,2
0,10	1023	1106	1260	1400
2,52	1096	1175	1290	1470
5,05	1410	1310	1395	1560
6,06	1813	1400	—	1600

Окончание таблицы 3.41

P, МПа	Коэффициент вязкости при температуре T, К			
	297,2	323,2	373,2	423,2
7,07	2820	1560	1500	1640
8,08	3357	1760	1575	1685
9,09	3667	2004	—	1730
10,10	3906	2420	1734	1780
12,62	4420	3010	2040	1950
15,15	4885	3640	2380	2150
20,20	5524	4380	3027	2600
30,30	6520	5380	4095	3415
40,40	7323	6180	4863	4150
50,50	8090	6890	5540	4770
60,60	8820	7560	6147	5330
70,70	9440	8140	6713	5860
80,80	9956	8670	7255	6360

Таблица 3.42

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^8$, Па·с
пропилена при различных температурах и давлениях [1]

P, МПа	Коэффициент вязкости при температуре T, К						
	291,2	326,2	358,2	373,2	423,2	473,2	523,2
0,10	839	942	1032	1075	1212	1340	1468
2,52	10680	—	—	1192	1312	1423	1530
5,05	11160	7780	5140	2805	1550	1547	1660
7,57	11620	8280	5880	4970	2400	1853	1820
10,10	12050	8700	6400	5500	3405	2294	2060
12,62	12480	9080	6870	6030	4100	2782	2350
15,15	12880	9440	7280	6470	4600	3260	2695
20,20	13660	10130	8030	7240	5440	4085	3380
30,30	15100	11460	9350	8520	6740	5330	4465
40,40	16400	12700	10460	9650	7850	6350	5420
50,50	17700	13900	11500	10680	8770	7270	6300
60,60	18940	15000	12500	11620	9670	8055	7050
70,70	20100	16100	13460	12500	10480	8805	7740
80,80	21300	17100	14400	13370	11250	9500	8450

Таблица 3.42

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
газообразного бутена-1 при различных температурах [10]

T, К	η	T, К	η	T, К	η
273,15	71,0	313,15	81,6	353,15	92,0
283,15	73,6	323,15	84,2	363,15	94,5
293,15	76,3	333,15	86,8	373,15	97,2
303,15	78,9	343,15	89,3	383,15	99,7

Окончание таблицы 3.43

T, K	η	T, K	η	T, K	η
393,15	102,2	483,15	122,1	573,15	144,2
403,15	104,7	493,15	126,4	598,15	149,6
413,15	107,2	503,15	128,8	623,15	155,1
423,15	109,7	513,15	131,0	648,15	160,3
433,15	112,2	523,15	133,2	673,15	165,6
443,15	114,6	533,15	135,5	698,15	170,6
453,15	117,1	543,15	137,7	723,15	175,6
463,15	119,5	553,15	139,9	748,15	180,5
473,15	121,8	563,15	142,0	773,15	185,5

Таблица 3.44

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^5$, Па·с
жидкого бутена-1 при различных температурах [17]

T, K	η	T, K	η	T, K	η
163,15	79,0	193,15	45,0	223,15	30,0
168,15	70,8	198,15	41,5	228,15	28,1
173,15	64,0	203,15	39,0	233,15	26,0
178,15	58,2	208,15	36,5	238,15	24,3
183,15	53,0	213,15	34,5	243,15	22,6
188,15	49,6	218,15	31,9	248,15	21,0

Таблица 3.45

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
газообразного изобутилена (изобутена) при различных
температурах [10]

T, K	η	T, K	η
273,15	732	373,15	1006
293,15	786	423,15	1141
298,15	801	473,15	1273
323,15	870	523,15	1408
328,15	938	573,15	1542

Таблица 3.46

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
газообразного пентена-1 при различных температурах [10]

T, K	η	T, K	η	T, K	η
273,15	65,0	343,15	82,5	413,15	99,2
283,15	67,6	353,15	85,0	423,15	101,6
293,15	70,1	363,15	87,4	433,15	103,9
303,15	72,6	373,15	89,8	443,15	106,2
313,15	75,1	383,15	92,1	453,15	108,5
323,15	77,6	393,15	94,5	463,15	110,6
333,15	80,1	403,15	96,8	473,15	113,0

Окончание таблицы 3.46

T, K	η	T, K	η	T, K	η
483,15	115,2	543,15	128,3	648,15	149,8
493,15	117,5	553,15	130,4	673,15	154,8
503,15	119,7	563,15	132,5	698,15	159,6
513,15	121,9	573,15	134,6	723,15	164,5
523,15	123,2	598,15	139,8	748,15	169,2
533,15	126,2	623,15	144,9	773,15	173,8

Таблица 3.47

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^5$, Па·с
жидкого пентена-1 при различных температурах [17]

T, K	η	T, K	η	T, K	η
183,15	85	218,15	46	253,15	30
188,15	77	223,15	43	258,15	28
193,15	70	228,15	40	263,15	27
198,15	64	233,15	38	268,15	25
203,15	59	238,15	35	273,15	24
208,15	54	243,15	33		
213,15	50	248,15	31		

Таблица 3.48

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
гексена-1 при различных температурах и давлениях [13]

T, K	Коэффициент вязкости при давлении P , МПа						
	0,1	5,0	10	20	30	40	50
158	4970	—	5832	6680	7572	8429	9312
173	2245	—	2500	2760	3090	3444	3840
193	1230	—	1360	1504	1680	1872	2082
213	832	—	908	980	1065	1150	1236
233	595	—	650	710	769	824	880
253	436	—	477	523	570	612	658
273	335	—	364	402	436	470	507
293	268	—	292	322	348	375	400
298,15	235	250	267	296	320	341	370
323,15	206	214	230	253	276	301	329
348,15	—	185	195	218	250	262	286
373,15	—	158	169	190	207	229	251
398,15	—	136	149	163	182	200	218
423,15	—	117	128	142	160	176	193
448,15	—	102	111	124	139	154	170
473,15	—	88	96	110	123	137	157

Таблица 3.4

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
гептена-1 при различных температурах и давлениях [13]**

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа						
	0,1	5,0	10	20	30	40	50
173	4030	—	4380	6150	7480	9250	11460
193	2020	—	2350	2730	3210	3615	4095
213	1215	—	1370	1542	1712	1900	2140
233	850	—	923	1025	1125	1240	1368
253	618	—	670	730	792	886	962
273	466	—	510	556	606	660	725
298	365	—	400	442	493	537	580
303,15	315	337	354	393	424	458	499
323,15	265	282	303	328	355	392	424
348,15	218	229	246	270	299	320	350
373,15	—	190	205	229	256	269	288
398,15	—	157	174	193	212	230	247
423,15	—	130	146	163	181	199	211
448,15	—	109	124	141	158	173	189
473,15	—	90	106	123	138	152	167

Таблица 3.50

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
октена-1 при различных температурах и давлениях [13]**

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа						
	0,1	5,0	10	20	30	40	50
193	5265	—	6220	7270	8475	9815	14350
213	2250	—	2535	2863	3240	3625	4210
233	1345	—	1495	1660	1825	2015	2205
253	890	—	1000	1105	1213	1328	1455
273	625	—	700	782	865	955	1040
293	478	—	540	595	656	725	780
303,15	424	449	473	519	558	595	639
313,15	346	370	402	435	468	520	559
348,15	—	286	312	344	381	417	466
373,15	—	243	261	291	328	356	380
398,15	—	208	224	244	274	307	329
423,15	—	183	194	212	234	256	283
448,15	—	158	167	185	201	220	233
473,15	—	137	148	161	177	192	213

Таблица 3.51

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
нонена-1 при различных температурах и давлениях [13]**

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа					
	0,1	10	20	30	40	50
203	5608	6475	7429	8560	9570	10565
223	2612	3080	3660	4230	4728	5395
248	1335	1502	1705	1938	2170	2400
273	832	931	1036	1156	1261	1385
298	573	644	712	784	855	917
323	426	486	540	591	645	700
348	340	386	428	471	512	552
373	272	310	344	381	418	450
398	215	247	278	312	342	375
423	—	192	222	250	277	310
448	—	148	176	204	232	260
473	—	102	128	155	184	213

Таблица 3.52

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
децена-1 при различных температурах и давлениях [13]**

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа					
	0,1	10	20	30	40	50
223	4048	5080	6290	7372	8215	9058
248	1842	2120	2400	2737	3105	3510
273	1112	1248	1380	1524	1682	1860
298	727	811	895	982	1080	1178
323	532	592	657	720	787	847
348	405	458	511	560	612	662
373	326	370	416	458	502	543
398	263	301	343	384	422	460
423	—	250	286	323	358	392
448	—	206	242	280	312	344
473	—	177	212	241	267	302

3.8. Коэффициенты динамической вязкости ароматических углеводородов при различных температурах и давлениях

Таблица 3.48
Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с бензола при различных температурах и давлениях [14]

P, МПа	Коэффициент вязкости при температуре T, К										
	298,2	323,2	348,2	373,2	398,2	423,2	448,2	473,2	498,2	523,2	548,2
0,1	6049	4358	3368	—	—	—	—	—	—	—	—
2,5	6194	4461	3442	2719	2183	1784	1482	1212	915	—	—
5,0	6348	4570	3525	2788	2263	1855	1548	1265	1012	796	594
7,5	6489	4675	3604	2855	2332	1914	1596	1319	1085	886	711
10,0	6648	4794	3687	2936	2402	1980	1656	1384	1140	961	785
12,5	6803	4891	3770	3002	2462	2036	1705	1433	1202	1002	832
15,0	6952	4996	3846	3082	2523	2087	1751	1466	1252	1058	882
17,5	7104	5103	3923	3148	2582	2138	1792	1518	1291	1102	922
20,0	7253	5214	4005	3218	2634	2195	1832	1563	1329	1137	965
22,5	7412	5318	4082	3291	2702	2251	1882	1611	1376	1182	1005
25,0	7553	5422	4160	3364	2764	2305	1935	1655	1414	1221	1049
27,5	7725	5531	4241	3432	2828	2361	1982	1701	1461	1260	1088
30,0	7861	5635	4315	3501	2883	2412	2032	1745	1500	1295	1140
32,5	8020	5742	4396	3571	2942	2467	2086	1790	1541	1341	1169
35,0	8171	5851	4475	3642	3001	2524	2128	1841	1583	1382	1206
37,5	8322	5952	4554	3710	3059	2569	2185	1880	1621	1419	1245
40,0	8483	6061	4634	3786	3122	2625	2234	1926	1668	1458	1278

Таблица 3.54
Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с жидкого бензола на линии насыщения [18]

T, К	P, МПа	η	T, К	P, МПа	η
283,15	0,0061	0,760	403,15	0,3776	0,201
293,15	0,0100	0,650	413,15	0,4708	0,185
303,15	0,0159	0,560	423,15	0,5800	0,170
313,15	0,0243	0,492	448,15	0,9358	0,144
323,15	0,0361	0,436	473,15	1,4160	0,121
333,15	0,0521	0,390	498,15	2,0836	0,100
343,15	0,0732	0,350	523,15	2,9644	0,082
353,15	0,1008	0,316	548,15	—	0,065
363,15	0,1357	0,296	553,15	—	0,062
373,15	0,1795	0,261	558,15	—	0,059
383,15	0,2335	0,239	561,15	—	0,056
393,15	0,2991	0,219			

Таблица 3.55

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
толуола при различных температурах и давлениях [14]

Р, МПа	Коэффициент вязкости при температуре Т, К										
	298,2	323,2	348,2	373,2	398,2	423,2	448,2	473,2	498,2	523,2	548,2
0,1	5643	4206	3342	2718	—	—	—	—	—	—	—
2,5	5761	4288	3402	2778	2298	1940	1630	1375	1150	960	798
5,0	5883	4374	3475	2839	2355	1987	1682	1430	1213	1024	871
7,5	6002	4456	3550	2897	2420	2039	1736	1482	1267	1082	929
10,0	6128	4550	3615	2962	2480	2095	1790	1530	1322	1139	980
12,5	6245	4635	3692	3021	2532	2143	1841	1585	1380	1201	1038
15,0	6368	4721	3752	3080	2587	2203	1890	1635	1427	1249	1089
17,5	6489	4815	3836	3142	2642	2247	1942	1678	1478	1300	1140
20,0	6615	4895	3905	3204	2695	2296	1991	1731	1528	1345	1188
22,5	6729	5005	3979	3265	2753	2342	2031	1778	1570	1389	1234
25,0	6855	5072	4045	3324	2809	2390	2075	1816	1612	1432	1284
27,5	6972	5163	4122	3386	2858	2441	2125	1868	1649	1476	1325
30,0	7092	5254	4191	3449	2916	2493	2171	1901	1691	1521	1366
32,5	7215	5341	4264	3514	2966	2542	2218	1964	1728	1558	1410
35,0	7334	5434	4336	3572	3025	2600	2274	1988	1770	1590	1449
37,5	7455	5520	4407	3637	3078	2648	2313	2041	1805	1628	1482
40,0	7572	5611	4481	3702	3129	2704	2364	2077	1843	1663	1521

Таблица 3.56

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
этилбензола при различных температурах и давлениях [14]

Р, МПа	Коэффициент вязкости при температуре Т, К										
	298,2	323,2	348,2	373,2	398,2	423,2	448,2	473,2	498,2	523,2	548,2
0,1	6815	5145	4110	3354	—	—	—	—	—	—	—
2,5	6933	5260	4195	3430	2840	2383	2015	1746	1500	1281	1098
5,0	7061	5366	4285	3514	2906	2434	2070	1789	1552	1341	1146
7,5	7183	5470	4380	3590	2975	2490	2120	1840	1605	1395	1210
10,0	7310	5561	4460	3679	3044	2556	2178	1891	1650	1442	1264
12,5	7436	5680	4550	3750	3115	2610	2230	1940	1695	1495	1315
15,0	7564	5783	4650	3833	3175	2666	2275	1985	1740	1540	1360
17,5	7691	5889	4734	3910	3254	2728	2335	2038	1788	1586	1419
20,0	7818	5982	4830	3991	3320	2788	2385	2083	1838	1634	1468
22,5	7939	6096	4912	4073	3392	2849	2446	2136	1877	1680	1510
25,0	8063	6201	5005	4149	3460	2910	2495	2185	1930	1727	1553
27,5	8188	6304	5090	4228	3525	2967	2550	2234	1969	1769	1592
30,0	8311	6419	5185	4311	3604	3020	2605	2275	2020	1809	1634

Окончание таблицы 3

Р, МПа	Коэффициент вязкости при температуре Т, К										
	298,2	323,2	348,2	373,2	398,2	423,2	448,2	473,2	498,2	523,2	548,2
32,5	8436	6509	5265	4380	3659	3079	2652	2328	2058	1850	1668
35,0	8562	6619	5350	4457	3730	3134	2700	2381	2105	1892	1711
37,5	8687	6718	5435	4532	3795	3188	2758	2418	2150	1930	1745
40,0	8819	6827	5535	4611	3860	3248	2807	2463	2195	1973	1785

Таблица 3.57

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
орто-ксилола при различных температурах и давлениях [14]

Р, МПа	Коэффициент вязкости при температуре Т, К										
	298,2	323,2	348,2	373,2	398,2	423,2	448,2	473,2	498,2	523,2	548,2
0,1	7965	5621	4393	3516	—	—	—	—	—	—	—
2,5	8145	5755	4487	3605	3013	2572	2200	1855	1560	1343	1119
5,0	8326	5889	4581	3693	3078	2633	2255	1910	1619	1406	1192
7,5	8507	6029	4678	3775	3145	2693	2310	1966	1677	1468	1254
10,0	8680	6171	4774	3860	3211	2753	2366	2023	1734	1529	1315
12,5	8860	6299	4873	3945	3277	2814	2426	2080	1791	1582	1374
15,0	9040	6440	4972	4030	3345	2877	2479	2136	1847	1633	1428
17,5	9223	6579	5076	4128	3412	2942	2532	2193	1900	1683	1481
20,0	9400	6707	5175	4218	3479	3009	2581	2249	1954	1735	1530
22,5	9581	6849	5283	4318	3543	3079	2638	2303	2001	1791	1565
25,0	9758	6995	5378	4389	3605	3128	2690	2356	2063	1836	1626
27,5	9939	7129	5479	4487	3682	3208	2750	2422	2121	1889	1660
30,0	10118	7257	5580	4581	3748	3254	2803	2464	2173	1937	1714
32,5	10300	7400	5679	4667	3815	3328	2864	2522	2223	1992	1748
35,0	10483	7536	5781	4725	3885	3374	2912	2571	2270	2038	1801
37,5	10665	7660	5868	4839	3948	3440	2968	2624	2331	2091	1845
40,0	10864	7800	5990	4938	4018	3501	3034	2677	2373	2139	1886

Таблица 3.58

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
мета-ксилола при различных температурах и давлениях [14]

Р, МПа	Коэффициент вязкости при температуре Т, К										
	298,2	323,2	348,2	373,2	398,2	423,2	448,2	473,2	498,2	523,2	548,2
0,1	5698	4315	3435	2830	—	—	—	—	—	—	—
2,5	5817	4415	3520	2900	2462	2068	1762	1503	1277	1089	912
5,0	5940	4513	3597	2975	2528	2133	1815	1561	1332	1145	973
7,5	6061	4610	3675	3047	2591	2176	1866	1602	1381	1199	1029
10,0	6185	4710	3750	3121	2652	2231	1921	1658	1432	1250	1078
12,5	6316	4800	3825	3193	2710	2289	1975	1709	1481	1299	1138

Окончание таблицы 3.58

P, МПа	Коэффициент вязкости при температуре T, К										
	298,2	323,2	348,2	373,2	398,2	423,2	448,2	473,2	498,2	523,2	548,2
15,0	6433	4900	3915	3265	2770	2344	2023	1753	1532	1347	1188
17,5	6566	4995	3983	3335	2830	2401	2079	1802	1581	1395	1236
20,0	6691	5092	4092	3400	2883	2459	2132	1851	1626	1438	1279
22,5	6821	5189	4157	3469	2932	2513	2183	1895	1671	1478	1322
25,0	6952	5285	4233	3533	2988	2562	2222	1939	1717	1518	1357
27,5	7075	5380	4289	3597	3036	2619	2279	1981	1760	1553	1396
30,0	7198	5475	4388	3660	3095	2672	2322	2028	1800	1594	1431
32,5	7330	5570	4447	3728	3145	2728	2369	2071	1839	1632	1469
35,0	7440	5670	4528	3805	3202	2775	2413	2115	1879	1676	1504
37,5	7581	5765	4602	3852	3256	2824	2461	2158	1918	1719	1543
40,0	7710	5860	4700	3916	3311	2869	2508	2202	1961	1760	1576

Таблица 3.59

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
пара-ксилола при различных температурах и давлениях [14]

P, МПа	Коэффициент вязкости при температуре T, К									
	323,2	348,2	373,2	398,2	423,2	448,2	473,2	498,2	523,2	548,2
0,1	4528	3593	2918	—	—	—	—	—	—	—
2,5	4619	3657	2997	2457	2046	1734	1496	1273	1070	887
5,0	4716	3734	3076	2514	2102	1790	1550	1329	1123	949
7,5	4819	3816	3154	2584	2158	1845	1606	1378	1174	1009
10,0	4930	3894	3230	2650	2214	1900	1655	1428	1224	1061
12,5	5024	3972	3304	2726	2270	1954	1709	1478	1274	1117
15,0	5125	4050	3381	2774	2328	2010	1760	1528	1325	1163
17,5	5232	4128	3450	2833	2382	2062	1806	1578	1376	1209
20,0	5343	4207	3512	2892	2435	2112	1856	1626	1422	1254
22,5	5449	4285	3565	2960	2490	2155	1900	1666	1465	1300
25,0	5550	4368	3629	3017	2544	2201	1946	1713	1502	1340
27,5	5657	4440	3690	3079	2595	2249	1992	1758	1543	1379
30,0	5758	4531	3742	3131	2647	2298	2038	1798	1582	1420
32,5	5869	4608	3823	3192	2711	2347	2079	1848	1624	1455
35,0	5968	4695	3894	3251	2762	2395	2121	1884	1664	1498
37,5	6082	4774	3964	3309	2825	2445	2163	1932	1708	1532
40,0	6185	4855	4024	3361	2875	2493	2201	1972	1745	1565

3.9. Коэффициенты динамической вязкости нафтеновых углеводородов

Таблица 3.60

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
жидкого метилциклопентана при различных температурах [18]

T, K	η	T, K	η
248,15	930	288,15	538
253,15	860	293,15	507
258,15	800	298,15	478
263,15	745	303,15	452
268,15	695	308,15	427
273,15	650	313,15	405
278,15	609	318,15	384
283,15	572	323,15	365

Таблица 3.61

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
жидкого этилциклопентана при различных температурах [18]

T, K	η	T, K	η
253,15	960	293,15	567
258,15	890	298,15	536
263,15	829	303,15	507
268,15	774	308,15	480
273,15	724	313,15	456
278,15	679	318,15	433
283,15	639	323,15	412
288,15	601		

Таблица 3.62

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
газообразного циклогексана при различных температурах [1]

T, K	η	T, K	η
273,15	653	473,15	1090
293,15	701	523,15	1191
298,15	712	573,15	1291
323,15	770	673,15	1482
348,15	817	773,15	1670
373,15	878	873,15	1860
423,15	986		

Таблица 3.63

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
жидкого циклогексана при различных температурах [1]**

T, K	η	T, K	η
293,15	970	333,15	538
303,15	822	343,15	474
313,15	706	353,15	426
323,15	610		

Таблица 3.64

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
жидкого метилциклогексана при различных температурах [1]**

T, K	η	T, K	η
273,15	991	303,15	639
283,15	847	313,15	562
293,15	731		

3.10. Коэффициенты динамической вязкости газовых конденсатов и их фракций при различных температурах и давлениях

Таблица 3.65

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
газового конденсата Вуктыльского месторождения при различных
температурах и давлениях [19]**

T, K	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
220	22033	22547	23062	23576	24091	24605	27178	29751
230	17451	17822	18193	18564	18935	19305	21160	23015
240	14438	14691	14943	15196	15449	15701	16965	18229
250	12151	12331	12511	12691	12871	13051	13951	14851
260	10353	10489	10626	10762	10899	11035	11718	12401
270	8838	8949	9060	9171	9282	9393	9948	10503
280	7633	7727	7822	7916	8011	8105	8578	9051
290	6670	6751	6833	6914	6996	7077	7484	7891
300	5827	5901	5976	6050	6125	6199	6572	6945
310	—	5216	5288	5359	5430	5501	5858	6215
320	—	4684	4746	4807	4868	4929	5236	5543
330	—	4210	4367	4324	4381	4438	4724	5009
340	—	—	3878	3932	3985	4039	4307	4575
350	—	—	3578	3627	3677	3726	3972	4219
360	—	—	3314	3360	3406	3452	3682	3912
370	—	—	3062	3106	3150	3194	3413	3632
380	—	—	—	2869	2911	2952	3158	3365

Продолжение таблицы 3.65

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
390	—	—	—	2625	2665	2705	2905	3105
400	—	—	—	—	2485	2523	2712	2901
410	—	—	—	—	2307	2343	2523	2703
420	—	—	—	—	—	2201	2373	2547
430	—	—	—	—	—	2053	2219	2386
440	—	—	—	—	—	—	2115	2274
450	—	—	—	—	—	—	2016	2171
460	—	—	—	—	—	—	1950	2099
470	—	—	—	—	—	—	1904	2047

Окончание таблицы 3.65

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	32323	34896	37468	40041	42613	45186	47758	49817	52903
230	24869	26723	28578	30433	32287	34142	35996	37851	3705
240	19492	20526	22019	23283	24546	25810	27073	28337	29600
250	15751	16651	17551	18451	19351	20251	21151	22051	22951
260	13083	13766	14448	15131	15813	16496	17178	17861	18543
270	11058	11613	12168	12723	13278	13833	14388	14943	15498
280	9523	9996	10468	10941	11413	11886	12358	12831	13303
290	8298	8705	9112	9521	9926	10333	10740	11148	11554
300	7317	7690	8062	8435	8807	9180	9552	9925	10297
310	6571	6928	7284	7641	7997	8354	8710	9067	9423
320	5849	6156	6462	6769	7075	7382	7688	7995	8301
330	5294	5579	5864	6149	6434	6719	7004	7289	7574
340	4842	5110	5377	5645	5912	6180	6447	6720	6982
350	4465	4711	4957	5204	5450	5696	5942	6189	6435
360	4142	4372	4602	4832	5062	5292	5522	5752	5982
370	3851	4070	4289	4508	4727	4946	5165	5384	5603
380	3571	3777	3983	4190	4396	4602	4808	5015	5221
390	3305	3505	3705	3905	4105	4305	4505	4705	4905
400	3090	3279	3470	3657	3846	4035	4224	4413	4602
410	2883	3063	3243	3423	3603	3783	3963	4143	4323
420	2719	2892	3064	3235	3410	3583	3755	3929	4101
430	2552	2718	2884	3051	3217	3383	3549	3716	3882
440	2433	2592	2751	2905	3069	3228	3387	3546	3705
450	2325	2479	2634	2788	2943	3097	3252	3406	3561
460	2247	2395	2543	2751	2840	2989	3136	3285	3433
470	2188	2330	2471	2614	2755	2897	3038	3181	3322

Таблица 3.66

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
 фракции н.к.–60°C газового конденсата Вуктыльского
 месторождения при различных температурах и давлениях [19]

T, K	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
220	8057	8206	8355	8504	8653	8802	9548	10294
230	6603	6695	6787	6878	6970	7061	7519	7978
240	5471	5542	5612	5683	5753	5824	6176	6530
250	4605	4665	4725	4785	4845	4905	5205	5505
260	3975	4028	4080	4133	4185	4237	4499	4762
270	3526	3572	3617	3663	3708	3753	3980	4208
280	3161	3201	3241	3280	3320	3360	3559	3758
290	2908	2943	2977	3012	3046	3081	3253	3427
300	—	—	2711	2742	2772	2803	2955	3108
310	—	—	—	2551	2579	2606	2742	2879
320	—	—	—	—	2398	2423	2545	2669
330	—	—	—	—	—	2261	2377	2492
340	—	—	—	—	—	2121	2231	2341
350	—	—	—	—	—	2005	2111	2218
360	—	—	—	—	—	1907	2008	2109
370	—	—	—	—	—	1807	1904	2002
380	—	—	—	—	—	1731	1823	1917
390	—	—	—	—	—	1674	1760	1847
400	—	—	—	—	—	1612	1694	1778
410	—	—	—	—	—	1560	1639	1718
420	—	—	—	—	—	1528	1603	1679
430	—	—	—	—	—	1511	1581	1651
440	—	—	—	—	—	1481	1547	1612
450	—	—	—	—	—	1464	1526	1578
460	—	—	—	—	—	—	1501	1559
470	—	—	—	—	—	—	1477	1532

Продолжение таблицы 3.66

T, K	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	11049	11785	12530	13276	14021	14767	15512	16258	17003
230	8436	8895	9352	9811	10269	10728	11185	11644	12102
240	6882	7235	7587	7941	8293	8646	8998	9352	9704
250	5805	6105	6405	6705	7005	7305	7605	7905	8205
260	5023	5285	5546	5809	6070	6332	6593	6856	7117
270	4435	4663	4889	5117	5444	5572	5798	6026	6253

Окончание таблицы 3.66

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
280	3957	4156	4355	4554	4753	4952	5151	5350	5549
290	3599	3772	3944	4118	4290	4463	4635	4808	4981
300	3261	3414	3566	3720	3872	4025	4177	4331	4483
310	3015	3151	3287	3424	3560	3696	3832	3969	4105
320	2791	2914	3036	3160	3282	3405	3527	3651	3773
330	2608	2724	2839	2955	3070	3186	3301	3417	3532
340	2451	2561	2671	2781	2891	3001	3111	3221	3331
350	2324	2430	2536	2643	2749	2855	2961	3068	3174
360	2210	2311	2412	2513	2614	2715	2816	2910	3018
370	2099	2199	2293	2371	2488	2586	2682	2780	2877
380	2009	2102	2194	2288	2380	2473	2565	2659	2751
390	1933	2019	2105	2192	2278	2364	2450	2537	2623
400	1860	1943	2025	2110	2191	2274	2356	2440	2522
410	1797	1876	1955	2034	2113	2192	2271	2350	2429
420	1752	1827	1901	1976	2050	2124	2199	2274	2348
430	1721	1791	1861	1959	2001	2071	2141	2211	2281
440	1678	1744	1809	1901	1940	2006	2071	2137	2202
450	1650	1711	1773	1860	1897	1959	2020	2083	2144
460	1617	1675	1733	1815	1849	1906	1965	2018	2081
470	1586	1641	1695	1771	1804	1859	1913	1968	2022

Таблица 3.67

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
фракции 60–95°C газового конденсата Вуктыльского месторождения
при различных температурах и давлениях [19]**

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
220	10226	10387	10549	10710	10872	11033	11839	12646
230	8781	8901	9021	9141	9261	9381	9981	10581
240	7609	7703	7796	7889	7983	8076	8542	9009
250	6637	6714	6790	6867	6943	7019	7401	7784
260	5804	5870	5935	6000	6066	6131	6457	6784
270	5128	5185	5242	5299	5356	5413	5699	5985
280	4552	4602	4652	4702	4752	4802	5052	5302
290	4039	4085	4130	4175	4221	4266	4492	4719
300	3611	3653	3694	3736	3777	3818	4025	4233
310	3206	3245	3283	3322	3360	3399	3591	3785
320	2855	2927	2963	2999	3035	3071	3251	3431

Продолжение таблицы 3.67

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
330	—	2642	2676	2710	2744	2778	2948	3118
340	—	—	2447	2479	2511	2543	2703	2863
350	—	—	2264	2294	2324	2354	2504	2654
360	—	—	—	2101	2130	2158	2303	2448
370	—	—	—	1978	2005	2032	2169	2307
380	—	—	—	—	1891	1917	2047	2177
390	—	—	—	—	1826	1850	1973	2096
400	—	—	—	—	—	1801	1918	2035
410	—	—	—	—	—	1753	1865	1977
420	—	—	—	—	—	1711	1819	1928
430	—	—	—	—	—	—	1783	1887
440	—	—	—	—	—	—	1761	1861
450	—	—	—	—	—	—	1740	1837
460	—	—	—	—	—	—	1710	1804
470	—	—	—	—	—	—	1689	1778

Продолжение таблицы 3.67

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	13452	14258	15064	15871	16677	17483	18289	19096	19902
230	11181	11781	12381	12981	13581	14181	14781	15381	15981
240	9475	9941	10407	10874	11340	11806	12272	12739	13205
250	8165	8547	8928	9311	9692	10074	10455	10838	11219
260	7110	7436	7762	8089	8415	8741	9067	9394	9720
270	6270	6555	6841	7129	7412	7698	7983	8268	8554
280	5552	5802	6052	6302	6552	6802	7052	7302	7552
290	4945	5171	5397	5624	5850	6076	6302	6529	6755
300	4440	4648	4854	5062	5269	5477	5683	5891	6098
310	3977	4170	4362	4556	4748	4941	5133	5327	5519
320	3611	3791	3971	4151	4331	4511	4691	4871	5051
330	3288	3458	3628	3798	3968	4138	4308	4478	4648
340	3023	3183	3343	3503	3663	3823	3983	4143	4303
350	2804	2954	3104	3254	3404	3554	3704	3854	4004
360	2592	2737	2881	3026	3170	3315	3459	3604	3748
370	2444	2582	2718	2856	2993	3131	3267	3405	3542
380	2307	2437	2567	2697	2827	2957	3087	3217	3347
390	2218	2341	2463	2586	2708	2831	2953	3076	3198

Окончание таблицы 3.67

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
400	2151	2267	2383	2500	2616	2732	2848	2965	3081
410	2089	2201	2312	2425	2536	2648	2759	2872	2983
420	2036	2145	2252	2361	2469	2578	2685	2794	2902
430	1990	2094	2197	2301	2404	2508	2611	2715	2818
440	1961	2061	2161	2261	2361	2461	2561	2661	2761
450	1933	2029	2125	2222	2918	2414	2510	2607	2703
460	1896	1982	2081	2175	2267	2359	2452	2546	2638
470	1867	1956	2045	2134	2223	2312	2401	2490	2579

Таблица 3.68

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
 фракции 95–122°С газового конденсата Вуктыльского месторождения
 при различных температурах и давлениях [19]

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
220	15607	15846	16085	16324	16563	16802	17998	19194
230	13079	13258	13436	13615	13794	13972	14866	15760
240	11220	11350	11480	11610	11739	11869	12517	13216
250	9575	9680	9784	9889	9993	10098	10620	11144
260	8204	8294	8384	8474	8564	8654	9104	9554
270	7030	7110	7189	7269	7348	7427	7824	8222
280	6174	6243	6313	6382	6452	6522	6870	7218
290	5439	5502	5565	5628	5691	5754	6070	6386
300	4860	4916	4973	5029	5086	5142	5425	5708
310	4370	4422	4473	4525	4576	4627	4884	5142
320	3950	3994	4044	4091	4138	4184	4419	4654
330	3619	3662	3704	3747	3790	3832	4046	4260
340	3325	3364	3403	3442	3481	3519	3714	3909
350	3099	3134	3170	3205	3241	3276	3454	3633
360	—	—	—	2982	3015	3048	3212	3376
370	—	—	—	2791	2822	2852	3004	3156
380	—	—	—	—	—	2694	2833	2972
390	—	—	—	—	—	2551	2681	2811
400	—	—	—	—	—	2413	2535	2658
410	—	—	—	—	—	2295	2409	2523
420	—	—	—	—	—	2187	2296	2405
430	—	—	—	—	—	2080	2184	2288
440	—	—	—	—	—	1989	2091	2193
450	—	—	—	—	—	1909	2009	2109
460	—	—	—	—	—	—	1947	2043
470	—	—	—	—	—	—	1904	1994

Окончание таблицы 3.68

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	20389	21585	22780	23976	25171	26367	27562	28758	29953
230	16653	17547	18440	19334	20227	21121	22014	22908	23801
240	13814	14463	15110	15759	16407	17056	17703	18352	19000
250	11666	12189	12711	13235	13757	14280	14802	15221	15848
260	10004	10454	10904	11354	11804	12254	12704	13154	13604
270	8619	9017	9413	9811	10208	10606	11002	11400	11797
280	7566	7915	8262	8611	8959	9308	9655	10004	10352
290	6701	7017	7332	7648	7963	8279	8594	8910	9225
300	5991	6274	6556	6840	7122	7905	7685	7971	8253
310	5399	5657	5913	6171	6428	6686	6942	7200	7457
320	4888	5123	5357	5592	5826	6061	6295	6530	6764
330	4473	4687	4900	5114	5327	5541	5754	5968	6181
340	4103	4298	4492	4687	4881	5076	5270	5465	5659
350	3811	3990	4167	4346	4524	4703	4880	5059	5237
360	3540	3704	3868	4032	4196	4360	4524	4688	4852
370	3308	3460	3612	3764	3916	4068	4220	4372	4524
380	3111	3250	3389	3528	3667	3806	3945	4084	4223
390	2941	3061	3201	3331	3461	3591	3721	3851	3981
400	2780	2903	3024	3147	3269	3392	3513	3636	3758
410	2637	2751	2865	2979	3093	3207	3321	3435	3549
420	2513	2622	2730	2839	2947	3051	3164	3273	3381
430	2392	2496	2600	2704	2808	2912	3016	3120	3224
440	2295	2397	2499	2601	2703	2805	2907	3014	3111
450	2209	2309	2409	2509	2609	2709	2809	2914	3009
460	2138	2234	2329	2425	2520	2616	2711	2807	2902
470	2083	2178	2262	2352	2441	2531	2620	2719	2799

Таблица 3.69

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
фракции 122–150°C газового конденсата Вуктыльского
месторождения при различных температурах и давлениях [19]**

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
220	24678	25258	25838	26418	26998	27578	30478	33381
230	19207	19647	20087	20527	20967	21407	23607	25807
240	15607	15904	16203	16501	16799	17097	18589	20081
250	13015	13225	13434	13644	13854	14063	15112	16161
260	10987	11149	11311	11473	11635	11796	12606	13416
270	9544	9670	9796	9922	10048	10174	10804	11435
280	8311	8411	8511	8611	8710	8810	9310	9809

Продолжение таблицы 3.69

T, K	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
290	7213	7296	7380	7463	7546	7629	8045	8461
300	6321	6391	6461	6531	6600	6670	7019	7368
310	5467	5528	5588	5649	5709	5770	6073	6376
320	4887	4941	4994	5047	5100	5153	5416	5680
330	4341	4291	4339	4387	4434	4482	4721	4959
340	3916	3960	4004	4048	4092	4136	4355	4575
350	3442	3485	3527	3570	3613	3655	3869	4083
360	3181	3222	3262	3303	3344	3384	3588	3792
370	2933	2973	3014	3054	3094	3134	3336	3538
380	2716	2756	2796	2836	2875	2916	3115	3314
390	—	—	—	—	2791	2828	3051	3236
400	—	—	—	—	—	2754	2932	3109
410	—	—	—	—	—	2642	2814	2988
420	—	—	—	—	—	2542	2711	2880
430	—	—	—	—	—	2294	2621	2785
440	—	—	—	—	—	2408	2564	2721
450	—	—	—	—	—	2352	2502	2652
460	—	—	—	—	—	—	2449	2594
470	—	—	—	—	—	—	2388	2530

Продолжение таблицы 3.69

T, K	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	36283	39186	42088	44991	47839	50796	53698	56601	59503
230	28870	30207	32407	34607	36807	39012	41207	43407	45607
240	22169	23064	24555	26047	27538	29210	30521	32013	33504
250	17630	18259	19308	20357	21405	22455	23504	24553	25602
260	14549	15035	15844	16654	17463	18273	19082	19892	20701
270	12317	12695	13325	13955	14585	15215	15846	16476	17105
280	10508	10808	11307	11806	12306	12805	13304	13804	14303
290	9043	9293	9709	10125	10541	10957	11373	11789	12205
300	7856	8065	8414	8763	9112	9461	9809	10188	10507
310	6800	6982	7285	7588	7891	8194	8497	8800	9103
320	6049	6208	6471	6735	6999	7263	7526	7790	8054
330	5293	5436	5675	5913	6152	6438	6724	6963	7201
340	4883	5014	5234	5454	5673	5893	6113	6332	6552
350	4381	4510	4723	4937	5150	5364	5577	5791	6004

Окончание таблицы 3.69

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
360	4076	4199	4402	4606	4809	5013	5216	5420	5623
370	3820	3941	4142	4344	4545	4747	4948	5150	5351
380	3593	3712	3911	4110	4309	4508	4707	4906	5105
390	3496	3607	3793	3978	4164	4350	4535	4721	4906
400	3357	3464	3640	3818	3995	4173	4349	4527	4704
410	3229	3333	3505	3678	3851	4024	4196	4370	4542
420	3117	3218	3387	3556	3725	3894	4063	4232	4401
430	3013	3112	3275	3439	3602	3766	3929	4093	4256
440	2939	3033	3189	3346	3502	3658	3814	3971	4127
450	2862	2952	3102	3250	3402	3552	3702	3852	4002
460	2798	2885	3030	3176	3321	3467	3612	3758	3903
470	2727	2812	2953	3095	3236	3377	3518	3660	3801

Таблица 3.70

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
фракции 150–175°С газового конденсата Вуктыльского
месторождения при различных температурах и давлениях [19]**

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
220	36954	37772	38590	39407	40225	41042	45130	49218
230	28450	29061	29672	30283	30893	31504	34559	37613
240	22390	22915	23441	23966	24491	25016	27642	30268
250	18382	18757	19131	19504	19878	20252	22120	23989
260	15772	16057	16343	16628	16914	17199	18626	20054
270	13190	13412	13634	13855	14077	14299	15408	16517
280	11197	11375	11553	11732	11909	12088	12979	13870
290	9684	9830	9975	10121	10266	10411	11138	11866
300	8370	8494	8618	8741	8865	8988	9606	10225
310	7741	7843	7944	8046	8147	8249	8757	9265
320	6585	6679	6774	6870	6965	7060	7536	8012
330	6099	6180	6262	6344	6426	6507	6917	7327
340	5536	5611	5685	5760	5835	5909	6283	6857
350	4967	5037	5106	5176	5246	5316	5665	6014
360	4422	4489	4556	4623	4690	4757	5093	5429
370	4038	4102	4167	4231	4296	4360	4683	5006
380	3641	3705	3769	3832	3896	3959	4277	4595
390	3334	3398	3460	3522	3584	3646	3955	4265
400	3047	3108	3169	3230	3291	3351	3656	3961
410	2833	2896	2955	3014	3073	3133	3429	3727

Продолжение таблицы 17

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
420	—	2794	2852	2910	2967	3025	3314	3403
430	—	—	2783	2839	2894	2950	3227	3303
440	—	—	—	2707	2762	2816	3087	3159
450	—	—	—	—	2713	2765	3028	3100
460	—	—	—	—	—	2723	2976	3048
470	—	—	—	—	—	2695	2941	3013

Окончание таблицы 17

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	53305	57393	61480	65568	69655	73743	77830	81918	86005
230	40667	43722	46776	49830	52885	55939	58993	62048	65102
240	32893	35519	38145	40771	43397	46023	48648	51274	53900
250	25857	27726	29594	31463	33331	35200	37068	38937	40805
260	21481	22909	24336	25764	27191	28619	30046	31474	32901
270	17626	18735	19844	20953	22062	23171	24280	25389	26498
280	14761	15652	16543	17434	18325	19216	20107	20998	21889
290	12593	13321	14047	14775	15502	16229	16959	17684	18411
300	10843	11462	12079	12493	13316	13935	14552	15171	15789
310	9773	10281	10789	11297	11805	12313	12821	13329	13837
320	8488	8964	9440	9916	10392	10868	11344	11820	12296
330	7736	8146	8555	8965	9374	9784	10193	10603	11012
340	7030	7404	7777	8151	8524	8898	9271	9645	10018
350	6363	6712	7060	7409	7758	8107	8456	8805	9154
360	5765	6101	6436	6772	7108	7444	7779	8115	8451
370	5328	5651	5973	6296	6618	6941	7263	7586	7908
380	4912	5230	5547	5865	6182	6500	6817	7135	7452
390	4575	4885	5194	5504	5814	6124	6433	6743	7053
400	4265	4569	4874	5179	5483	5788	6092	6397	6701
410	4024	4322	4619	4917	5214	5512	5809	6107	6404
420	3892	4181	4470	4759	5047	5337	5625	5914	6203
430	3782	4060	4336	4614	4891	5169	5445	5723	6000
440	3630	3901	4172	4443	4714	4986	5227	5528	5799
450	3552	3815	4077	4340	4602	4865	5127	5390	5652
460	3484	3738	3991	4245	4499	4752	5006	5260	5513
470	3432	3678	3924	4170	4416	4662	4907	5153	5399

Таблица 3.71

**Изменения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
фракции 175–200°C газового конденсата Вуктыльского
месторождения при различных температурах и давлениях [19]**

t, °C	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
130	48194	36540	50278	51319	52361	53409	58612	63821
140	35699	28448	37382	38224	39066	39908	44117	48326
150	27408	23105	29088	29628	30368	31008	34208	37408
160	22667	18532	23543	23981	24419	24857	27047	29162
170	18214	18532	18850	19169	19487	19805	21396	22987
180	14862	15111	15360	15609	15858	16107	17352	18597
190	12401	12603	12805	13006	13208	13410	14419	15428
200	10462	10629	10797	10964	11132	11299	12137	12975
210	9501	9633	9765	9896	10028	10160	10819	11478
220	8415	8522	8628	8735	8842	8948	9481	10014
230	7514	7595	7682	7771	7859	7947	8388	8830
240	6689	6765	6840	6915	6991	7066	7442	7818
250	6023	6089	6153	6218	6283	6347	6671	6995
260	5443	5502	5561	5619	5678	5736	6028	6321
270	4497	4556	4615	4675	4734	4793	5089	5386
280	4492	4542	4594	4645	4698	4749	5009	5269
290	4211	4259	4307	4356	4403	4452	4693	4934
300	3881	3927	3973	4020	4066	4112	4343	4574
310	3593	3636	3681	3725	3769	3813	4035	4257
320	3410	3454	3496	3538	3581	3623	3834	4047
330	3249	3290	3330	3371	3411	3451	3653	3856
340	—	—	3216	3255	3293	3332	3525	3718
350	—	—	—	3137	3174	3211	3397	3583
360	—	—	—	—	3060	3095	3279	3461
370	—	—	—	—	—	3000	3182	3364

Продолжение таблицы 3.71

t, K	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
230	69030	74239	79448	84657	89866	95075	100284	105493	110702
240	52535	56744	60953	65162	69371	73580	77789	82498	86207
250	40608	43808	47008	51488	53408	56608	59808	62368	66208
260	31277	33920	35567	37757	39947	42137	44327	46517	48707
270	24578	26169	27760	29366	30942	32533	34124	35397	37306
280	19842	21088	22332	23578	24823	25979	27314	28560	29805

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
290	16437	17446	18455	19464	20473	21482	22491	23500	24509
300	13812	14650	15486	16323	17159	17995	18831	19668	20504
310	12137	12796	13455	14114	14773	15432	16091	16750	17409
320	10546	11090	11612	12145	12678	13211	13743	14277	14810
330	9271	9713	10154	10596	11037	11479	11920	12362	12803
340	8194	8570	8946	9322	9698	10074	10450	10826	11202
350	7318	7642	7965	8289	8612	8936	9259	9583	9906
360	6613	6906	7197	7496	7782	8074	8366	8659	8951
370	5682	5978	6274	6571	6867	7163	7459	7756	8052
380	5528	5789	6047	6307	6566	6826	7085	7345	7604
390	5175	5412	5657	5898	6139	6379	6621	6862	7103
400	4805	5036	5267	5498	5729	5960	6191	6422	6653
410	4478	4700	4921	5143	5354	5586	5807	6029	6250
420	4258	4470	4681	4894	5105	5317	5528	5741	5952
430	4057	4259	4460	4663	4864	5066	5267	5470	5671
440	3910	4104	4297	4490	4682	4876	5068	5261	5454
450	3768	3954	4139	4325	4510	4696	4882	5067	5253
460	3643	3826	4007	4190	4372	4555	4736	4919	5101
470	3545	3728	3910	4092	4274	4456	4638	4820	5002

Таблица 3.70

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
фракции 200-к.к. газового конденсата Вуктыльского
месторождения при различных температурах и давлениях [19]**

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
290	31115	31653	32191	32730	33268	33806	36497	39188
300	24589	24993	25396	25800	26203	26607	28625	30657
310	19951	20273	20594	20916	21238	21559	23168	24732
320	16922	17169	17415	17662	17908	18154	19386	20619
330	14515	14711	14908	15104	15301	15497	16479	17462
340	12612	12770	12928	13087	13245	13403	14194	14985
350	10976	11112	11247	11383	11518	11653	12330	13008
360	9657	9774	9892	10009	10126	10243	10830	11417
370	8575	8681	8786	8892	8997	9102	9629	10157
380	7629	7725	7821	7916	8012	8108	8587	9066
390	6931	7018	7104	7191	7277	7363	7795	8228
400	6308	6548	6628	6548	6628	6708	7108	7508

Продолжение таблицы 3.72

Р, кПа	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
110	5793	5868	5943	6018	6093	6167	6542	6921
120	5356	5426	5497	5567	5638	5708	6061	6415
130	5046	5112	5178	5243	5309	5375	5704	6033
140	4803	4866	4928	4991	5054	5116	5430	5743
150	4600	4660	4720	4780	4840	4900	5204	5503
160	—	—	—	—	—	4756	5033	5311
170	—	—	—	—	—	4613	4884	5155

Окончание таблицы 3.72

Р, кПа	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
180	41879	44570	47221	49966	52643	55334	58025	60716	63407
190	32662	34681	36698	38717	40735	42854	44771	46790	48808
210	26295	27859	29422	30981	32549	34113	35676	37240	38803
230	21850	23082	24313	25546	26777	28009	29240	30473	31704
250	18443	19425	20406	21389	22370	23352	24333	25316	26297
260	15776	16158	17358	18149	18940	19731	20522	21313	22104
280	13685	14363	15039	15717	16394	17072	17748	18426	19103
300	12003	12589	13175	13762	14348	14934	15520	16107	16693
320	10684	11212	11738	12213	12793	13321	13847	14375	14902
340	9545	10024	10503	10987	11461	11940	12419	12898	13377
360	8659	9091	9522	9955	10386	10818	11249	11682	12113
400	7908	8308	8708	9108	9508	9908	10308	10708	11108
410	7291	7666	8040	8415	8789	9164	9538	9913	10287
420	6767	7120	7472	7826	8178	8531	8883	9237	9589
430	6362	6691	7020	7349	7678	8007	8336	8665	8994
440	6055	6368	6680	6993	7305	7618	7930	8243	8555
450	5801	6100	6398	6696	6994	7293	7590	7889	8187
460	5588	5866	6142	6420	6697	6975	7251	7529	7806
470	5426	5697	5968	6239	6510	781	7052	7233	7594

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
газового конденсата Оренбургского месторождения
при различных температурах и давлениях [19]**

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
220	10461	10584	10707	10830	10953	11076	11691	12306
230	9042	9150	9258	9366	9474	9582	10123	10664
240	7783	7876	7970	8063	8157	8250	8718	9188
250	6780	6860	6940	7019	7099	7179	7578	7977
260	5961	6031	6101	6170	6240	6310	6659	7058
280	4790	4843	4896	4949	5003	5056	5321	5687
290	4332	4379	4427	4474	4522	4569	4807	5066
300	3930	3972	4015	4057	4100	4142	4355	4587
310	—	3626	3664	3703	3741	3779	3070	3161
320	—	3318	3352	3387	3422	3457	3631	3706
330	—	3050	3082	3115	3147	3179	3340	3401
340	—	—	2848	2878	2908	2938	3087	3136
350	—	—	2625	2653	2681	2710	2850	2898
360	—	—	2423	2450	2477	2504	2638	2677
370	—	—	2252	2278	2304	2330	2459	2488
380	—	—	—	2103	2128	2153	2277	2301
390	—	—	—	1949	1974	1998	2120	2144
400	—	—	—	—	1838	1862	1980	2004
410	—	—	—	—	1720	1743	1858	1873
420	—	—	—	—	—	1611	1724	1737
430	—	—	—	—	—	1491	1603	1615
440	—	—	—	—	—	—	1495	1507
450	—	—	—	—	—	—	1385	1398
460	—	—	—	—	—	—	1282	1296
470	—	—	—	—	—	—	1191	1206

Продолжение таблицы 3.7

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	12921	13536	14151	14766	15381	15996	16611	17224	17841
230	11205	11746	12287	12828	13369	13909	14450	14991	15532
240	9653	10120	10587	11054	11522	11989	12457	12924	13392
250	8377	8776	9175	9574	9973	10372	10772	11171	11570
260	7358	7707	8056	8405	8754	9103	9453	9802	10151
270	6517	6819	7123	7426	7729	7532	8336	8638	8942
280	5853	6118	6384	6650	6915	7181	7447	7712	7978

Окончание таблицы 3.73

t, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа								
	10	25	30	35	40	45	50	55	60
180	5781	5518	5756	5993	6231	6468	6705	6942	7180
190	4780	4992	5204	5416	5629	5841	6054	6266	6479
200	4392	4543	4734	4925	5116	5307	5498	5689	5880
210	3979	4153	4327	4501	4676	4850	5024	5198	5372
220	3662	3823	3984	4145	4306	4462	4628	4789	4950
230	3386	3535	3685	3834	3983	4136	4282	4433	4581
240	3131	3271	3412	3552	3693	3839	3974	4114	4255
250	2907	3041	3176	3310	3445	3580	3714	3848	3983
260	2718	2847	2977	3106	3235	3365	3494	3623	3753
270	2526	2650	2775	2899	3024	3148	3273	3397	3522
280	2364	2486	2608	2730	2852	2974	3096	3218	3340
290	2216	2334	2452	2570	2688	2805	2924	3042	3160
300	2087	2202	2316	2431	2546	2660	2775	2889	3004
310	1950	2063	2177	2290	2403	2516	2630	2742	2856
320	1827	1939	2051	2163	2276	2387	2500	2611	2724
330	1720	1832	1945	2058	2171	2283	2396	2508	2621
340	1612	1725	1838	1951	2065	2177	2291	2404	2518
350	1510	1624	1738	1853	1967	2081	2195	2309	2423
360	1421	1536	1651	1765	1880	1995	2110	2225	2340

Таблица 3.74

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
 фракции н.к.–60°C газового конденсата Оренбургского
 месторождения при различных температурах и давлениях [19]

t, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
120	6178	6285	6392	6499	6606	6713	7249	7784
130	5524	5600	5676	5753	5829	5906	6288	6670
140	4935	5000	5065	5131	5196	5262	5588	5915
150	4418	4474	4531	4587	4644	4701	4984	5267
160	3956	4006	4056	4106	4156	4206	4456	4707
170	3543	3588	3633	3678	3724	3769	3994	4220
180	3181	3222	3263	3304	3345	3386	3593	3798
190	2868	2905	2943	2981	3018	3056	3245	3433
200	—	—	2661	2696	2730	2765	2938	3111
210	—	—	—	2464	2495	2527	2687	2846
220	—	—	—	—	2289	2319	2466	2613
230	—	—	—	—	—	2139	2276	2413

Продолжение таблицы 3.6

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении P , МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
340	—	—	—	—	—	1991	2118	2243
350	—	—	—	—	—	1858	1977	2043
360	—	—	—	—	—	1734	1846	1937
370	—	—	—	—	—	1632	1736	1841
380	—	—	—	—	—	1548	1646	1743
390	—	—	—	—	—	1465	1558	1651
400	—	—	—	—	—	1393	1483	1572
410	—	—	—	—	—	1325	1411	1443
420	—	—	—	—	—	1261	1343	1423
430	—	—	—	—	—	1211	1289	1368
440	—	—	—	—	—	1163	1239	1313
450	—	—	—	—	—	1110	1185	1260
460	—	—	—	—	—	—	1132	1206
470	—	—	—	—	—	—	1085	1157

Продолжение таблицы 3.74

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении P , МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	8320	8855	9391	9926	10462	10998	11533	12069	12605
230	7053	7435	7818	8200	8582	8964	9347	9729	10112
240	6242	6569	6896	7222	7549	7876	8203	8529	8857
250	5551	5833	6117	6400	6684	6966	7250	7107	7817
260	4957	5207	5458	5708	5959	6209	6460	6710	6961
270	4446	4672	4898	5123	5349	5575	5801	6027	6253
280	4004	4210	4416	4622	4828	5034	5240	5446	5652
290	3622	3810	3999	4187	4376	4564	4753	4941	5130
300	3285	3458	3631	3804	3978	4150	4324	4497	4671
310	3006	3165	3325	3484	3644	3804	3964	4123	4283
320	2761	2908	3056	3203	3351	3497	3645	3792	3940
330	2550	2687	2824	2961	3098	3235	3373	3509	3647
340	2373	2499	2627	2753	2881	3008	3135	3262	3390
350	2214	2332	2451	2569	2688	2806	2925	3043	3162
360	2069	2181	2293	2404	2516	2627	2739	2851	2963
370	1946	2051	2156	2260	2365	2470	2575	2680	2785
380	1843	1942	2040	2139	2237	2336	2434	2533	2631
390	1745	1839	1932	2025	2118	2211	2305	2398	2492
400	1662	1752	1841	1930	2020	2109	2199	2288	2378

t, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
110	1381	1665	1750	1835	1920	2005	2090	2175	2260
120	1307	1589	1671	1753	1834	1917	1998	2080	2162
130	1447	1526	1605	1665	1762	1841	1920	1999	2078
140	1391	1468	1543	1650	1695	1771	1847	1924	2000
150	1335	1410	1486	1591	1636	1711	1786	1861	1937
160	1281	1356	1431	1535	1580	1655	1729	1804	1897
170	1230	1302	1375	1477	1520	1543	1665	1737	1810

Таблица 3.75

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
 фракции 60–95°C газового конденсата Оренбургского
 месторождения при различных температурах и давлениях [19]

t, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
70	8253	8923	9094	9264	9435	9605	10457	11307
80	7756	7906	8056	8205	8355	8505	9254	10003
90	6868	6995	7121	7248	7374	7501	8134	8767
100	6127	6226	6325	6424	6523	6623	7118	7614
110	5466	5542	5617	5693	5769	5845	6224	6602
120	4890	4951	5011	5072	5133	5193	5497	5800
130	4393	4446	4499	4552	4605	4658	4922	5187
140	3965	4013	4061	4108	4156	4204	4443	4683
150	3570	3614	3658	3703	3747	3791	4012	4233
160	3231	3272	3312	3354	3394	3435	3640	3845
170	2924	2963	3001	3039	3078	3117	3310	3503
180	—	2708	2744	2780	2816	2852	3033	3213
190	—	—	2524	2558	2592	2625	2794	2962
200	—	—	2334	2366	2397	2429	2587	2745
210	—	—	—	2207	2236	2265	2413	2559
220	—	—	—	2067	2094	2122	2259	2397
230	—	—	—	—	1976	2001	2130	2259
240	—	—	—	—	1871	1895	2015	2136
250	—	—	—	—	—	1799	1914	2027
260	—	—	—	—	—	1715	1823	1931
270	—	—	—	—	—	1643	1746	1849
280	—	—	—	—	—	—	1675	1774
290	—	—	—	—	—	—	1609	1704
300	—	—	—	—	—	—	1543	1634
310	—	—	—	—	—	—	1482	1569
320	—	—	—	—	—	—	1421	1506

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	12162	13013	13866	14718	15570	16422	17275	18126	18978
230	10752	11501	12249	12998	13747	14496	15245	15994	16743
240	9400	10033	10666	11299	11933	12565	13199	13831	14463
250	8048	8606	8978	9597	9908	10588	11088	11580	12070
260	6981	7360	7739	8117	8497	8875	9254	9633	10012
270	6103	6407	6710	7014	7317	7620	7924	8227	8531
280	5452	5716	5981	6246	6511	6776	7040	7305	7570
290	4922	5161	5400	5640	5879	6118	6358	6597	6836
300	4454	4675	4896	5117	5338	5559	5781	6002	6223
310	4049	4254	4459	4663	4868	5073	5278	5482	5687
320	3696	3889	4082	4275	4469	4662	4855	5048	5241
330	3394	3574	3754	3935	4115	4295	4476	4657	4837
340	3131	3300	3468	3637	3805	3974	4143	4311	4480
350	2902	3060	3218	3375	3534	3691	3849	4007	4165
360	2706	2853	3000	3147	3294	3440	3587	3735	3881
370	2535	2673	2811	2949	3087	3224	3362	3500	3638
380	2387	2516	2645	2774	2902	3031	3159	3288	3417
390	2257	2378	2498	2619	2740	2861	2981	3102	3223
400	2141	2255	2369	2482	2597	2710	2824	2938	3052
410	2039	2148	2255	2363	2471	2579	2687	2795	2904
420	1952	2055	2158	2261	2364	2467	2570	2673	2776
430	1872	1971	2069	2177	2265	2364	2462	2561	2659
440	1798	1892	1986	2081	2175	2269	2363	2458	2552
450	1725	1817	1908	2000	2091	2182	2274	2365	2457
460	1657	1746	1833	1921	2009	2096	2185	2273	2361
470	1592	1677	1762	1848	1933	2019	2104	2189	2275

Таблица 3.7в

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
 фракции 95–122°С газового конденсата Оренбургского
 месторождения при различных температурах и давлениях [19]

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
220	18246	18528	18810	19092	19374	19656	21066	22476
230	14186	14407	14629	14851	15072	15293	16401	17509
240	11621	11824	12027	12230	12433	12636	13651	14666
250	9807	9950	10093	10236	10379	10523	11239	11955
260	8423	8524	8625	8727	8829	8930	9437	9944
270	7320	7404	7488	7572	7656	7741	8162	8582

Продолжение таблицы 3.76

$\tau, \text{К}$	Коэффициент вязкости при давлении $P, \text{МПа}$							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
700	6418	6492	6567	6641	6716	6791	7164	7536
720	5663	5731	5799	5867	5936	6004	6346	6687
740	5052	5114	5176	5238	5300	5363	5674	5985
760	4524	4580	4637	4694	4751	4808	5093	5378
780	4083	4135	4187	4239	4291	4343	4603	4864
800	3690	3738	3786	3834	3882	3930	4171	4411
820	3370	3414	3458	3502	3546	3590	3811	4031
840	3094	3134	3175	3215	3256	3296	3499	3700
860	—	—	—	2963	3000	3038	3226	3413
880	—	—	—	—	—	2823	2996	3170
900	—	—	—	—	—	2616	2781	2947
920	—	—	—	—	—	2472	2625	2778
940	—	—	—	—	—	2353	2498	2644
960	—	—	—	—	—	2257	2396	2534
980	—	—	—	—	—	2206	2336	2466
1000	—	—	—	—	—	2126	2253	2379
1020	—	—	—	—	—	2063	2185	2306
1040	—	—	—	—	—	2000	2117	2234
1060	—	—	—	—	—	—	2059	2172
1080	—	—	—	—	—	—	1995	2103

Продолжение таблицы 3.76

$\tau, \text{К}$	Коэффициент вязкости при давлении $P, \text{МПа}$								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	23886	25296	26706	28116	29526	30936	32346	33756	35167
240	18617	19725	20833	21941	23049	24157	25265	26373	27481
260	15681	16696	17712	18727	19742	20757	21773	22788	23804
280	12671	13387	14104	14819	15536	16252	16968	17684	18401
300	10452	10959	11466	11973	12481	12987	13495	14002	14510
320	9004	9424	9846	10266	10688	11108	11530	11950	12372
340	7910	8282	8656	9028	9402	9774	10143	10520	10894
360	7029	7370	7713	8054	8396	8737	9079	9421	9763
380	6296	6606	6918	7228	7540	7850	8162	8472	8784
400	5663	5948	6223	6518	6803	7038	7373	7658	7943
420	5124	5385	5645	5906	6166	6426	6687	6947	7208

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
330	4652	4892	5133	5373	5614	5855	6095	6336	6577
340	4252	4472	4692	4913	5133	5354	5574	5794	6014
350	3903	4105	4308	4509	4712	4914	5117	5318	5521
360	3601	3789	3977	4164	4353	4540	4728	4916	5104
370	3344	3517	3691	3865	4038	4212	4386	4559	4731
380	3112	3278	3444	3609	3775	3940	4106	4271	4438
390	2932	3085	3239	3392	3546	3699	3853	4006	4160
400	2789	2935	3081	3226	3372	3517	3663	3808	3954
410	2672	2810	2949	3088	3226	3364	3502	3641	3779
420	2596	2726	2855	2985	3115	3245	3375	3505	3634
430	2506	2632	2758	2885	3011	3137	3264	3395	3521
440	2428	2550	2672	2793	2915	3037	3159	3280	3402
450	2350	2468	2584	2700	2818	2935	3051	3168	3284
460	2283	2395	2508	2619	2732	2844	2956	3068	3180
470	2211	2318	2426	2534	2641	2749	2857	2964	3072

Таблица 3.77

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
фракции 122–150°С газового конденсата Оренбургского
месторождения при различных температурах и давлениях [19]**

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
220	30495	31161	31827	32493	33159	33825	37155	40485
230	23573	24132	24691	25250	25808	26367	29162	31956
240	18687	19072	19458	19843	20228	20613	22540	24466
250	15251	15512	15573	16034	16295	16556	17862	19167
260	12714	12884	13054	13224	13394	13565	14415	15266
270	10728	10859	10989	11120	11250	11381	12034	12687
280	9167	9274	9381	9488	9595	9702	10237	10771
290	8004	8093	8183	8272	8362	8451	8899	9346
300	7073	7151	7228	7306	7384	7461	7850	8238
310	6321	6390	6459	6528	6597	6666	7010	7354
320	5718	5779	5840	5901	5963	6024	6330	6635
330	5220	5276	5332	5387	5443	5499	5778	6057
340	4751	4803	4854	4906	4958	5009	5267	5525

Продолжение таблицы 3.77

P, МПа	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
1,0	4166	4415	4464	4512	4561	4610	4854	5097
2,0	4018	4064	4110	4156	4202	4248	4479	4709
3,0	3754	3798	3842	3886	3930	3974	4195	4415
4,0	3508	3549	3591	3633	3675	3716	3925	4134
5,0	—	—	—	—	3489	3530	3736	3942
6,0	—	—	—	—	—	3373	3572	3771
8,0	—	—	—	—	—	3199	3395	3590
10,0	—	—	—	—	—	3089	3278	3466
15,0	—	—	—	—	—	2930	3115	3301
20,0	—	—	—	—	—	2788	2970	3151
30,0	—	—	—	—	—	2622	2801	2981
40,0	—	—	—	—	—	2464	2641	2818
50,0	—	—	—	—	—	2329	2503	2678

Продолжение таблицы 3.77

P, МПа	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1,0	43816	47146	59476	53806	57136	60466	63797	67127	70457
2,0	34750	37544	40339	43133	45927	48721	51516	54310	57104
3,0	26392	28318	30245	32171	34098	36024	37951	39877	41803
4,0	20472	21778	23083	24388	25694	26999	28305	29610	30915
5,0	16116	16967	17818	18668	19519	20369	21220	22070	22921
6,0	13340	13993	14646	15299	15952	16605	17258	17911	18564
8,0	11306	11841	12376	12910	13445	13980	14515	15049	15584
10,0	9793	10240	10688	11135	11583	12030	12477	12924	13372
15,0	8626	9014	9403	9791	10180	10568	10956	11344	11733
20,0	7699	8043	8388	8733	9077	9421	9766	10105	10455
30,0	6941	7247	7553	7858	8164	8470	8776	9081	9387
40,0	6336	6615	6894	7173	7452	7731	8010	8289	8568
50,0	5784	6041	6300	6558	6816	7074	7333	7590	7849
60,0	5341	5585	5829	6073	6317	6560	6804	7048	7292
80,0	4940	5170	5401	5631	5862	6092	6323	6553	6784
100,0	4635	4856	5076	5297	5517	5737	5957	6178	6398
150,0	4343	4552	4760	4969	5178	5386	5595	5804	6013
200,0	4147	4353	4558	4763	4969	5174	5380	5585	5791
300,0	3971	4169	4369	4568	4767	4966	5165	5364	5564

Продолжение таблицы 3.7

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
290	10046	10130	10233	10334	10420	10521	11031	11400
300	8820	8910	9003	9082	9161	9230	9651	10000
310	7801	7880	7961	8026	8100	8185	8540	8910
320	6900	6970	7033	7112	7181	7230	7583	7900
330	6205	6255	6340	6395	6430	6519	6822	7100
340	—	5661	5710	5781	5820	5881	6170	6400
350	—	5171	5200	5251	5300	5382	5620	5800
360	—	4668	4720	4771	4801	4853	5123	5300
370	—	4318	4374	4400	4435	4502	4716	4900
380	—	—	4003	4033	4086	4122	4357	4500
390	—	—	3670	3720	3750	3800	4000	4100
400	—	—	3458	3450	3534	3586	3753	3920
410	—	—	3220	3261	3301	3330	3511	3600
420	—	—	—	3053	3082	3150	3300	3440
430	—	—	—	2884	2910	2950	3114	3240
440	—	—	—	2700	2720	2759	2900	3040
450	—	—	—	—	2607	2621	2767	2800
460	—	—	—	—	2505	2521	2657	2700
470	—	—	—	—	—	2420	2550	2600

Продолжение таблицы 3.7

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	42491	44721	46950	49177	51400	53610	56870	57967	60110
230	36046	38096	40140	42185	44290	46280	48300	50355	52400
240	30008	31811	33620	35465	37300	39095	40920	42755	44600
250	24786	26330	27900	29475	31040	32615	34180	35760	37320
260	20215	21435	22660	23885	25100	26325	27560	28765	30000
270	16660	17546	18420	19305	20180	21065	21950	22820	23680
280	13980	14600	15220	15840	16470	17105	17730	18355	19000
290	12024	12520	13020	13515	14010	14500	15000	15505	16000
300	10515	10930	11360	11760	12200	12625	13040	13475	13910
310	9271	9637	10000	10360	10730	11100	11480	11865	12210
320	8252	8592	8920	9260	9600	9930	10280	10625	10950
330	7441	7740	8040	8340	8650	8970	9280	9595	9920
340	6740	7022	7300	7565	7880	8155	8440	8745	9040
350	6153	6428	6690	6948	7200	7465	7720	7990	8240

Окончание таблицы 3.79

t, °C	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
100	5609	5853	6100	6350	6600	6850	7100	7350	7593
110	5180	5400	5620	5850	6090	6285	6510	6750	6980
120	4730	4966	5199	5395	5610	5820	6040	6220	6460
130	4401	4594	4850	4980	5200	5405	5600	5805	6000
140	4107	4285	4460	4640	4820	5000	5190	5365	5550
150	3830	4005	4190	4360	4520	4695	4860	5040	5200
160	3608	3772	3930	4085	4240	4405	4560	4730	4840
180	3405	3562	3690	3845	4000	4145	4290	4440	4600
200	3207	3340	3490	3630	3780	3915	4040	4200	4350
220	3010	3177	3300	3440	3580	3710	3840	3960	4100
240	2902	3045	3180	3295	3410	3565	3680	3805	3950
270	2800	2928	3080	3180	3300	3430	3550	3635	3800

Таблица 3.80

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^5$, Па·с
газового конденсата Карачаганакского месторождения
при различных температурах и давлениях**

t, °C	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
100	1740	1905	2060	2220	2380	2525	3295	4075
120	1350	1460	1550	1670	1780	1880	2410	2936
140	1120	1190	1252	1311	1372	1442	1731	2046
160	1000	1052	1081	1129	1149	1192	1372	1554
180	942	961	992	1010	1030	1051	1172	1286
200	890	901	922	931	951	970	1052	1126
240	820	830	840	860	871	882	952	1016
260	—	—	—	—	—	820	881	935
280	—	—	—	—	—	770	820	871
300	—	—	—	—	—	710	762	811
320	—	—	—	—	—	650	710	757
340	—	—	—	—	—	620	672	702
360	—	—	—	—	—	560	600	638
380	—	—	—	—	—	520	572	596
400	—	—	—	—	—	450	490	526
420	—	—	—	—	—	410	450	476

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
280	4850	5645	6430	7210	7990	8775	9550	10335	11120
290	3470	3997	4531	5075	5590	6115	6641	7175	7690
300	2351	2650	2950	3255	3560	3870	4180	4497	4800
310	1730	1911	2090	2271	2452	2630	2810	2990	3170
320	1400	1515	1631	1746	1862	1976	2100	2164	2312
330	1210	1295	1380	1461	1540	1626	1710	1785	1870
340	1092	1155	1210	1285	1350	1417	1480	1551	1620
350	994	1045	1101	1152	1203	1257	1313	1372	1428
360	924	970	1020	1071	1113	1165	1210	1260	1310
370	860	906	950	996	1040	1086	1140	1182	1221
380	803	845	890	925	970	1010	1060	1100	1140
390	752	787	830	870	915	950	992	1031	1071
400	681	715	750	796	832	875	912	956	991
410	620	671	700	736	779	805	850	881	916
420	559	596	632	661	700	734	771	755	840
430	510	545	582	610	640	676	712	748	780

Таблица 1.01

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
газового конденсата Астраханского месторождения
при различных температурах и давлениях**

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
270	23000	23275	23560	23850	24150	24440	25875	27312
280	19500	19750	20010	20260	20525	20775	22050	23322
290	16250	16450	16675	16510	17125	17340	18425	19535
300	13800	13975	14175	14350	14553	14748	15702	16662
310	11618	11837	12003	12164	12330	12501	13354	14167
320	10152	10286	10440	10579	10725	10854	11637	12325
330	—	9031	9158	9286	9408	9543	10187	10827
340	—	8056	8175	8285	8295	8395	8971	9557
350	—	7175	7286	7380	7488	7580	8111	8619
360	—	6551	6631	6735	6808	6925	7375	7837
370	—	—	6075	6150	6250	6305	6720	7137
380	—	—	5470	5550	5610	5613	6853	6467
390	—	—	5025	5086	5165	5241	5600	5967
400	—	—	—	4680	4750	4810	5151	5484

Продолжение таблицы 3.81

T, K	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
110	—	—	—	4300	4373	4424	4730	5047
120	—	—	—	3923	4000	4060	4341	4636
130	—	—	—	3613	3673	3731	4000	4282
140	—	—	—	—	3333	3391	3666	3928
150	—	—	—	—	3021	3100	3313	3576
160	—	—	—	—	2690	2751	2982	3199
170	—	—	—	—	—	2451	2680	2907

Окончание таблицы 3.81

T, K	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
110	28750	30185	31615	33057	34495	35510	37375	38805	40250
120	24615	25859	27150	28415	29710	30982	32250	33530	34810
130	20650	21762	22875	23952	25065	26155	27255	28360	29725
140	17623	18567	19531	20490	21447	22422	23392	24350	25303
150	15012	15841	16664	17506	18375	19170	20000	20847	21660
160	13063	13782	14516	15250	15983	16710	17440	18168	18897
170	11456	12113	12750	13383	14033	14665	15311	15951	16600
180	10125	10711	11286	11862	12445	13017	13580	14162	14750
190	9140	9653	10150	10678	11202	11704	12126	12749	13250
200	8313	8763	9225	9672	10135	10601	11058	11535	12000
210	7550	7979	8400	8800	9225	9635	10055	10465	10900
220	6883	7278	7678	8077	8463	8806	9251	9642	10240
230	6333	6699	7061	7382	7780	8147	8500	8881	9208
240	5823	6102	6502	6843	7182	7515	7858	8199	8550
250	5361	5677	5990	6305	6610	6918	7222	7547	7875
260	4951	5257	5543	5836	6125	6430	6721	7020	7315
270	4572	4837	5105	5399	5677	5941	6225	6510	6770
280	4201	4464	4724	4977	5221	5449	5751	6014	6270
290	3827	4082	4350	4533	4835	5077	5350	5592	5840
300	3476	3723	3960	4203	4453	4700	4945	5174	5426
310	3154	3376	3600	3855	4076	4310	4521	4765	5000

Таблица 1.03

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
газового конденсата месторождения Шатлык
при различных температурах и давлениях [11]**

Р, МПа	Коэффициент вязкости при температуре Т, К				
	323,2	348,2	373,2	423,2	473,2
0,1	8280	6050	4685	—	—
5,0	8765	6440	4985	3155	2100
10,0	9275	6820	5285	3360	2295
15,0	9800	7200	5585	3565	2470
20,0	10340	7590	5885	3775	2640
30,0	11450	8390	6480	4185	2980
40,0	12610	9220	7105	4610	3300
50,0	13880	10090	7740	5030	3620

Таблица 1.04

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
газового конденсата месторождения Шахпахты
при различных температурах и давлениях [11]**

Р, МПа	Коэффициент вязкости при температуре Т, К				
	323,2	348,2	373,2	423,2	473,2
0,1	7000	5220	4080	—	—
5,0	7390	5570	4335	2752	1862
10,0	7840	5870	4570	2945	2028
15,0	8280	6220	4820	3128	2180
20,0	8740	6580	5100	3330	2356
30,0	9710	7270	5612	3728	2660
40,0	10745	7960	6185	4090	2960
50,0	11718	8710	6805	4467	3250

Таблица 1.05

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
газового конденсата месторождения Гугуртли
при различных температурах и давлениях [11]**

Р, МПа	Коэффициент вязкости при температуре Т, К				
	323,2	348,2	373,2	423,2	473,2
0,1	6575	4950	—	—	—
5,0	6865	5260	4240	2872	2010
10,0	7165	5570	4510	3105	2170
15,0	7475	5885	4755	3290	2320
20,0	7805	6195	5040	3500	2470
30,0	8515	6786	5585	3945	2770
40,0	9320	7440	6110	4310	3045
50,0	10230	8190	6655	4665	3335

Таблица 3.85

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
газового конденсата месторождения Наип
при различных температурах и давлениях [11]

Р, МПа	Коэффициент вязкости при температуре Т, К				
	323,2	348,2	373,2	423,2	473,2
0,1	5915	4510	—	—	—
3,0	6225	4746	3784	2530	1760*
10,0	6545	4990	4008	2710	1900
13,0	6875	5235	4220	2885	2030*
30,0	7210	5508	4435	3085	2155
30,0	7900	6028	4868	3402	2415
40,0	8600	6500	5285	3725	2662
50,0	9317	7005	5740	4060	2925

* Получено графической экстраполяцией

** Получено графической интерполяцией

Таблица 3.86

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
газового конденсата месторождения Северный Мубарек
при различных температурах и давлениях [11]

Р, МПа	Коэффициент вязкости при температуре Т, К				
	323,2	348,2	373,2	423,2	473,2
0,1	5885	—	—	—	—
3,0	6165	4865	3895	2608	1826
10,0	6475	5125	4110	2760	1990
13,0	6785	5405	4315	2920	2145
30,0	7100	5670	4520	3075	2295
30,0	7840	6255	4975	3380	2560
40,0	8605	6790	5475	3715	2800
50,0	9445	7535	5900	4000	3050

Таблица 3.87

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
газового конденсата месторождения Ачак
при различных температурах и давлениях [11]

Р, МПа	Коэффициент вязкости при температуре Т, К				
	323,2	348,2	373,2	423,2	473,2
0,1	6105	4950**	—	—	—
3,0	6335	5140**	4120	2678	1990*
10,0	6580	5400	4325	2842	2122*
13,0	6854	5670**	4558	3005	2250
30,0	7170	5930**	4775	3165	2385
30,0	7925	6575	5225	3495	2668*
40,0	8845	7235**	5785	3815	2945
50,0	9995	8255**	6480	4132	3188*

* Получено графической экстраполяцией

** Получено графической интерполяцией

Таблица 3.10

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
газового конденсата месторождения Газли
при различных температурах и давлениях [11]**

P, МПа	Коэффициент вязкости при температуре T, К				
	323,2	348,2	373,2	423,2	473,2
0,1	5605	4310	—	—	—
5,0	5910	4525	3615	2428	1840
10,0	6210	4735	3790	2575	1800
15,0	6530	5000	3995	2725	1920
20,0	6860	5230	4220	2885	2030
30,0	7520	5730	4625	3185	2310
40,0	8210	6240	5045	3495	2560
50,0	8900	6770	5480	3818	2800

Таблица 3.11

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
газового конденсата месторождения Учкыр
при различных температурах и давлениях [11]**

P, МПа	Коэффициент вязкости при температуре T, К				
	323,2	348,2	373,2	423,2	473,2
0,1	5155	4055**	—	—	—
5,0	5470	4190**	3378	2425	1952*
10,0	5760	4385	3560	2570	2082*
15,0	6085	4590**	3740	2708	2175*
20,0	6425	4786**	3900	2832	2258
30,0	7050	5195	4245	3110	2470*
40,0	7720	5585**	4590	3365	2628
50,0	8370	6050**	4955	3625	2802*

* Получено графической экстраполяцией

** Получено графической интерполяцией

Таблица 3.12

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
газового конденсата Майкопского месторождения (I горизонт) и его
фракций при различных температурах и атмосферном давлении [16]**

T, К	Коэффициент вязкости конденсата и его фракций									
	Конден- сат	н.к.— 60°C	60— 95°C	95— 122°C	122— 150°C	150— 175°C	175— 200°C	200— 225°C	225— 250°C	250— н.к.
273,2	1168	508	718	840	1100	1294	1846	2737	4082	8620
283,2	953	440	600	697	858	1082	1492	2214	3221	6522
293,2	770	401	506	592	699	903	1197	1778	2520	4905
303,2	—	—	458	504	588	775	1000	1452	2000	3793
313,2	—	—	421	443	525	667	855	1208	1648	3014
323,2	—	—	—	420	498	592	760	1060	1432	2454
333,2	—	—	—	400	473	542	692	939	1261	2038
343,2	—	—	—	—	450	500	640	825	1117	1722

Конденсат	Коэффициент вязкости конденсата и его фракций								
	н.к.— 60°C	60— 95°C	95— 122°C	122— 150°C	150— 175°C	175— 200°C	200— 225°C	225— 250°C	250— к.к.
—	—	—	—	430	461	586	732	990	1478
—	—	—	—	410	438	525	650	878	1285
—	—	—	—	—	405	477	580	782	—
—	—	—	—	—	340	400	488	640	—
—	—	—	—	—	—	361	437	535	—
—	—	—	—	—	—	340	418	500	—

Таблица 3.91

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
газового конденсата Майкопского месторождения (II горизонт) и его
фракций при различных температурах и атмосферном давлении [15]

Коэффициент вязкости конденсата и его фракций										
Температура, °C	Конденсат	н.к.— 60°C	60— 95°C	95— 122°C	122— 150°C	150— 175°C	175— 200°C	200— 225°C	225— 250°C	250— к.к.
111,2	1134	544	840	936	1080	1350	2082	2618	3743	8984
106,2	918	422	682	757	843	1122	1625	2236	2957	6780
101,2	762	365	578	612	694	947	1290	1912	2360	5091
101,2	—	—	513	536	602	826	1067	1630	1915	3809
110,2	—	—	456	483	540	740	924	1398	1618	2937
106,2	—	—	—	430	497	672	842	1205	1424	2360
106,2	—	—	—	400	460	606	770	1040	1242	1978
106,2	—	—	—	—	425	538	702	904	1089	1699
106,2	—	—	—	—	396	480	640	802	970	1480
106,2	—	—	—	—	368	423	578	700	845	1300
111,2	—	—	—	—	—	378	516	612	740	—
106,2	—	—	—	—	—	333	432	481	597	—
101,2	—	—	—	—	—	—	370	415	513	—
101,2	—	—	—	—	—	—	339	392	488	—

Таблица 3.92

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^6$, Па·с
газового конденсата Майкопского месторождения (III горизонт) и его
фракций при различных температурах и атмосферном давлении [15]

Т. К.	Коэффициент вязкости конденсата и его фракций								
	Конденсат	н.к.— 60°C	60— 95°C	95— 122°C	122— 150°C	150— 175°C	175— 200°C	200— 225°C	225— 250°C
111,2	1112	619	682	802	929	1396	1838	2735	4174
106,2	920	521	597	687	808	1144	1484	2282	3455
101,2	772	458	534	592	700	940	1207	1908	2836
101,2	—	—	480	528	619	792	990	1593	2317
111,2	—	—	442	476	544	680	838	1350	1890
111,2	—	—	—	434	487	596	737	1162	1554

Т, К	Коэффициент вязкости конденсата и его фракций								
	Конден- сат	н.к. – 60°C	60 – 95°C	95 – 122°C	122 – 150°C	150 – 175°C	175 – 200°C	200 – 225°C	225 – 250°C
333,2	—	—	—	405	447	538	650	1000	1500
343,2	—	—	—	—	420	500	579	859	1100
353,2	—	—	—	—	398	470	529	758	900
363,2	—	—	—	—	380	441	484	677	800
373,2	—	—	—	—	—	412	443	610	700
393,2	—	—	—	—	—	368	410	533	610
413,2	—	—	—	—	—	—	362	458	510
423,2	—	—	—	—	—	—	340	422	480

Таблица 3.11

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
газового конденсата Перещепинского месторождения
при различных температурах и давлениях [20]

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
273,2	9286	10294	11312	12336	13359	14383	15406
283,2	7552	8425	9307	10194	11080	11967	12853
293,2	6510	7289	8076	8867	9658	10449	11240
303,2	5834	6538	7250	7965	8680	9395	10110
313,2	—	5746	6393	7043	7693	8343	8993
323,2	—	5234	5825	6413	7013	7607	8201
333,2	—	4776	5325	5877	6428	6980	7531
343,2	—	4377	4888	5401	5915	6428	6941
353,2	—	4060	4530	5003	5476	5948	6421
363,2	—	3728	4160	4594	5029	5463	5897
373,2	—	3415	3827	4241	4655	5068	5482
383,2	—	3275	3678	4083	4488	4892	5297
393,2	—	3092	3489	3888	4287	4685	5084
403,2	—	2877	3259	3642	4025	4408	4791
413,2	—	2661	3025	3392	3758	4126	4491
423,2	—	2497	2852	3208	3564	3921	4278
433,2	—	2258	2585	2914	3243	3572	3901
443,2	—	2112	2428	2745	3063	3380	3697
453,2	—	2002	2300	2599	2899	3198	3497
463,2	—	1882	2164	2447	2729	3012	3294
473,2	—	1751	2005	2260	2515	2770	3025

Таблица 3.94

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
газового конденсата Шебелинского месторождения
при различных температурах и давлениях [20]**

t, °C	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
103,2	10302	11397	12504	13616	14728	15840	16952
113,2	8296	9216	10145	11079	12013	12946	13880
123,2	7202	8000	8807	9618	10428	11239	12049
133,2	6293	7004	7722	8444	9166	9888	10610
143,2	5757	6399	7048	7700	8352	9004	9656
153,2	5365	5966	6572	7182	7792	8401	9011
163,2	—	5418	5967	6519	7070	7622	8173
173,2	—	5004	5512	6023	6535	7046	7557
183,2	—	4819	5200	5683	6165	6648	7130
193,2	—	4300	4849	5300	5752	6203	6654
203,2	—	4124	4552	4983	5413	5844	6274
213,2	—	3900	4303	4634	4965	5446	5927
223,2	—	3695	4088	4483	4878	5273	5668
233,2	—	3478	3861	4245	4629	5013	5397
243,2	—	3252	3608	3966	4323	4681	5038
253,2	—	3034	3371	3710	4049	4387	4726
263,2	—	2888	3218	3550	3882	4214	4546
273,2	—	2732	3043	3356	3670	3983	4296
283,2	—	2605	2912	3221	3531	3840	4149
293,2	—	2460	2733	3008	3283	3557	3832
303,2	—	2331	2589	2848	3107	3366	3625

Таблица 3.95

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
газового конденсата Рыбальского месторождения
при различных температурах и давлениях [20]**

t, °C	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
173,2	18434	20272	22128	82162	142197	219226	296255
183,2	14246	15812	17394	18984	20573	22163	23752
193,2	11557	12860	14176	15499	16822	18144	19467
203,2	9785	10890	12006	13128	14250	15371	16493
213,2	8452	9429	10416	11408	12400	13391	14383
223,2	—	7988	8851	9719	10587	11455	12323
233,2	—	6935	7701	8473	9245	10016	10788
243,2	—	6145	6847	7553	8260	8966	9672
253,2	—	5530	6166	6780	7394	8058	8722

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа						58,8
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	
363,2	—	5021	5602	6185	6768	7351	7934
373,2	—	4528	5055	5585	6115	6645	7170
383,2	—	4152	4626	5101	5580	6056	6531
393,2	—	3777	4213	4651	5090	5528	5966
403,2	—	3456	3864	4275	4686	5096	5507
413,2	—	3167	3539	3913	4288	4662	5038
423,2	—	2924	3267	3612	3956	4301	4645
433,2	—	2694	3016	3399	3662	3985	4308
443,2	—	2492	2786	3082	3377	3673	3968
453,2	—	2309	2566	2824	3082	3340	3598
463,2	—	2111	2343	2577	2810	3044	3277
473,2	—	1933	2132	2332	2532	2732	2932

Таблица 11.90

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
газового конденсата Опошнянского месторождения
при различных температурах и давлениях [20]

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа						58,8
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	
283,2	25420	28566	31744	34938	38133	41327	44521
293,2	19576	21862	24171	26491	28812	31132	33452
303,2	16462	18356	20265	22189	24112	26036	27959
313,2	13905	15535	17181	18836	20491	22145	23800
323,2	—	13793	15267	15398	18230	19711	21192
333,2	—	12343	13671	15007	16343	17678	19014
343,2	—	11293	12512	13737	14963	16188	17413
353,2	—	10204	11341	12483	13626	14769	15911
363,2	—	9403	10460	11523	12586	13648	14711
373,2	—	8739	9817	10901	11984	13068	14151
383,2	—	8014	8954	9899	10843	11788	12732
393,2	—	7410	8292	9179	10065	10952	11838
403,2	—	6828	7661	8498	9335	10172	11009
413,2	—	6373	7157	7945	8733	9521	10309
423,2	—	5972	6718	7493	8267	8992	9716
433,2	—	5642	6327	7044	7761	8478	9195
443,2	—	5213	5918	6592	7266	7939	8613
453,2	—	4941	5579	6220	6861	7502	8143
463,2	—	4699	5303	5911	6519	7126	7734
473,2	—	4379	5002	5575	6149	6722	7295

Таблица 3.97

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
фракции н.к.–95°C газового конденсата Опошнянского
месторождения при различных температурах и давлениях [20]

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
101,2	6812	7492	8179	8866	9553	10240	10927
111,2	5864	6461	7063	7672	8280	8877	9474
121,2	5135	5668	6206	6764	7282	7820	8358
131,2	4623	5109	5600	6094	6587	7181	7574
141,2	4113	4541	4973	5405	5838	6270	6702
151,2	—	4033	4419	4805	5192	5578	5964
161,2	—	3666	4010	4355	4700	5045	5390
171,2	—	3416	3729	4042	4355	4668	4980
181,2	—	3167	3452	3736	4020	4304	4588
191,2	—	2962	3219	3476	3733	3940	4246
201,2	—	2718	2954	3190	3427	3663	3899
211,2	—	2521	2753	2977	3202	3426	3650
221,2	—	2414	2630	2846	3061	3277	3492
231,2	—	2309	2515	2722	2929	3136	3343
241,2	—	2203	2399	2595	2791	2987	3183
251,2	—	2092	2279	2466	2654	2841	3028
261,2	—	1982	2160	2338	2517	2695	2873
271,2	—	1924	2094	2265	2435	2606	2776
281,2	—	1866	2027	2189	2351	2513	2675
291,2	—	1792	1946	2100	2254	2408	2562
301,2	—	1747	1892	2037	2182	2327	2472
311,2	—	1708	1845	1982	2120	2257	2394

Таблица 3.98

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
фракции 95–122°C газового конденсата Опошнянского
месторождения при различных температурах и давлениях [20]

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
101,2	8762	9656	10558	11461	12363	13266	14168
111,2	7505	8284	9071	9858	10645	11432	12219
121,2	6449	7129	7816	8501	9185	9875	10564
131,2	5637	6239	6846	7629	8412	9195	9977
141,2	4893	5420	5952	6484	7017	7549	8081
151,2	4341	4816	5297	5777	6257	6737	7217
161,2	3898	4326	4758	5190	5623	6055	6487
171,2	3513	3901	4293	4685	5077	5469	5861
181,2	3214	3572	3934	4296	4657	5019	5380

Окончание таблицы 3.88

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
353,2	2980	3311	3647	3982	4318	4653	4988
363,2	2736	3052	3372	3692	4011	4331	4650
373,2	—	2902	3201	3500	3799	4098	4396
383,2	—	2785	3071	3355	3639	3923	4207
393,2	—	2596	2860	3130	3399	3669	3938
403,2	—	2459	2714	2969	3224	3484	3733
413,2	—	2351	2604	2857	3110	3363	3616
423,2	—	2252	2495	2738	2981	3224	3467
433,2	—	2140	2375	2610	2846	3081	3316
443,2	—	2064	2290	2517	2743	2970	3196
453,2	—	2019	2236	2453	2669	2886	3103
463,2	—	1940	2128	2316	2505	2693	2881
473,2	—	1883	2061	2239	2418	2596	2774

Таблица 3.89

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
 фракции 122–150°С газового конденсата Опошнянского
 месторождения при различных температурах и давлениях [20]

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
263,2	10872	11995	13128	14262	15396	16530	17663
273,2	9264	10245	11236	12227	13218	14209	15199
283,2	8001	8864	9729	10647	11466	12334	13202
293,2	7009	7768	8554	9330	10106	10882	11658
303,2	6225	6904	7590	8276	8962	9648	10334
313,2	5563	6175	6794	7412	8031	8649	9267
323,2	4997	5559	6126	6694	7261	7829	8396
333,2	4507	5021	5541	6060	6580	7099	7618
343,2	4092	4572	5057	5542	6027	6512	6997
353,2	3801	4245	4694	5143	5592	6041	6490
363,2	3516	3931	4351	4773	5190	5609	6028
373,2	3285	3674	4067	4460	4853	5246	5639
383,2	3106	3480	3857	4234	4612	4989	5366
393,2	2924	3284	3648	4012	4375	4739	5102
403,2	—	3116	3465	3814	4163	4512	4861
413,2	—	2954	3288	3622	3957	4291	4625
423,2	—	2809	3118	3442	3767	4092	4416
433,2	—	2620	2915	3210	3505	3800	4095
443,2	—	2486	2767	3047	3328	3608	3888
453,2	—	2366	2631	2896	3160	3425	3689
463,2	—	2252	2500	2748	2996	3244	3492
473,2	—	2132	2363	2594	2826	3057	3288

Таблица 3.100

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
фракции 150–175°C газового конденсата Опошнянского
нефтеорождения при различных температурах и давлениях [20]

t, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
161,2	22516	24798	27102	29407	31713	34018	36323
163,2	18293	19998	21914	23734	25554	27474	29194
165,2	15036	16579	18137	19688	21239	22805	24370
167,2	12645	13599	15266	16583	17901	19218	20535
169,2	10811	11946	13093	14240	15386	16533	17679
171,2	9282	10291	11310	12329	13349	14368	15387
173,2	8113	9030	9956	10882	11808	12734	13660
175,2	7194	8010	8834	9658	10483	11307	12131
181,2	6302	7241	7988	8735	9482	10229	10975
183,2	5858	6538	7225	7912	8599	9286	9973
185,2	5301	5927	6559	7191	7823	8455	9087
187,2	4836	5411	5992	6573	7155	7736	8317
189,2	4427	4950	5478	6007	6535	7063	7591
191,2	4090	4574	5063	5552	6041	6530	7019
193,2	3769	4220	4676	5132	5588	6044	6499
195,2	3435	3862	4293	4724	5156	5587	6018
197,2	3178	3575	3976	4377	4778	5179	5579
199,2	—	3280	3657	4034	4412	4789	5166
201,2	—	3002	3407	3758	4110	4464	4818
203,2	—	2837	3168	3499	3831	4462	4493
205,2	—	2633	2941	3250	3559	3868	4176
207,2	—	2480	2763	3045	3328	3610	3892

Таблица 3.101

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
фракции 175–200°C газового конденсата Опошнянского
нефтеорождения при различных температурах и давлениях [20]

t, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
201,2	36824	41831	46889	51947	54005	59063	67120
203,2	29392	32824	36190	39756	43223	46689	50155
205,2	23407	25971	28561	31151	33742	36332	38922
207,2	18616	20811	23027	25226	27426	29660	31894
209,2	15095	16823	18568	20314	22059	23805	25550
211,2	12745	14180	15629	17079	18528	19978	21427
213,2	11008	12230	13465	14700	15935	17170	18404
215,2	9586	10665	11735	12815	13895	14975	16054
217,2	8472	9422	10381	11341	12302	13261	14219

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа						ЗН, Н
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	
353,2	7601	8420	9325	10141	10958	11874	12790
363,2	6894	7689	8491	9294	10097	10900	11703
373,2	6243	6984	7733	8484	9236	9982	10728
383,2	5690	6369	7055	7741	8427	9113	9799
393,2	5195	5779	6449	7079	7710	8340	8970
403,2	4713	5286	5866	6445	7024	7603	8183
413,2	4294	4832	5376	5920	6464	7008	7553
423,2	3901	4392	4888	5384	5880	6376	6871
433,2	3507	3969	4435	4902	5368	5835	6301
443,2	3203	3630	4061	4492	4924	5355	5786
453,2	—	3304	3703	4102	4501	4900	5298
463,2	—	3070	3437	3805	4172	4540	4907
473,2	—	2786	3120	3454	3789	4123	4457

Таблица 1.10

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
 фракции 200–225°С газового конденсата Опошнянского
 месторождения при различных температурах и давлениях [20]

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа						ЗН, Н
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	
273,2	43313	50831	58620	66312	74004	81696	89388
283,2	33244	37691	42184	46677	51169	55661	60153
293,2	25091	27967	30871	33776	36681	39586	42490
303,2	20319	22708	24920	27232	29544	31856	34167
313,2	16683	18555	20445	22336	24226	26117	28007
323,2	14113	15665	17233	18801	20370	21938	23505
333,2	12201	13553	14920	16286	17652	19020	20384
343,2	10672	11883	13086	14299	15513	16726	17939
353,2	9465	10545	11636	12727	13818	14909	15999
363,2	8525	9510	10504	11499	12494	13489	14483
373,2	7621	8547	9481	10416	11351	12286	13221
383,2	6912	7766	8628	9491	10353	11216	12078
393,2	6310	7086	7870	8654	9438	10222	11006
403,2	5694	6404	7122	7839	8557	9274	9991
413,2	5200	5858	6522	7187	7851	8519	9180
423,2	4751	5350	5954	6559	7164	7769	8373
433,2	4382	4945	5513	6082	6650	7219	7787
443,2	4007	4540	5078	5616	6154	6692	7230
453,2	3585	4068	4556	5044	5532	6020	6508
463,2	3306	3745	4187	4630	5073	5516	5959
473,2	3088	3496	3909	4322	4734	5147	5559

Таблица 3.103

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
фракции 225–250°С газового конденсата Опошнянского
месторождения при различных температурах и давлениях [20]

t, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
203,2	41765	49398	57107	64817	72527	80237	87946
203,2	31560	36084	40654	45224	49794	54364	58933
213,2	25004	28109	31245	34381	37417	40653	43789
223,2	20617	23024	25425	27826	30227	32628	35029
233,2	17509	19434	21378	23322	25267	27211	29155
243,2	15063	16712	18378	20044	21710	23376	25042
253,2	13043	14507	15986	17465	18944	20423	21901
263,2	11295	12616	13951	15286	16621	17956	19290
273,2	10036	11241	12458	13675	14893	16110	17327
283,2	9002	10126	11262	12398	13534	14670	15806
293,2	8148	9177	10217	11257	12297	13337	14376
303,2	7358	8299	9250	10201	11151	12102	13052
313,2	6741	7611	8490	9369	10249	11128	12007
323,2	6399	7216	8041	8866	9692	11517	11342
333,2	5606	6359	7119	7835	8552	9269	9985
343,2	5213	5912	6617	7323	8029	8735	9440
353,2	4825	5474	6130	6786	7441	8097	8752
363,2	4490	5095	5707	6319	6930	7542	8153
373,2	4304	4881	5464	6047	6631	7214	7797

Таблица 3.104

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
фракции 250–275°С газового конденсата Опошнянского
месторождения при различных температурах и давлениях [20]

t, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
303,2	43021	51906	60881	69856	78831	87806	96780
313,2	33004	38697	44436	50181	55926	61671	67415
323,2	27395	31027	34697	38336	42035	45704	49373
333,2	23647	26383	29147	31911	34674	37488	40201
343,2	19098	21288	23500	25712	27924	30136	32347
353,2	16380	18244	20126	22009	23892	25775	27657
363,2	14052	15695	17354	19013	20672	22331	23990
373,2	12241	13716	15205	16695	18185	19675	21164
383,2	10836	12175	13527	14880	16232	17585	18937
393,2	9744	10970	12209	13448	14687	15926	17164
403,2	8809	9946	11095	12244	13392	14541	15690

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
413,2	8153	9201	10259	11318	12376	13495	14491
423,2	7615	8591	9577	10563	11549	12572	13320
433,2	6990	7899	8817	9735	10654	11572	12400
443,2	6447	7291	8140	8991	9841	10692	11543
453,2	5978	6756	7542	8328	9114	9900	10686
463,2	5443	6177	6919	7661	8404	9146	9888
473,2	5101	5783	6472	7161	7850	8539	9228

Таблица 3.105

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
фракции 275–300°C газового конденсата Опошнянского
месторождения при различных температурах и давлениях [20]**

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
323,2	42591	52290	62087	71874	81661	91448	101235
333,2	23219	40427	46698	52969	59240	65511	71782
343,2	27910	31865	35859	39854	43848	47843	51837
353,2	23347	26265	29213	32161	35109	38057	41005
363,2	19895	22301	24731	27162	29592	32023	34453
373,2	17363	19475	21609	23742	25876	28009	30142
383,2	15453	17352	19270	21188	23106	25024	26941
393,2	13780	15507	17251	18996	20740	22485	24229
403,2	12422	14013	15620	17227	18835	20442	22049
413,2	11416	12882	14363	15844	17325	18806	20286
423,2	10657	12000	13356	14713	16069	17425	18781
433,2	9830	11091	12365	13639	14913	16187	17461
443,2	9195	10375	11566	12758	13950	15142	16333
453,2	8519	9622	10736	11850	12965	14079	15193
463,2	7984	9023	10073	11123	12172	13222	14271
473,2	7401	8393	9394	10396	11397	12399	13400

Таблица 3.106

**Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
фракции 300–325°C газового конденсата Опошнянского
месторождения при различных температурах и давлениях [20]**

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
333,2	43277	53277	63384	73488	83592	93696	103799
343,2	34226	40482	46801	53120	59439	65758	72077
353,2	28401	32825	37294	41763	46232	50701	55169
363,2	23809	27113	30449	33786	37123	40460	43797
373,2	20375	23111	25875	28639	31402	34166	36929

Окончание таблицы 3.106

Т. К.	Коэффициент вязкости при давлении P , МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
113,2	12133	20550	22941	25332	27724	30115	32506
113,2	16403	18527	20672	22817	24963	27108	29253
113,2	15018	16956	18914	20872	22820	24789	26747
113,2	11790	15548	17324	19100	20876	22652	24427
113,2	12984	14585	16202	17819	19436	21053	22670
113,2	11803	13300	14812	16324	17837	19349	20861
113,2	10992	12385	13792	15200	16607	18015	19422
113,2	10112	11401	12704	14006	15309	16611	17913
113,2	9228	10434	11652	12870	14089	15307	16525
113,2	8457	9601	10756	11912	13067	14223	15378

Таблица 3.107

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
фракции 325-к.к. газового конденсата Опошнянского
месторождения при различных температурах и давлениях [20]

Т. К.	Коэффициент вязкости при давлении P , МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
113,2	38376	47364	56443	65525	74606	83687	92768
113,2	31707	37935	44225	50516	56807	60098	69388
113,2	26505	30668	34873	39079	43284	47489	51694
113,2	22590	25798	29039	32280	35521	38762	42003
113,2	19909	22624	25366	28108	30850	33592	36334
113,2	17878	20284	22714	25145	27575	30006	32436
113,2	16244	18430	20638	22846	25054	27262	29470
113,2	14803	16796	18809	20822	22835	24848	26860
113,2	13481	15273	17083	18893	20703	22513	24323
113,2	12502	14171	15856	17542	19228	20914	22599
113,2	11525	13065	14620	16176	17731	19286	20841
113,2	10605	12023	13456	14889	16322	17755	19187
113,2	9819	11136	12465	13795	15125	16455	17785
113,2	9037	10279	11533	12788	14042	15297	16551

Таблица 3.108

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
газового конденсата Солоховского месторождения
при различных температурах и давлениях [12]

Т. К.	Коэффициент вязкости при давлении P , МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
113,2	14424	15875	17341	18815	20288	21762	23235
113,2	12387	13674	14975	16282	17589	18896	20203
113,2	10624	11767	12921	14081	15242	16402	17562
113,2	9306	10325	11354	12388	13522	14456	15490
113,2	—	9124	10060	11002	11944	12885	13827

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
333,2	—	8144	8997	9854	10711	11567	12414
343,2	—	7401	8177	8956	9735	10514	11293
353,2	—	6689	7398	8110	8822	9534	10246
363,2	—	6113	6764	7418	8072	8726	9380
373,2	—	5585	6176	6770	7364	7958	8552
383,2	—	5124	5675	6229	6782	7336	7889
393,2	—	4698	5200	5705	6211	6716	7221
403,2	—	4333	4801	5272	5743	6213	6684
413,2	—	3973	4408	4845	5283	5720	6157
423,2	—	3661	4062	4465	4868	5270	5673
433,2	—	3362	3726	4091	4457	4822	5187
443,2	—	3130	3463	3798	4133	4468	4803
453,2	—	2907	3221	3536	3852	4167	4482
463,2	—	2732	3025	3320	3614	3909	4203
473,2	—	2578	2852	3128	3404	3679	3955

Таблица 1.101

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
 фракции 60–95°С газового конденсата Солоховского
 месторождения при различных температурах и давлениях [12]

T, К	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
263,2	6521	7182	7849	8520	9191	9861	10532
273,2	5614	6190	6772	7358	7943	8528	9113
283,2	4869	5840	5895	6413	6931	7449	7967
293,2	4267	4726	5189	5655	6121	6587	7053
303,2	3786	4192	4601	5013	5425	5836	6248
313,2	3346	3712	4081	4452	4824	5195	5566
323,2	—	3436	3771	4110	4449	4787	5126
333,2	—	3196	3463	3775	4087	4398	4710
343,2	—	2986	3274	3551	3829	4106	4383
353,2	—	2796	3057	3323	3589	3854	4120
363,2	—	2636	2878	3124	3370	3616	3862
373,2	—	2461	2710	2938	3166	3393	3621
383,2	—	2378	2589	2806	3023	3239	3456
393,2	—	2227	2424	2623	2822	3021	3220
403,2	—	2107	2290	2482	2675	2867	3059
413,2	—	2000	2171	2348	2526	2703	2880

Окончание таблицы 3.109

	Коэффициент вязкости при давлении P , МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
111,2	—	1910	2075	2245	2414	2584	2753
111,2	—	1814	1980	2146	2313	2479	2645
111,2	—	1751	1902	2060	2217	2375	2532
111,2	—	1702	1852	2005	2158	2310	2463
111,2	—	1679	1821	1968	2114	2261	2408
111,2	—	1648	1783	1921	2059	2197	2335

Таблица 3.110

Изменение коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
фракции 95–122°С газового конденсата Солоховского
нефтеорождения при различных температурах и давлениях [12]

	Коэффициент вязкости при давлении P , МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
111,2	9276	10236	11195	12159	12124	14088	15052
111,2	7893	8712	9539	10370	11202	12033	12864
111,2	6780	7498	8233	8952	9681	10409	11138
111,2	6004	6646	7295	7947	8599	9251	9903
111,2	5309	5853	6403	6956	7508	8061	8613
111,2	4715	5188	5667	6148	6628	7109	7589
111,2	4265	4672	5084	5498	5912	6325	6739
111,2	3867	4239	4614	4991	5369	5746	6123
111,2	3599	3939	4282	4627	4971	5316	5660
111,2	3370	3690	4014	4339	4664	4989	5314
111,2	3158	3468	3782	4097	4413	4727	5043
111,2	—	3231	3524	3819	4113	4408	4702
111,2	—	3014	3290	3568	3846	4123	4401
111,2	—	2802	3072	3344	3616	3888	4160
111,2	—	2625	2880	3136	3392	3648	3904
111,2	—	2480	2725	2971	3217	3463	3709
111,2	—	2365	2598	2833	3067	3302	3536
111,2	—	2216	2433	2651	2869	3086	3304
111,2	—	2104	2309	2515	2721	2926	3132
111,2	—	1996	2192	2389	2586	2783	2980
111,2	—	1894	2084	2275	2467	2658	2849
111,2	—	1787	1971	2155	2339	2523	2707

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
фракции 122–150°C газового конденсата Солоховского
месторождения при различных температурах и давлениях [12]

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
263,2	10906	12003	13112	14226	15340	16453	17567
273,2	9240	10219	11208	12202	13195	14189	15183
283,2	7876	8733	9598	10468	11338	12207	13077
293,2	6782	7523	8272	9025	9777	10530	11283
303,2	5894	6534	7181	7831	8481	9131	9781
313,2	5301	5862	6428	6997	7567	8136	8705
323,2	4785	5270	5760	6253	6745	7238	7730
333,2	4309	4770	5235	5723	6212	6700	7188
343,2	3916	4346	4780	5216	5653	6089	6525
353,2	3658	4067	4481	4897	5315	5728	6143
363,2	3426	3814	4206	4600	4994	5388	5783
373,2	3161	3548	3939	4325	4711	5096	5483
383,2	2917	3286	3658	4032	4407	4781	5155
393,2	2707	3067	3431	3796	4162	4527	4892
403,2	—	2872	3197	3524	3851	4178	4505
413,2	—	2711	3016	3322	3629	3935	4241
423,2	—	2571	2854	3144	3434	3723	4013
433,2	—	2424	2696	2970	3244	3517	3791
443,2	—	2260	2515	2771	3027	3283	3539
453,2	—	2152	2404	2657	2911	3164	3417
463,2	—	2080	2317	2555	2794	3032	3270
473,2	—	2037	2270	2505	2739	2974	3208

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
фракции 150–175°C газового конденсата Солоховского
месторождения при различных температурах и давлениях [12]

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
263,2	15270	17298	18891	20493	22094	23696	25297
273,2	12964	14305	15659	17020	18382	19743	21104
283,2	11005	12179	13365	14557	15749	16940	18132
293,2	9464	10505	11557	12614	13671	14727	15784
303,2	8203	9117	10040	10968	11836	12823	13751
313,2	7098	7910	8730	9555	10379	11204	12028
323,2	6236	6954	7679	8408	9137	9865	10594
333,2	5504	6160	6922	7488	8154	8820	9486
343,2	4975	5567	6165	6766	7367	7967	8568

Окончание таблицы 3.112

P, МПа	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
101,2	4504	5047	5596	6148	6639	7251	7802
101,2	4711	4711	5213	5718	6224	6729	7234
101,2	4288	4288	4757	5226	5696	6165	6634
101,2	3963	3963	4394	4828	5261	5695	6128
101,2	3635	3635	4027	4421	4815	5209	5603
101,2	3376	3376	3747	4120	4494	4867	5240
101,2	3145	3145	3498	3853	4207	4562	4916
101,2	2863	2863	3193	3535	3877	4218	4560
101,2	2725	2725	3055	3387	3719	4051	4383
101,2	2546	2546	2849	3154	3458	3762	4066
101,2	2423	2423	2712	3003	3293	3584	3874
101,2	2348	2348	2622	2898	3194	3449	3725
101,2	2320	2320	2588	2858	3128	3398	3668

Таблица 3.113

значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
 фракции 175–200°C газового конденсата Солоховского
 месторождения при различных температурах и давлениях [12]

P, МПа	Коэффициент вязкости при давлении P, МПа						
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0	58,8
101,2	25855	28730	31633	34551	37470	40388	43306
101,2	20197	22312	24448	26595	28743	30890	33037
101,2	16227	17905	19601	21305	23009	24712	26416
101,2	13390	14815	13676	15768	17859	19951	22042
101,2	11305	12547	13801	15062	16323	17583	18844
101,2	9801	10896	12003	13115	14227	15339	16451
101,2	8598	9587	10585	11589	12593	13596	14600
101,2	7606	8509	9422	10339	11256	12172	13089
101,2	6704	7519	8342	9169	9997	10824	11651
101,2	6005	6751	7505	8262	9020	9771	10534
101,2	5315	5985	6663	7344	8024	8705	9385
101,2	4809	5417	6032	6650	7267	7885	8502
101,2	4397	4950	5509	6070	6632	7193	7754
101,2	4028	4534	5046	5560	6074	6588	7102
101,2	3678	4142	4610	5058	5507	5955	6403
101,2	3391	3821	4255	4691	5128	5564	6000
101,2	3141	3548	3960	4374	4788	5201	5615
101,2	2950	3323	3699	4077	4456	4834	5212
101,2	2794	3143	3496	3851	4205	4560	4914
101,2	—	2973	3305	3639	3973	4307	4641
101,2	—	2825	3147	3470	3793	4116	4439
101,2	—	2718	3032	3347	3663	3978	4293

Продолжение таблицы 8.18

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
420	—	—	—	3570	3621	3679	3949	4113
430	—	—	—	—	3330	3381	3639	3811
440	—	—	—	—	3021	3072	3311	3483
450	—	—	—	—	—	2778	3005	3177
460	—	—	—	—	—	2489	2708	2880
470	—	—	—	—	—	—	2445	2617

Окончание таблицы 8.18

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
270	26269	27603	28956	30301	31651	32997	34349	19510	37040
280	22329	23487	24643	25804	26963	28121	29277	30435	31593
290	18831	19853	20867	21894	22912	23934	24957	25976	26998
300	16005	16877	17746	18628	19506	20379	21252	22131	23009
310	13639	14382	15156	15913	16679	17439	18191	18955	19717
320	11853	12506	13171	13837	14501	15163	15828	16491	17153
330	10423	10997	11578	12158	12746	13324	13909	14493	15078
340	9250	9768	10287	10804	11323	11842	12363	12880	13400
350	8304	8771	9236	9705	10167	10688	11104	11575	12041
360	7539	7956	8375	8791	9210	9635	10057	10478	10898
370	6960	7241	7623	7999	8378	8756	9139	9521	9899
380	6260	6617	6964	7330	7681	8044	8403	8761	9121
390	5743	6069	6399	6726	7057	7392	7721	8054	8391
400	5284	5597	5898	6200	6515	6820	7125	7440	7753
410	4867	5152	5437	5718	6005	6291	6581	6866	7149
420	4483	4751	5022	5290	5561	5829	6101	6378	6654
430	4133	4386	4639	4886	5139	5389	5643	5894	6151
440	3782	4020	4259	4493	4737	4975	5213	5454	5699
450	3463	3694	3922	4145	4379	4611	4840	5072	5303
460	3143	3370	3595	3811	4037	4255	4480	4702	4931
470	2861	3073	3279	3494	3705	3919	4132	4342	4561

Таблица 3.121

Значения коэффициента динамической вязкости $\eta \cdot 10^7$, Па·с
газового конденсата Ямбургского месторождения
при различных температурах и давлениях

Температура, °С	Коэффициент вязкости при давлении P , МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
130	13441	15630	15800	15976	16156	16330	17209	18089
140	13399	13767	13929	14091	14250	14417	15231	16029
150	11949	12105	12253	12405	12559	12710	13451	14205
160	10478	10615	10750	10889	11024	11165	11847	12529
170	—	9301	9429	9550	9673	9789	10409	11020
180	—	8206	8317	8426	8535	8646	9181	9732
190	—	7285	7382	7480	7579	7675	8171	8664
200	—	6459	6549	6637	6725	6812	7250	7694
210	—	5785	5867	5943	6025	6101	6501	6898
220	—	—	5315	5385	5457	5528	5875	6236
230	—	—	4778	4826	4908	4975	5300	5625
240	—	—	4368	4423	4492	4547	4847	5139
250	—	—	3958	4007	4061	4121	4400	4667
260	—	—	3563	3619	3665	3719	3970	4227
270	—	—	—	3228	3278	3328	3570	3804
280	—	—	—	2935	2978	3021	3251	3474
290	—	—	—	—	2699	2735	2950	3161
300	—	—	—	—	2421	2468	2665	2862
310	—	—	—	—	—	2209	2405	2593
320	—	—	—	—	—	1962	2145	2330
330	—	—	—	—	—	—	1900	2079

Продолжение таблицы 3.121

Температура, °С	Коэффициент вязкости при давлении P , МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
340	18967	19840	20731	21611	22489	23375	24251	25130	26001
350	16835	17637	18447	19264	20063	20880	21685	22495	23301
360	14943	15688	16438	17181	17927	18671	19415	20159	20901
370	13208	13885	14563	15246	15927	16607	17285	17968	18642
380	11629	12247	12868	13481	14102	14717	15332	15942	16545
390	10263	10818	11357	11895	12446	12992	13547	14081	14632
400	9157	9646	10144	10633	11127	11619	12110	12607	13100
410	8131	8574	9011	9458	9895	10341	10778	11219	11667
420	7283	7679	8075	8474	8868	9262	9657	10043	10445
430	6580	6930	7287	7649	8000	8358	8709	9061	9427

Т, К	Коэффициент вязкости при давлении Р, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
370	5947	6270	6577	6915	7243	7572	7892	8216	8540
380	5424	5721	6017	6307	6608	6890	7191	7490	7787
390	4930	5200	5475	5742	6009	6287	6560	6825	7101
400	4480	4736	4990	5240	5501	5755	6009	6262	6513
410	4042	4289	4535	4772	5015	5252	5490	5732	5971
420	3695	3929	4151	4379	4600	4831	5049	5265	5480
430	3369	3581	3791	4002	4210	4419	4634	4840	5046
440	3057	3261	3457	3656	3849	4046	4245	4447	4643
450	2772	2962	3155	3340	3532	3714	3901	4096	4287
460	2499	2678	2857	3031	3210	3391	3565	3747	3924
470	2247	2423	2600	2772	2949	3126	3301	3481	3657

4. ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ И ГАЗОВЫХ КОНДЕНСАТОВ

Теплопроводность газов, жидкостей и многокомпонентных смесей существенно меньше, чем другие физические свойства, например, плотность или вязкость. Это объясняется тем, что экспериментальное определение теплопроводности, особенно при высоких температурах, представляет одну из сложнейших задач экспериментальной физики. Трудности эти, главным образом, возникают при реализации существующих методик и экспериментальных установок в области высоких температур и давлений.

Коэффициент теплопроводности характеризует способность вещества проводить тепло. Он определяет количество тепла, которое проходит в единицу времени через единицу поверхности, перпендикулярной направлению распространения тепла, при падении температуры в один градус на единицу толщины слоя вещества.

Значения коэффициента теплопроводности зависят от свойств вещества, его физического состояния, температуры и давления. Ниже в таблице дается соотношение между единицами коэффициента теплопроводности.

Соотношения между применяемыми единицами теплопроводности

Единица	1 ккал/м·с·град	1 кал/см·с·град	1 Вт/см·град	1 Вт/м·град	1 кВт/м·град
1 ккал/м·с·град	1	$2,778 \cdot 10^{-3}$	$11,63 \cdot 10^{-3}$	1,163	$11,163 \cdot 10^{-3}$
1 кал/см·с·град	360	1	4,187	418,68	$418,7 \cdot 10^{-3}$
1 Вт/см·град	86,0	0,239	1	100	0,1
1 Вт/м·град	0,86	$2,39 \cdot 10^{-3}$	0,01	1	0,001
1 кВт/м·град	860	2,39	10	1000	1

Чтобы получить значения коэффициента теплопроводности в единицах Вт/(м·град) необходимо ккал/(м·с·град) умножить на 1,163.

Теплопроводность индивидуальных углеводородов издавна является предметом изучения многих исследователей. Обзор и анализ существующих работ по исследованию теплопроводности парафиновых, нафталиновых и ароматических углеводородов (от C_3 до C_{19}) подробно изложены в [1–8]. Публикации в СССР по исследованию теплопроводности природных растворов индивидуальных углеводородов, какими являются газовые конденсаты, появились относительно недавно. Впервые была экспериментально исследована теплопроводность газо-

вых конденсатов двух месторождений Краснодарского края Старокубинского и Ленинградского в МИНХ и ГП им. И. М. Губина [9] в широком интервале температур (230–310 К) и давлений (до 50 МПа). В дальнейшем исследования теплопроводности газовых конденсатов проводились в Краснодарском политехническом институте, в Грозненском нефтяном институте, в Ташкентском автодорожном институте, в ИИИ «Подземгазпром».

4.1. Экспериментальные методы определения теплопроводности газов и жидкостей

Теоретической основой экспериментальных методов определения теплопроводности газов и жидкостей является уравнение теплопроводности, связывающее временные и пространственные изменения температуры под действием теплового потока.

Все методы для определения теплопроводности веществ в газовой, жидкой и твердой фазе могут быть разделены на две группы. К первой группе относятся методы, основанные на закономерностях стационарного теплового режима. Эти методы базируются на гипотезе Фурье о пропорциональности теплового потока градиенту температуры.

Решение уравнения теплопроводности для тел простой геометрической формы, в которых распределение температуры не зависит от времени, приводит к выражению:

$$\lambda = K_{\phi} Q / \Delta t,$$

где λ — коэффициент теплопроводности исследуемого вещества; Q — тепловой поток, проходящий через слой исследуемого вещества; Δt — перепад температуры в слое исследуемого вещества; K_{ϕ} — коэффициент формы: для плоского слоя $K_{\phi} = h/S$, для цилиндрического слоя $K_{\phi} = \ln(R_2/R_1)/2\pi l$; h , S — высота и площадь слоя соответственно, R_1 и R_2 — внутренний и внешний радиусы слоя; l — длина цилиндрического слоя.

В этом уравнении коэффициент теплопроводности является постоянным и не зависит от температуры. Поэтому при пользовании этой формулой необходимо обратить внимание на величину перепада температуры в слое исследуемого вещества. Перепад температуры должен быть незначительным. Значение коэффициента теплопроводности является средним в данном интервале температур.

Ко второй группе относятся методы, позволяющие определить теплопроводность веществ, основанные на закономерностях нестациона-

теплового режима, при котором температура тела является функцией не только координат, но и времени.

Виды методов определения теплопроводности веществ, основанные на закономерностях стационарного и нестационарного тепловых процессов, и конструктивное оформление установок в основном разработаны и изложены в работах [5, 8, 10–18].

В настоящее время широкое применение находят следующие стационарные и нестационарные методы: метод плоского горизонтального слоя; метод коаксиальных цилиндров; метод нагретой нити; метод реверсивного теплового режима.

Первые три метода относятся к стационарному тепловому режиму. Коэффициент теплопроводности определяется по измеренному потоку тепла через исследуемый слой, перепаду температуры в этом слое и размерам геометрической формы.

Стационарные методы исследования теплопроводности веществ в газообразном и жидком состоянии хорошо известны, поэтому нет необходимости подробного их изложения, однако вкратце отметим их главные особенности.

Метод плоского горизонтального слоя для определения теплопроводности жидкостей впервые был применен Вебером.

Исследуемое вещество заполняется в пространство между двумя параллельными, горизонтально расположенными пластинами. Для поддержания одномерного теплового потока в исследуемом слое вещества пластины берутся достаточно большой протяженности и располагаются строго горизонтально. Тепловой поток направляется от верхней нагретой пластины через слой вещества к нижней, которая более холодная, что даст возможность максимально исключить конвективную передачу теплоты.

Хотя метод плоского горизонтального слоя является наиболее простым и надежным с точки зрения исключения конвективной передачи теплоты, конструкция экспериментальной установки усложняется с применением охранных нагревателей.

Используя указанный метод, Вебер в 1880 г. в результате проведенных исследований теплопроводности органических жидкостей установил эмпирическое соотношение, хорошо известное в литературе, связывающее коэффициент теплопроводности с другими параметрами. Рихель [19] этим методом определил коэффициент теплопроводности органических соединений при температуре 293,15.

Пороник [20] исследовал теплопроводность жидкого и газообразного азота в широком интервале температур (от 90 до 170 К) и давлений (до 10 МПа). Мигельс и Ботчен [21] исследовали теплопроводность азота на трех изотермах (298,15; 323,15 и 348,15 К) и давлениях до 10 МПа. Амирханов и Адамов [22, 23] исследовали теплопроводность

воды, водяного пара и тяжелой воды в широком интервале температур и давлений. Филиппов [24] Капустинский и Рузавин [25] метод плоского слоя приспособили для измерения коэффициента теплопроводности жидкостей относительным методом.

Метод коаксиальных цилиндров для определения коэффициента теплопроводности газов и жидкостей является одним из широко распространенных способов исследования теплопроводности.

Прибор по методу коаксиальных цилиндров состоит из двух concentric расположенных цилиндров, кольцевой зазор между которыми заполняется исследуемым веществом. Основной нагреватель расположен в полости внутреннего цилиндра. Тепловой поток проходит от внутреннего цилиндра через слой исследуемого вещества к внешнему цилиндру. При наступлении стационарного теплового режима коэффициент теплопроводности вещества определяется по перепаду температуры.

Метод коаксиальных цилиндров для исследования теплопроводности впервые был применен Винкельманом [26]. Бриджмен [27] этим методом исследовал теплопроводность 15 жидкостей на двух изотермах (303,15 и 348,15 K) и в широком интервале давлений (до 1200 МПа). Варгафтик и Смирнова [28] определили коэффициент теплопроводности водяного пара. Зибланд [29] исследовал теплопроводность разбавленных спиртов и высокотемпературных теплоносителей в широком интервале температур и давлений. Филиппов [30] и Ридель [19] приспособили этот метод как относительный для исследования теплопроводности различных жидкостей. Этот метод с использованием различных конструктивных вариантов исполнения измерительной ячейки широко применялся в Грозненском нефтяном институте [2].

Преимущество метода коаксиальных цилиндров по сравнению с методом плоского слоя состоит в том, что цилиндрическая конфигурация более удобна для работы при высоких давлениях и измерительная система при этом получается менее громоздкой. Кроме того, доля потерь тепла, подлежащая теплоизоляции, в этом методе значительно меньше.

Для получения надежных данных по коэффициентам теплопроводности по этому методу необходимо исключить потери тепла с торцов измерительных цилиндров. Для исключения искажения температурного поля по длине измерительных цилиндров и предотвращения утечки тепла с их торцов устанавливают специальные торцевые охранные нагреватели. Все это приводит к усложнению конструкции экспериментальной установки и процесса проведения самого эксперимента.

Метод нагретой нити представляет конструктивное видоизменение метода коаксиальных цилиндров. В этом методе внутренний цилиндр заменяет платиновая проволока малого диаметра, которая служит одновременно нагревателем и термометром сопротивления, а в качестве наружного цилиндра применяются стеклянные или кварцевые капилляры.

ство. Основное различие этих методов состоит в способе измерения температуры внутреннего цилиндра и в конструктивном исполнении.

Впервые этот метод был предложен и применен Шлейермахером [14] для измерения коэффициента теплопроводности газов и получил дальнейшее развитие в работах отечественных и зарубежных авторов.

В основном метод нагретой нити применялся за рубежом для определения коэффициента теплопроводности газов при атмосферном давлении. Шилл [32] и Кардос [33] этим методом исследовали теплопроводность воздуха, метана, этана и этилена при низких температурах и атмосферном давлении.

Метод нагретой нити впервые был применен в нашей стране Тимротом и Варгафтиком [34] для исследования теплопроводности газов. В дальнейшем этот метод был усовершенствован в работах Тимрота и Варгафтика [35, 36], Цедерберга [37], Аббас-заде [6], Расторгуева и его сотрудников [2], Тарзиманова и Мухамедзянова [38] для исследования теплопроводности жидкостей, паров и газов в широком диапазоне температур и давлений.

Метод нагретой нити по сравнению с методом коаксиальных цилиндров имеет некоторые преимущества. При малом диаметре проволоки внутри теплоты с концов нагревателя незначительные и, следовательно, охранные нагреватели не нужны. Второе преимущество относится к монтажу установки. Так как измерительная трубка является прозрачной, упрощается проверка точности центровки нити в измерительной трубке.

Указанные преимущества намного упрощают конструктивное оформление установки и проведение эксперимента. Однако при использовании этого метода для точного определения теплопроводности газов с крайне малым значением коэффициента возникают большие экспериментальные затруднения, связанные с влиянием побочных эффектов, искажающих исходную картину. Поэтому вводятся многочисленные поправки, что сильно усложняет эксперимент.

Приводя анализ стационарных методов исследования теплопроводности газов и жидкостей, можно прийти к выводу, что, несмотря на простоту заложенных в них идей и практическом оформлении экспериментальных установок, они являются далеко не простыми и дают хорошие результаты только в руках опытного исследователя. Стационарным методам присущи длительность проведения эксперимента, поскольку стационарный режим достигается крайне медленно, отсюда и возможность довольно грубых ошибок. Коэффициент теплопроводности определяется только при отдельных фиксированных значениях температуры. Поэтому при исследовании теплопроводности большого числа веществ в широком интервале температур и давлений стационарные методы неудобны.

Этих недостатков лишены методы, основанные на закономерностях нестационарного температурного поля. Такие методы были разработаны и приводятся в трудах Кондратьева, Лыкова, Чудновского, Гольдмана, Мустафаева и других советских ученых.

Ниже приводится изложение метода регулярного теплового режима и описание экспериментальной установки для определения коэффициента теплопроводности газов и жидкостей, работающей на основе этого метода. Такое внимание к этому методу объясняется тем, что исследование теплопроводности большинства углеводородов и газовых конденсатов было проведено на установках, работающих методом регулярного теплового режима.

4.2. Метод регулярного теплового режима

Самопроизвольное охлаждение или нагревание тела произвольной формы без внутреннего источника тепла в среде с неизменяющейся температурой можно разделить на три стадии: первая — стадия регулярного режима, где большую роль играет начальное распределение температуры тела. Затем наступает вторая стадия — стадия регулярного теплового режима, когда начальное условие распределения температуры играет второстепенную роль, и процесс полностью определяется только условиями теплообмена на поверхности тела, его геометрической формой и физическими свойствами. И, наконец, третья стадия — стадия стационарного режима, когда распределение температуры тела со временем остается постоянным, и при этом температура тела стремится к температуре окружающей среды.

Простое охлаждение тела при неустановившемся режиме без внутреннего источника тепла математически описывается уравнением Фурье. Принимая, что теплопроводность не зависит от температуры, получим:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t. \quad (4.1)$$

Начальные и граничные условия, удовлетворяющие искомой функции t , следующие:

$$t_{\tau=0} = f(x, y, z); \quad \lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right) + \alpha(t_1 - t_0) = 0,$$

где $t(x, y, z, \tau)$ — температура тела; $\alpha = h/C\rho$ — коэффициент температуропроводности; λ — коэффициент теплопроводности; C — теплоемкость; ρ — плотность; n — нормаль к поверхности тела; α — коэффициент

те температуры от поверхности тела к окружающей среде; t_1 — температура поверхности тела; t_0 — температура окружающей среды.

$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ — оператор Лапласа от функции t .

Для упрощения, вместо температуры t будем рассматривать температурные разности $\vartheta = t_1 - t_0$. Если температура среды постоянная, то решение уравнения (4.1) примет вид:

$$\vartheta = \sum_{i=1}^{\infty} A_i u_i e^{-m_i^2 \tau}, \quad (4.2)$$

где A_i — постоянные величины, зависящие только от начального распределения температуры и геометрической формы тела; u_i — функции координат точек тела (в выражении в качестве параметров, входят физические константы материала тела); m_i — постоянные коэффициенты, представляющие собой ряд положительных возрастающих чисел ($m_0 < m_1 < m_2 < \dots < m_i < m_{i+1} < \dots$) и зависящие от геометрических размеров, формы тела, его физических свойств и условий теплообмена с окружающей средой.

Для стадии регулярного теплового режима члены ряда (4.2), начиная со второго, становятся бесконечно малыми и ими можно пренебречь, тогда соотношение (4.2) будет иметь следующий вид:

$$\vartheta = A_0 u_0 e^{-m_0^2 \tau},$$

т. е. логарифм разности температуры любой точки тела и температуры окружающей среды изменяется со временем по линейному закону:

$$\ln \vartheta = -m_0^2 \tau + \ln A_0 u_0.$$

Причем скорость изменения одинакова для всех точек тела, что подтверждается соотношением:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} (\ln \vartheta) = -m. \quad (4.3)$$

Кривая охлаждения тела в стадии регулярного теплового режима в полулогарифмических координатах на графике изображается в виде множества параллельных прямых с отрицательным угловым коэффициентом, равным $-m$ (рис. 4.1).

Число m — темп регулярного теплового режима, который характеризует скорость охлаждения тела.

Относя уравнение (4.3) к двум моментам времени τ_1 и τ_2 , которым соответствуют значения величины ϑ , равные ϑ_1 и ϑ_2 , получим следующую формулу:

$$m = \frac{\ln \vartheta_1 - \ln \vartheta_2}{\tau_2 - \tau_1}. \quad (4.4)$$

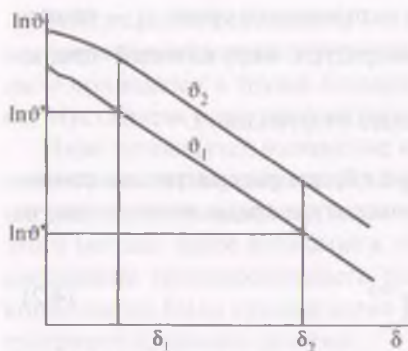


Рис. 4.1. Изменения температуры тела во времени в процессе его охлаждения

метод регулярного теплового режима для измерения теплофизических характеристик веществ.

Метод регулярного теплового режима имеет ряд модификаций: метод акалориметра, ламбдакалориметра, бикалориметра и метод двух и многих точек.

Сушность метода акалориметра состоит в том, что охлаждается или нагревается тело с известным коэффициентом формы K_Φ при условии $\vartheta = \text{const}$ и $\alpha \rightarrow \infty$. Экспериментально определяя темп охлаждения m , находят температуропроводность.

$$\alpha = K_\Phi m_\infty.$$

Для шара радиусом R $K_\Phi = R^2/2$, для цилиндра высотой h и радиусом R $K_\Phi = [(2,4048/R)^2 + (\pi/h)^2]^{-1}$ и для прямоугольного параллелепипеда с ребрами L_1 , L_2 и L_3 $K_\Phi = [\pi^2(1/L_1^2 + 1/L_2^2 + 1/L_3^2)]^{-1}$.

Метод ламбдакалориметра позволяет непосредственно определить теплопроводность тела, если известна его температуропроводность, по формуле:

$$\lambda = \alpha L_0 / f(p),$$

где $P = L_0(m/a)^{-1}$; $f(p)$ — табулированная функция в зависимости от формы; L_0 — определяющий размер тела.

Для проведения опыта методом ламбдакалориметра необходимо следующее условие: $\vartheta = \text{const}$ и $\alpha = \text{const}$, что достигается в воздушном или газовом термостате. При применении этого метода необходимо определить коэффициент теплоотдачи, для чего в термостат вводится альфакалориметр. Альфакалориметр представляет собой тело, термические коэффициенты которого известны, а геометрия идентична геометрии образца. Внутри альфакалориметра находится термopара, позволяющая определить его темп охлаждения, и тогда:

$$\alpha = m \frac{C}{S},$$

Как было отмечено, темп охлаждения регулярного теплового режима как однородного тела, так и температуры, не зависит от координат

$$m = f(\alpha, \lambda, \rho, \tau, R, l, \dots)$$

Позднее [39] было отмечено, что такое предположение справедливо только для тел простейшей формы (параллелепипед, шар, цилиндр и др.).

Решение уравнения (4.4) для тел простейшей геометрической формы позволяет использовать

где V — теплоемкость; S — поверхность альфакалориметра.

Для определения теплопроводности без знания величины температуропроводности был предложен метод двух точек, основанный на следствии из свойства регулярного теплового режима: отношение избыточных температур в двух произвольно выбранных точках системы в каждый момент времени не зависит от времени и определяется лишь координатами и формой тела, если $\alpha = \text{const}$. Из полулогарифмических графика $\ln \theta = f(t)$ для любых двух точек легко находить темп охлаждения.

Зная темп охлаждения, можно рассчитать величину температуропроводности α , а затем, зная α — рассчитать коэффициент теплопроводности λ .

С помощью метода двух точек определены теплофизические параметры для самых различных материалов — от огнеупоров до металлов.

Бикалориметр — это регулярно охлаждаемая система, представляющая собой сложное тело, состоящее из металлического ядра и окружающего его слоя исследуемого вещества. Эта система помещается в термостат с $\alpha \rightarrow 8$.

Уравнение для цилиндрического бикалориметра в строгой форме получено Г. М. Кондратьевым и А. Ф. Чудновским. Для вывода уравнения теплопроводности предполагается, что теплопроводность ядра намного больше теплопроводности исследуемого слоя, следовательно, распределение температуры в ядре равномерное; что отсутствует температурный скачок на пограничной поверхности между ядром и исследуемым слоем, что охлаждение системы происходит при граничном условии первого рода и что тепло передается через исследуемый слой только теплопроводностью.

Для бикалориметра в виде двух коаксиальных и неограниченных цилиндров (внутренний сплошной, а наружный полый) окончательная формула будет иметь следующий вид:

$$\beta = P \frac{I_0(p)y_0(q) - I_0(q)y_0(p)}{I_1(p)y_0(q) - I_0(q)y_1(p)}; \quad (4.5a)$$

$$\lambda = R_1 c' \gamma' m \frac{I_0(\mu R_1)y_0(\mu R_2) - I_0(\mu R_2)y_0(\mu R_1)}{\mu [I_1(\mu R_1)y_0(\mu R_2) - I_0(\mu R_2)y_1(\mu R_1)]}, \quad (4.5b)$$

$$\beta = \frac{C\gamma}{\frac{1}{2}c'\gamma'}; \quad P = \mu R_1; \quad q = \mu R_2; \quad \mu = \sqrt{\frac{m}{a}};$$

c, c' — удельные теплоемкости исследуемого слоя и ядра соответственно; γ, γ' — удельные веса исследуемого слоя и ядра соответственно; λ — теплопроводность исследуемого слоя; $I_0(x), y_0(x)$ — бесселевы функции первого и второго рода нулевого порядка; $I_1(x), y_1(x)$ — бесселевы функции первого и второго рода первого порядка.

В случае конечных цилиндров получается:

$$\lambda = \frac{R_1 c' \gamma' m [I_0(\mu R_1) y_0(\mu R_2) - I_0(\mu R_2) y_0(\mu R_1)]}{2 \sqrt{\frac{m}{a} - \frac{\pi^2}{l^2}} [I_1(\mu R_1) y_0(\mu R_2) - I_0(\mu R_2) y_1(\mu R_1)]}, \quad (4.5)$$

где l — длина конечного цилиндра.

Из-за математической трудности уравнению (4.6) не придан удобный вид для практических расчетов. Правда, в дальнейшем М. Ф. Казанский преобразовал и исключил функции Бесселя из уравнения (4.56), но точность полученного уравнения зависит от быстроты убывания членов ряда. При малых значениях толщины исследуемого слоя уравнение Казанского дает хорошую точность. Позднее Голубевым [18] было выведено расчетное уравнение, удобное для практического применения.

Для плоского и шарового бикалориметров имеются простые формулы для практических расчетов, выведенные Г. М. Кондратьевым.

Для плоского бикалориметра:

$$\lambda = \frac{c' \gamma' h \cdot m \delta}{3 B_{\text{ш}}}, \quad (4.7)$$

$$\text{где } B_{\text{ш}} = \frac{3 J_{\text{ш}}}{3 J_{\text{ш}} + 1}; \quad J_{\text{ш}} = \frac{c'}{c}$$

h — половина толщины ядра; m — темп охлаждения составного плоского тела; δ — толщина слоя исследуемого вещества; c' — общая теплоемкость ядра; c — общая теплоемкость слоя исследуемого вещества.

Для шарового бикалориметра:

$$\lambda = \frac{K c' \gamma' R_1 \cdot m \delta}{3 B_{\text{ш}}}, \quad (4.8)$$

$$\text{где } B_{\text{ш}} = \frac{3 J_{\text{ш}}}{3 J_{\text{ш}} + K}; \quad J_{\text{ш}} = \frac{1 + K + K^2}{3K} \frac{c'}{c},$$

R_1 — радиус шарового ядра; $K = R_1/R$ — отношение радиусов ядра и составного шара.

Если исследуемое вещество имеет малый удельный вес, формулы (4.7) и (4.8) упрощаются и принимают вид соответственно:

$$\lambda = c' \gamma' h \cdot m \delta \quad (4.7a)$$

$$\lambda = \frac{Kc' \gamma' R_1 \cdot m \delta}{3} \quad (4.8a)$$

Одна из первых работ по исследованию теплопроводности жидкостей методом регулярного теплового режима была работа Даниловой [40]. Используя метод шарового бикалориметра, она исследовала теплопроводность Фреон-11, Фреон-12, этиленгликоль и антифриз в интервале температур 243–323 К. Шаровой бикалориметр был применен также Т. В. Теллером и Ю. Л. Расторгуевым [41], А. К. Абас-заде и Г. А. Мустафаевым [42] для исследований теплопроводности нефтепродуктов.

Плоский бикалориметр был применен Г. М. Левиным [43], и впервые с помощью относительного метода регулярного режима он исследовал теплопроводность газов (кислород, аргон, водород) с точностью до 1%. В дальнейшем плоский бикалориметр был усовершенствован А. Ф. Фигуновой [44], и уравнение расчета теплопроводности приняло более удобный вид.

Позднее И. Ф. Голубевым [45] был разработан новый вариант цилиндрического бикалориметра для исследований теплопроводности газов и жидкостей при высоких давлениях в широком интервале температур. На этом бикалориметре были исследованы теплопроводность *n*-гексана, пентана и *n*-октана в интервале температур 273–630 К и давлений до 10,6 МПа. Толщина исследуемого слоя была 0,230; 0,339; 0,451 и 0,561 мм. В то же время совместно с Назиевым они получили простую формулу для вычисления теплопроводности газов и жидкостей. Для этого ими было использовано свойство разложения функции Бесселя при малых значениях аргумента.

Для газа:

$$\lambda = \frac{mc_1 \rho_1 R_2}{2} R_1 \ln \frac{R_2}{R_1},$$

для жидкостей

$$\lambda = \frac{mc_1 \rho_1 R_1}{2B_1} R_1 \ln \frac{R_2}{R_1},$$

где

$$B_{\text{н}} = \frac{3J_{\text{н}}}{3J_{\text{н}} + K}; \quad J_{\text{н}} = \frac{1 + K + K^2 \frac{c'}{c}}{3K};$$

$$K = \frac{R_1}{\delta} \ln \frac{R_2}{R_1},$$

C_1 и C — полные теплоемкости ядра бикалориметра и слоя исследуемого вещества.

Преимуществом метода регулярного теплового режима, по сравнению с другими методами, является значительно меньшая затрата времени на измерения, простота приборов и аппаратуры, применение в установках, достаточно высокая точность определения величины теплопроводности.

К недостаткам можно отнести сложность теории регулярного теплового режима, необходимость знания других констант (теплоемкость, плотность) исследуемого вещества для расчета значения теплопроводности из данных опыта.

4.3. Описание экспериментальной установки

Установка по исследованию теплопроводности газов и жидкостей (рис. 4.2) состоит из цилиндрического бикалориметра, работающего по методу регулярного теплового режима, термостатирующего устройства для поддержания постоянной температуры во время опыта, системы приспособлений для создания и поддержания давления, электрической части, вакуумной системы и системы коммуникации.

Бикалориметр. Экспериментальный прибор, предназначенный для измерения коэффициентов теплопроводности газов и жидкостей в широком интервале температур и давлений методом регулярного теплового режима (рис. 4.3).

Бикалориметр состоит из коаксиально расположенных цилиндров (внутреннего I и внешнего II). Зазор (21) между цилиндрами заполняется исследуемым газом или жидкостью. Внутренний цилиндр I состоит из основного, измерительного (26) и компенсационного (15).

Измерительный цилиндр (26) (длиной 169,4 мм) изготовлен из металла марки М2. Наружная поверхность цилиндра тщательно теплоизолирована и хромирована. По оси цилиндра (26) просверлено отверстие диаметром 3,9 мм на глубину 164 мм. В верхнем торце измерительного цилиндра (26) просверлено отверстие (17) с резьбой М8 и глубиной 88 мм.

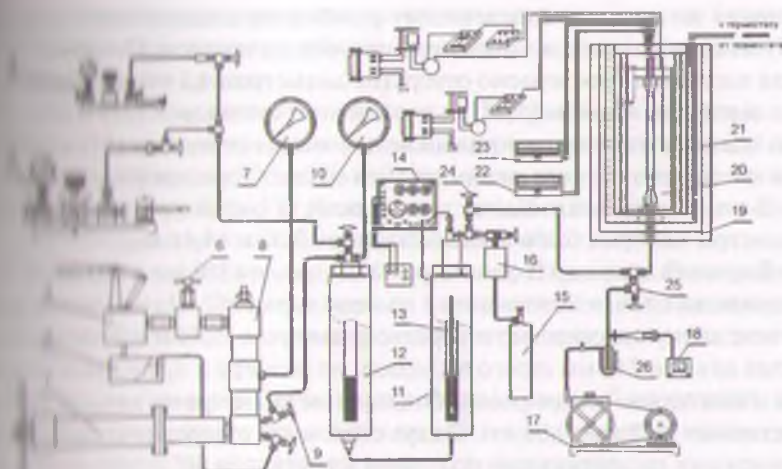


Рис. 4.2 Схема экспериментальной установки

которого строго плоское (угол между ним и внешней поверхностью цилиндра составляет 90°).

Компенсационный цилиндр (15), также изготовленный из меди марки М2, служит для предотвращения потерь тепла измерительного цилиндра (26) через его верхний торец. Длина компенсационного цилиндра составляет 50 мм. Наружная поверхность цилиндра отполирована и хромирована. Вдоль оси компенсационного цилиндра по всей длине просверлено отверстие диаметром 3,9 мм, с обоих концов компенсационного цилиндра имеется внутренняя резьба размером М8

и глубиной 8 мм. Резьба в нижней части цилиндра имеет левый заход, а в верхней части — правый. Нижние торцы отверстия с резьбой выполнены строго плоскими и угол между ним и внешней поверхностью компенсационного цилиндра составляет 90° .

Соединение измерительного (26) и компенсационного (15) цилиндров осуществляется с помощью ниппеля (6). Ниппель (наружный диаметр М8, длина 25 мм и вес 4,858 г) изготовлен из нержавеющей стали. Размер резьбового сое-

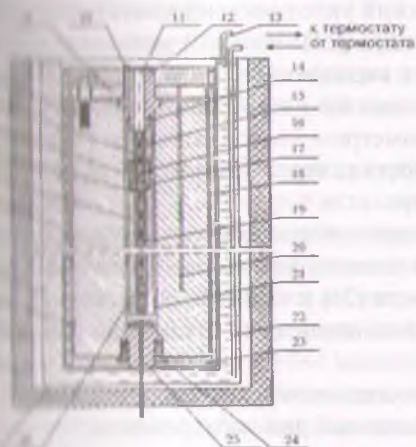


Рис. 4.3 Цилиндрический бикалориметр, изготовленный методом регулярного тиснения

динения на ниппеле соответствует резьбовому соединению отверстий (17) измерительного и компенсационного цилиндров. По длине ниппеля вдоль оси просверлено отверстие диаметром 4,1 мм и с обоих торцов выточены «ножи» (5). При соединении цилиндров (15) и (26) «ножи» вдавливаются в строго плоские основания отверстий (17) и отверстия компенсационного цилиндра, что создает хорошее уплотнение.

В опытах использовались два комплекта соединенных цилиндров диаметры которых были соответственно 13,38 и 14,41 мм.

Внешний цилиндр II (диаметр 100 мм, высота 316 мм и вес 20840 г) массивный блок, изготовленный из меди марки М2. По оси цилиндра II на всю длину просверлено отверстие диаметром 15,40 мм. Участок отверстия длиной 245 мм строго выдержан по размеру и правильности формы и тщательно отполирован. Отклонение диаметра на данном участке составляет не более 0,06 мм. С двух сторон это отверстие заканчивается конусными расширениями под углом к вертикали 60°.

Герметизация кольцевого зазора, заполненного исследуемым веществом, осуществлялась с помощью двух уплотняющих конусов (12) и (25).

Верхний уплотняющий конус (12) прижимается к корпусу бикалориметра с помощью фланца (9) с четырьмя болтами (8). Конус (12) изготовлен из нержавеющей стали, внизу имеет выступающий цилиндр (14) с наружной резьбой размером М8 и с торцом «нож». В конусе просверлены два отверстия: одно (11) вдоль оси по всей длине диаметром 4,2 мм, другое (10) диаметром 2 мм смещено относительно оси на 6 мм. С помощью смещенного отверстия через вентиль высокого давления осуществляется связь кольцевого зазора бикалориметра с атмосферой. С внутренним цилиндром II верхний уплотняющий конус соединяется с помощью выступающего цилиндра (14). Нижний уплотняющий конус 25, также изготовленный из нержавеющей стали, соединяется с внешним цилиндром II при помощи накидной гайки (24). По оси конуса (25) проходит отверстие диаметром 2 мм с выходом, разветвленным на четыре радиальных отверстия, через которые исследуемое вещество поступает в бикалориметр.

В опытах для рабочего цилиндра использовалась трехспайная дифференциальная термопара и для компенсационного цилиндра односпайная. Термопары измерительного (26) и компенсационного (15) цилиндров изготовлены из медной и константовой проволоки диаметром 0,2 мм.

При выборе материала для проводников термопар учитывались:

- интервал температур, необходимый для эксперимента;
- возможность получения большой термо-э.д.с., однозначной изменяемой в зависимости от температуры;

устройство, при котором проводники термопар не изменяли бы свои физико-химические свойства при максимальных измеряемых температурах среды;

возможность изготовления термопар требуемой конструкции.

Медно-константинные термопары очень широко применяются для измерения температур от 80 до 620 К. Термо-э.д.с. такой термопары в индустриальных температур 270–370 К составляет +4,25 мВ. Процесс окисления меди начинается при температуре выше 350°C.

Проводники термопар соединены при помощи сварки. Размер диаметра для всех спаев был одинаковым и составлял 1 мм. Такая величина спаев обеспечивает механическую прочность и хороший электрический контакт.

Контакты термопар сначала покрывались лаковой изоляцией, затем обмоткой кварцевой нитью и после этого кремнеорганическим лаком. Такое покрытие обеспечивает хорошую изоляцию.

Для изготовления термопар внутри измерительного цилиндра (26) и для получения надежного контакта спаев термопар с его поверхностью использовалась медная трубка (19) (наружный диаметр 4 мм, внутренний диаметр 2 мм, длина 154 мм и вес 9,86 г). На боковой поверхности трубки расположены четыре продольные канавки шириной 1,5 мм и глубиной 0,9 мм. Канавки расположены на одинаковом расстоянии друг от друга по всему периметру трубки. Длина первой канавки составляет 126 мм, второй — 70 мм, третьей — 43 мм. Канавка для термопар компенсационного цилиндра имеет длину 28 мм. Такие же канавки делаются по всей длине трубки компенсационного цилиндра (7).

Горячие и изготовленные термопары аккуратно вставляются в эти канавки и склеиваются.

И другие канавки трубки измерительного цилиндра (19) сделаны небольшие тангенциальные отверстия (глубиной и диаметром 1 мм) для спаев термопар. Для лучшего теплового контакта спаи термопар зачеканиваются в эти отверстия.

Для теплоизоляции между трубками измерительного (19) и компенсационного (7) цилиндров вставляется керамическая четырехугольная призма (16) с внутренним отверстием, диаметр которого составляет 4 мм. Затем вставляется компенсационная дифференциальная термопара. Один спай зачеканивается в отверстие, сделанное в конце канавки для компенсационной термопары на трубке измерительного цилиндра (19), а другой спай — на трубке компенсационного цилиндра (7).

Электронагреватели размещены в осевых отверстиях трубок компенсационного и измерительного цилиндров, благодаря чему выделяемое тепло распределяется равномерно и пропорционально длине этих цилиндров. Такое устройство электронагревателя обеспечивает подогрев измерительного (26) и компенсационного (15) цилиндров на одинаковую

избыточную, по сравнению с внешним цилиндром II, температуру. Измерительный и компенсационный цилиндры имеют индивидуальные электронагреватели, что дает возможность нагревать их раздельно.

В качестве материала для электронагревателя использовали манганиновую проволоку диаметром 0,2 мм, покрытую в целях изоляции лаком и обмотанную кварцевой нитью.

В собранном состоянии медные трубки (7) и (19) с керамическим призмой (16) запрессовываются в отверстие внутреннего цилиндра I.

Измерительный (26) и компенсационный (15) цилиндры соединяются между собой при помощи ниппеля (6). Затем внутренний цилиндр I соединяется в верхнем уплотняющим конусом (12), через центральное отверстие (11) которого выводятся все концы термопар и нагревателей.

В таком виде внутренний цилиндр I вставляется во внешний II, причем это делается с особой осторожностью, чтобы не поцарапать полированные поверхности цилиндров I и II.

Центровка внутреннего цилиндра I во внешнем II осуществляется следующим образом. На верхний уплотняющий конус (12) насаживается фланец (9) с четырьмя болтами (8), которые затягиваются попарно по диаметру. Одновременно проверяется зазор (21) между цилиндрами через открытый конец внешнего цилиндра II специально изготовленным щупом, толщина которого соответствует размеру зазора между цилиндрами I и II.

Для размещения холодных спаев дифференциальной термопары в теле внешнего цилиндра II просверлено отверстие (20) (глубина 223 мм, диаметр 3 мм) на расстоянии 23 мм от центра цилиндра. Спаи дифференциальной термопары, расположенные в I и II цилиндрах, одинаковы.

Затем вставляется нижний уплотняющий конус (25). Уплотнение между конической поверхностью конуса (25) и конической поверхностью внешнего цилиндра II осуществляется поджатием накидной гайки (24).

Термостат. Бикалориметр в собранном виде вставляется в термостат, представляющий специально изготовленный двухстенный цилиндрический сосуд (27) из нержавеющей стали диаметром 210 мм и высотой 830 мм (рис. 4.3). В целях уменьшения передачи тепла через сосуд (27) в окружающую среду, пространство между стенками вакуумировано до 10^{-3} мм рт. ст. Таким образом получился своего рода металлический сосуд Дьюара, который вставляется в деревянный ящик. Зазор между ними, заполненный утрамбованным стекловолокном (1), составляет 10 мм. Сосуд соединен с ультратермостатом У-10 двумя медными трубками диаметром 10 мм: труба (22) (линия нагнетания) опущена почти до дна, а вторая (13) (линия отбора) — всего на 30 мм.

Для отделения прибора от термостатирующей жидкости (3) служит тонкостенный цилиндрический тонкостенный сосуд (4) диаметром 140 мм, который помещается в сосуд Дьюара (27).

В целях сокращения времени эксперимента для выхода на заданный режим, особенно при высоких температурах, предусмотрен дополнительный нагреватель (18) из нихромовой проволоки диаметром 1 мм с соответствующей электрической схемой и контактным термометром.

Нагревательная проволока намотана на третий металлический сосуд, который находится во второй (4). Таким образом получается термостат смешанного типа. Такая конструкция термостата сокращает время термостатирования почти вдвое (4–5 ч).

В качестве термостатирующей жидкости используется полиметилсилоксановая жидкость ПМС-10. Охлаждающим агентом были пары азота, пропущенные через змеевик ультра-термостата.

При температурах выше 520 К применяется термостатирующая печь, состоящая из двух складывающихся половин. Печь изготовлена из двух секций с целью регулировки температур вдоль корпуса прибора. Воздушный зазор между электропечью и прибором составляет 8 мм.

Жидкостной термостат и электрическая печь со всех сторон теплоизолированы.

Колебания температур во время опыта, при использовании электрической печи не превышали $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

Припособление для создания давлений и U-образная часть установки (рис. 4.1). Давление в установке создается гидравлическим прессом высокого давления (1). Максимальное рабочее давление пресса 1000 атм. В качестве полжимающей жидкости использовано трансформаторное масло, поступающее из емкости (2).

Ручной пресс (3) служит для подачи масла из емкости (2) через поршневой цилиндр (8) к прессу высокого давления (1).

U-образная часть установки представляет собой два сообщающихся сосуда (11) и (12) высокого давления, изготовленных из нержавеющей стали. Внутренний диаметр каждого сосуда равен 40, наружный — 110, длина — 440 мм. Максимальное рабочее давление U-образной части установки 1200 атм. Оба сосуда соединяются между собой нержавеющей тонкостенной трубкой высокого давления, до половины заливаемой ртутью, выполняющей функции разделителя между маслом и исследуемым веществом.

Сосуд (12) соединяется с гидравлическим прессом высокого давления (1), сосуд (11) — с бикалориметром (19).

Для определения уровня ртути, в целях внесения поправки на давление в U-образной части установки, в сосуде (11) натянута по всей длине нихромовая проволока (13). Для электроизоляции проволока

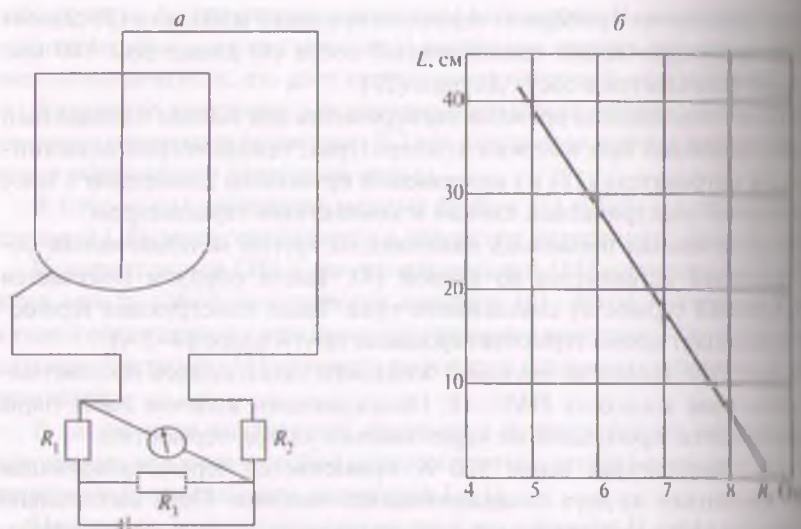


Рис. 4.4. Принципиальная схема измерения уровня ртути (1) и тарировочная кривая (2)

вставляется в тонкую трубку из органического стекла с радиальными отверстиями.

По мере повышения или уменьшения уровня ртути в сосуде сопротивление проволоки соответственно уменьшается или увеличивается и фиксируется с помощью моста постоянного тока типа УМВ-14.

Принципиальная схема измерения уровня ртути и тарировочный график показаны на рис. 4.4. Правый сосуд (11) (рис. 4.2) имеет два контакта, отмечающих верхнее и нижнее положение ртути, замыкание и размыкание контактов с ртутью фиксируется зажиганием контрольной лампочки.

Правый сосуд (11) сверху имеет специальный узел вывода концов проволоки, которые проходят через узкое отверстие тефлоновой втулки. Втулка прижимается металлическими конусными шайбами с помощью зажимного винта, что создает необходимую герметичность.

Электрическая схема установки состоит из цепей измерения температуры и нагревания цилиндров (рис. 4.5).

Электрический стабилизатор (1) напряжения С-0,9 предназначен для поддержания постоянного напряжения в цепи нагревателя измерительного цилиндра, а стабилизатор (2) напряжения С-0,9 — в цепи нагревателя компенсационного цилиндра.

Трансформатор (3) ОСО-0,25 служит для понижения напряжения в сети и поддержания его на уровне 36 В. в электрической цепи нагревателя измерительного цилиндра. А трансформатор (4) ОСО-0,25 — в электрической цепи нагревателя компенсационного цилиндра. Лаборан-

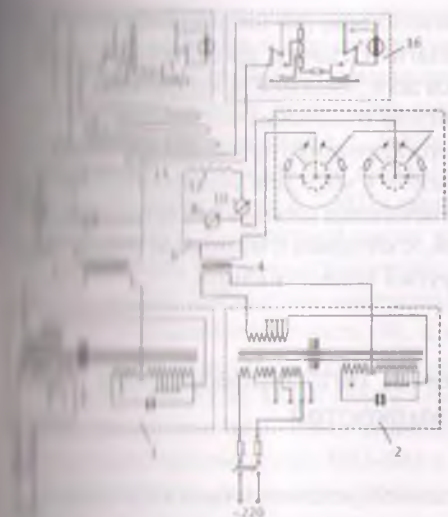


Рис. 4.2. Электрическая схема установки

Термопара служит для измерения разности температур между измерительным и компенсационным цилиндрами, а трехспайная термопара (14) измерительного цилиндра предназначена для измерения разности температур измерительного и внешнего цилиндров бикалориметра.

Температура фиксируется при разных режимах работы установки магнитно-электрическим гальванометром (15) М195/2 со световым указателем в цепи измерения измерительного цилиндра, а в цепи измерения компенсационного цилиндра — гальванометром (16) М195/1 со световым указателем.

В электрической цепи нагревателя компенсационного цилиндра установлен магазин сопротивлений (17) МСР-60.

Питание дополнительного нагревателя жидкостного термостата и термостатирующей печи осуществляется через стабилизатор РНО-100-3. Для регулирования напряжения на отдельных секциях электрической печи применяли лабораторные автотрансформаторы.

Вакуумная система установки (рис. 4.2). Во избежание попадания в исследуемое вещество посторонних примесей воздух и влага удалялись из установки до заполнения его частей исследуемым веществом путем длительной откачки вакуумным насосом.

Вакуумная система состоит из вакуумного насоса РВН-20 (17), вакуумметра термопарного типа ВТ-2А (18), игольчатого вентиля высокого давления (25), соединяющего вакуумный насос с линией заполнения бикалориметра исследуемым веществом, ловушки (26) для осаждения паров влаги с помощью жидкого азота и ртутного манометра.

торные автотрансформаторы (5) и (6) предназначены для этих же целей.

Напряжение и сила тока в электрической цепи нагревателей измерительного и компенсационного цилиндров измеряются соответственно вольтметрами (7) и (8) и амперметрами (9) и (10).

Нагреватели (11) и (12) соответственно измерительного и компенсационного цилиндров выполнены из манганиновой проволоки диаметром 0,2 мм.

Дифференциальная термопара (13) компенсационного

Во время откачки все части бикалориметра нагреваются до 100 °С для удаления абсорбированной влаги. Откачка продолжается до тех пор, пока установка не охлаждается до комнатной температуры.

Система коммуникации. Соединение отдельных элементов установки между собой выполняется из нержавеющей трубок малого диаметра (внутренний размер 1 мм, наружный — 4 мм). Для управления потоками исследуемой среды и масла применяются игольчатые вентили высокого давления тонкой регулировки, к которым с помощью накидных гаек подсоединяются трубки коммуникации.

4.4. Методика измерения теплопроводности газов и жидкостей

Принцип работы экспериментальной установки сводится к следующему (рис. 4.2).

Ультратермостат У-10 и термостат бикалориметра заполняются до соответствующего уровня выбранной термостатирующей жидкостью.

Бикалориметр (19), подсоединенный к U-образной части установки и к электрической схеме, вставляется в термостат. Сначала открывается вентиль (22), соединяющий вакуумную линию с бикалориметром, затем вентиль (21), соединяющий с бикалориметром сосуд (11) U-образной части установки. После этого включается вакуумный насос (17) и дополнительный нагреватель (20) термостата бикалориметра. Через 1–1,5 ч нагреватель выключается. К этому времени бикалориметр нагревается до 100–110 °С. Вакуумирование продолжается 4–5 ч, т. е. до тех пор, пока температура бикалориметра не достигнет комнатной, после чего вакуумный насос (17) выключается.

Во время вакуумирования в ловушке (23) осаждается влага. Затем бикалориметр заполняется исследуемым веществом. Вентиль баллона (15) открывается, и исследуемое вещество через фильтр (16), заполненный тонковолокнистой стеклянной ватой и активированным углем, поступает в сосуд (11) и заполняет все коммуникации и бикалориметр.

Для ведения эксперимента при высоких температурах включается ультратермостат У-10. Контактный термометр дополнительного нагревателя устанавливается на два градуса ниже температуры опыта. По достижении этой температуры дополнительный нагреватель (20) автоматически отключается, и термостатирование продолжается только с помощью ультратермостата У-10. Через 5–10 ч устанавливается постоянная температура опыта.

После термостатирования в установке создается необходимое для опыта давление. С этой целью масло откачивается из емкости (2) при

маслом прессом низкого давления (3) и при открытом положении вентилей (6) подается к промежуточному цилиндру (8). Другой конец цилиндра (8) соединяется с гидравлическим прессом высокого давления (1). Необходимое количество масла поступает к прессу (1), после чего вентиль (6) закрывается. Таким образом, в установке создается давление, соответствующее давлению в U-образной части установки. Это давление на 0,3 МПа выше того давления, под которым находится масло в U-образной части установки. Это делается для того, чтобы избежать обратного движения масла из U-образной части установки к прессу 1. Давление контролируется манометром (7).

Вентиль открывается вентиль (9), и масло подается в сосуд (12). При этом давление передается исследуемым жидкости и газу через ртуть.

Давление масла во время опыта измеряется пружинными манометрами МП-600 в точности 0,2 со шкалами 60, 100, 250, 600 кг/см² и грузопримечаниями манометрами МП-600 и МП-60 (соответственно (4) и (5)).

Измеряется также уровень ртути в сосуде (11), температуру бикалоидов с помощью лабораторных термометров с ценой деления 0,1°C и температура измерительного цилиндра.

Таким образом достигается постоянная температура и необходимое для определения опыта давление.

К цепи электрическая цепь (рис. 4.5) нагревателя внутреннего цилиндра включается в сеть напряжением 220 В. Напряжение сети подается на стабилизаторы (1) и (2). Стабилизированное напряжение поступает на компенсирующие трансформаторы (3) и (4).

Полученное напряжение (около 36 В) подается на нагреватели (11) и (12). Внутренний цилиндр в течение 2 минут равномерно подогревается до некоторой избыточной температуры, превышающей температуру внешнего цилиндра на 2,5°C с помощью лабораторных трансформаторов 3 и 6.

Затем подогреватель выключается и происходит охлаждение внутреннего цилиндра. При этом скорость охлаждения измерительного и компенсационного цилиндров до вступления в регулярный режим бытия почти одинаковой. В регулярном режиме компенсационный цилиндр охлаждается быстрее, так как он связан с верхним уплотняющим кольцом, вследствие чего возникает разность температур компенсационного и измерительного цилиндров. Для того, чтобы устранить разность температур между цилиндрами, в сеть включали нагреватель (12) компенсационного цилиндра, температуру которого регулировали магнитным сопротивлением (17). Разность температур контролировали дифференциальной термопарой (13) компенсационного цилиндра и с помощью гальванометра (16) М 195/1. Световой указатель гальванометра (16) во время опыта должен находиться на нулевой отметке.

Время прохождения светового указателя по шкале гальванометра (15), к которому подключена трехспайная дифференциальная термопара (14), фиксировалось только между двумя определенными значениями шкалы.

В целях уточнения соответствия измеряемого участка регулярного тепловому режиму процесса охлаждения был построен полулогарифмический график темпа охлаждения по всей шкале гальванометра [11].

Время охлаждения измерялось двухстрелочными секундомерами С-11–16 с ценой деления 0,1 с.

На участке регулярного режима, найденном таким образом, выделялись три отрезка, соответствующие разным значениям перепадов температур в слое исследуемой жидкости. Темп охлаждения определялся для каждого отрезка отдельно. Таким образом были получены три экспериментальные точки.

Для каждого режима состояния проведены два или три опыта.

4.5. Расчетное уравнение для цилиндрического бикалориметра

При выводе уравнения бикалориметра рассматривается система, состоящая из двух коаксиально расположенных цилиндров. Зазор между ними заполняется исследуемым веществом. Температура окружающей среды, роль которой выполняет внешний цилиндр, остается постоянной. Происходит самопроизвольное охлаждение внутреннего цилиндра и окружающего его исследуемого вещества [18].

Для такой системы приняты следующие допущения: тепло передается через слой исследуемого вещества только теплопроводностью; во время эксперимента отсутствовали внутренние источники тепла; коэффициент теплопроводности материала внутреннего цилиндра во много раз больше коэффициента теплопроводности исследуемого вещества, следовательно, распределение температуры во внутреннем цилиндре равномерное; теплоемкость внутреннего цилиндра во много раз больше теплоемкости исследуемого вещества; температура внешней поверхности исследуемого вещества равна температуре среды, а температура внутренней поверхности исследуемого вещества — температуре внутреннего цилиндра; теплофизические коэффициенты системы принимаются постоянными.

В процессе охлаждения внутреннего цилиндра бикалориметра тепло передается через исследуемое вещество к внешнему цилиндру.

Количество этого тепла выражается:

$$Q_M = C_M \Delta t, \quad (4.9)$$

разность температур, на которую охлаждается внутренний цилиндр; C_M — обобщенная теплоемкость внутреннего цилиндра; Q_M — количество тепла по закону Фурье для цилиндрической поверхности можно написать:

$$Q_M = \frac{\lambda F \Delta T \Delta \tau}{R_1 \ln \frac{R_2}{R_1}}, \quad (4.10)$$

разность температур между теплообменивающимися поверхностями, согласно принятым допущениям, равная $\Delta T = t - t_0$; t — температура внутреннего цилиндра бикалориметра; t_0 — температура внешнего цилиндра бикалориметра; R_1 — внешний радиус внутреннего цилиндра (внутренний радиус слоя исследуемого вещества); R_2 — внешний радиус внешнего цилиндра (внешний радиус слоя исследуемого вещества); F — боковая поверхность внутреннего цилиндра; $\Delta \tau$ — время охлаждения внутреннего цилиндра на ΔT .

В установившемся регулярном тепловом режиме температура системы изменяется по экспоненциальному закону, следовательно, разность температур является функцией времени, т. е. $\Delta T = f(\tau)$

$$\Delta T = \frac{1}{\Delta \tau} \int_{t_0}^{t_1} \Delta T_\tau d\tau.$$

В регулярном тепловом режиме

$$\Delta T_\tau = \Delta T_0 e^{-m\tau}.$$

После интегрирования получим

$$\Delta T = \frac{1}{\Delta \tau} \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{m} = \frac{\Delta t}{\Delta \tau \cdot m}, \quad (4.11)$$

где ΔT_1 — разность температур в слое в начальный момент времени, т. е. $\Delta T_1 = \Delta T_0$.

$$\Delta T_1 = t_1 - t_0; \Delta T_2 = t_2 - t_0,$$

соответственно температуры внутреннего цилиндра в начале и в конце процесса охлаждения, равные температуре на поверхности исследуемого слоя; m — темп охлаждения, согласно уравнению (4.4), равный

$$m = \frac{\ln \Delta T_1 - \ln \Delta T_2}{\Delta \tau}. \quad (4.12)$$

Рассматривая уравнения (4.9), (4.10), (4.11), получим расчетное значение коэффициента теплопроводности:

$$\lambda = \frac{C_M R_1 \ln \frac{R_2}{R_1} m}{F}. \quad (4.13)$$

При расчете значений коэффициентов теплопроводности из результатов опыта по уравнению (4.13) необходимо внести ряд поправок.

Поправка на теплоемкость слоя исследуемого вещества. Уравнение (4.12) не учитывает потери тепла слоем исследуемого вещества во время охлаждения внутреннего цилиндра. В действительности, в процессе охлаждения внутреннего цилиндра также по экспоненциальному закону уменьшается температура слоя исследуемого вещества. Следовательно, нужно учитывать тепло, отдаваемое слоем исследуемого вещества внешнему цилиндру во время опыта. Общее количество тепла за время измерения выражается формулой

$$Q = Q_M + q,$$

где q — тепло, отдаваемое слоем исследуемого вещества.

Для определения q интегрируем по всему объему исследуемого вещества количество тепла, отданное элементом этого объема, после чего получим

$$q = C_{\text{сл}} (t_{\text{ср}1} - t_{\text{ср}2}) \quad (4.14)$$

где $C_{\text{сл}}$ — общая теплоемкость слоя; $t_{\text{ср}1}$ и $t_{\text{ср}2}$ — средние объемные температуры в слое исследуемого вещества в момент времени 1 и 2 соответственно.

Средние объемные температуры для неограниченного цилиндрического слоя определяются: в момент времени 1:

$$t - p_{11} = t_1 - \Delta T_1 \left(\frac{R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} - \frac{1}{2 \ln R_2 / R_1} \right),$$

и в момент времени 2:

$$t - p_{12} = t_2 - \Delta T_2 \left(\frac{R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} - \frac{1}{2 \ln \frac{R_2}{R_1}} \right).$$

Разность средних по объему температур даст изменение температуры, на которое охладится слой исследуемого вещества за время измерения Δt :

$$\Delta t - p_t = t - p_{11} - t - p_{12} = (t_1 - t_2) \left[1 + \frac{1}{2 \ln \frac{R_2}{R_1}} - \frac{R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \right]$$

и введением алгебраических преобразований:

$$\Delta t - p_\tau = \frac{1}{2} \Delta t \left(\frac{1}{\ln \frac{R_2}{R_1}} - \frac{2R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \right). \quad (4.15)$$

Рассмотрим уравнения (4.14) и (4.15), получим

$$q = \frac{1}{2} C_{ca} \Delta t \left(\frac{1}{\ln \frac{R_2}{R_1}} - \frac{2R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \right).$$

В расчет тепла, отдаваемого слоем исследуемого вещества, уравнение для определения коэффициентов теплопроводности по данным опыта будет иметь вид:

$$\lambda = \frac{R_1 \ln \frac{R_2}{R_1} m}{F} \left[C_M + \frac{1}{2} C_{ca} \left(\frac{1}{\ln \frac{R_2}{R_1}} - \frac{2R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \right) \right]. \quad (4.16)$$

Поправки на расположение спаяв дифференциальной термопары. Спай дифференциальной термопары расположены не на поверхностях слоя исследуемого вещества, а на некотором расстоянии от этих поверхностей. Естественно, что фиксируемая при измерениях разность температур $t_2 - t_1$ включает, помимо перепада температур в исследуемом слое $t_2 - t_1$, также и перепады температур в стенках цилиндров $t_0 - t_1$ и $t_2 - t_3$. Таким образом происходит передача тепла через многослойную цилиндрическую стенку:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{2\pi l \Delta T \Delta \tau}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{R_1}{R_0} + \frac{1}{\lambda} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{R_3}{R_2}} = \\ &= \frac{\lambda F \Delta T \Delta \tau}{R_1 \ln \frac{R_2}{R_1} \left[1 + \frac{\lambda}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \left(\frac{\ln R_1 / R_0}{\lambda_1} + \frac{\ln R_3 / R_2}{\lambda_2} \right) \right]}. \end{aligned}$$

Обозначая $\frac{R_1}{R_2 - R_1} \ln \frac{R_2}{R_1}$ через K_{II} , из уравнений (4.13), (4.14) (4.11) получим:

$$\lambda = \frac{K_{II} m (R_2 - R_1)}{F} \left[C_M + \frac{1}{2} C_{сн} \left(\frac{1}{\ln \frac{R_2}{R_1}} - \frac{2R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \right) \right] \times$$

$$\times \left[1 + \frac{\lambda}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \left(\frac{\ln \frac{R_1}{R_0}}{\lambda_1} - \frac{\ln \frac{R_1}{R_2}}{\lambda_2} \right) \right]. \quad (4.12)$$

Согласно принятому допущению о равномерности распределения температуры во внутреннем цилиндре, второй член в фигурных скобках уравнения (4.12) мал по сравнению с единицей и поэтому с некоторым приближением можно написать:

$$\lambda = \frac{K_{II} m (R_2 - R_1)}{F} \left[C_M + \frac{1}{2} C_{сн} \left(\frac{1}{\ln \frac{R_2}{R_1}} - \frac{2R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \right) \right] \times$$

$$\times \left[1 + \frac{K_{II} m (R_2 - R_1) \left[C_M + \frac{1}{2} C_{сн} \left(\frac{1}{\ln \frac{R_2}{R_1}} - \frac{2R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \right) \right]}{F \ln \frac{R_1}{R_2}} \left(\frac{\ln \frac{R_1}{R_0}}{\lambda_1} - \frac{\ln \frac{R_1}{R_2}}{\lambda_2} \right) \right], \quad (4.13)$$

где R_0 и R_2 — расстояние спаев дифференциальной термопары от оси внутреннего цилиндра; λ_1 и λ_2 — теплопроводность внутреннего и внешнего цилиндров соответственно.

Величина поправки на расположение спаев дифференциальной термопары снижается в результате уменьшения расстояния между спаями дифференциальной термопары и поверхности слоя исследуемого вещества, а также применения высокопроводимых материалов для изготовления бикалориметра.

Эта поправка является незначительной вследствие того, что перепад температур в металлической стенке при исследовании газов и жидкостей в 100 и более раз меньше разности температур в слое исследуемого вещества.

Поправка на нагрев внешнего цилиндра. При охлаждении внутреннего цилиндра одновременно нагревается внешний. Формула (4.13) для определения коэффициента теплопроводности из данных опыта выведена на основании того, что остается постоянной температура окружающей среды (температура цилиндра). В связи с этим необходимо учитывать поправку на нагрев внешнего цилиндра. Так как бикалориметр снаружи теплоизолирован, то при охлаждении и нагревании цилиндров количество тепла в нем остается постоянным. При таких условиях отношение температуры охлаждения внутреннего цилиндра Δt_1 к температуре нагрева внешнего цилиндра Δt_2 определяется следующим соотношением:

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{C_{\text{внутр.л}}}{C_{\text{внеш.л}}},$$

где $C_{\text{внутр.л}}$ и $C_{\text{внеш.л}}$ — общая теплоемкость внутреннего и внешнего цилиндра соответственно.

Нагрев внешнего цилиндра сопровождается увеличением абсолютной величины темпа охлаждения, вследствие ускорения процесса выравнивания температурного поля. Тогда в расчетное уравнение теплопроводности (4.18) следует подставить значения темпа охлаждения в виде

$$m = \frac{\ln \Delta T_1 - \ln(\Delta T_2 + \Delta)}{\Delta \tau}, \quad (4.19)$$

$$\Delta = (\Delta T_1 - \Delta T_2) \frac{C_{\text{внутр.л}}}{C_{\text{внеш.л}}}.$$

Подставляя уравнения (4.12) и (4.19), получим

$$m = m_{\text{изм}} \frac{\ln \Delta T_1 - \ln [\Delta T_2 + (\Delta T_1 - \Delta T_2) \frac{C_{\text{внутр.л}}}{C_{\text{внеш.л}}}] \frac{C_{\text{внутр.л}}}{C_{\text{внеш.л}}}}{\ln \Delta T_1 - \ln \Delta T_2}, \quad (4.20)$$

где $m_{\text{изм}}$ — измеряемый темп охлаждения.

При условии, что $C_{\text{внутр.л}}/C_{\text{внеш.л}} > 100$, эта поправка невелика по абсолютной величине.

Поправки на изменение геометрических размеров бикалориметра с температурой. Геометрические размеры прибора зависят от температу-

ры опыта. С изменением температуры опыта изменяются и геометрические размеры R_1 , $R_2 - R_1$ и F . Следовательно, в расчетное уравнение теплопроводности необходимо внести поправку:

$$\frac{R_2 - R_1}{F} = \frac{(R_2 - R_1)_{20} (1 + \alpha \Delta t_k)}{F_{20} (1 + \alpha \Delta t_k)^2} = \frac{(R_2 - R_1)_{20}}{F_{20} [1 + \alpha (t_{\text{оп}} - 20)]}, \quad (4.11)$$

где $\Delta t_k = t_{\text{оп}} - 20$, $t_{\text{оп}}$ — температура опыта; 20°C — температура, при которой производится измерение размеров бикалориметра; α — коэффициент линейного расширения материала, из которого изготовлены внутренний и внешний цилиндры.

При давлениях выше 50 мН/м^2 целесообразно вводить также поправку на изменение размеров зазора между цилиндрами.

Поправка на передачу тепла излучением. При расчете коэффициентов теплопроводности из данных опыта следует учитывать передачу тепла путем излучения от внутреннего цилиндра к наружному через исследуемое вещество, т. е. необходимо вносить поправку и в

$$\lambda_{\text{луч}} = \alpha_{\text{луч}} (R_2 - R_1),$$

где $\lambda_{\text{луч}}$ — лучистая теплопроводность; $\alpha_{\text{луч}}$ — коэффициент теплопередачи излучением.

$$\alpha_{\text{луч}} = \frac{1,163}{25} C_{1,2} \left(\frac{T_2}{100} \right)^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}. \quad (4.12)$$

Уравнение (4.22) получается при совместном рассмотрении уравнений Стефана-Больцмана и Ньютона.

Для уменьшения поправки на излучение поверхности, ограничивающие слой исследуемого вещества, тщательно шлифуются, полируются, никелируются.

Расчетное уравнение, с учетом всех поправок, принимает вид

$$\lambda = \frac{K_u m (R_2 - R_1) \left[C_M + \frac{1}{2} C_{\text{ср}} \left(\frac{1}{\ln R_2/R_1} - \frac{2R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \right) \right]}{F (1 + \alpha \Delta t)} \times \\ \times \left[1 + \frac{K_u m (R_2 - R_1) \left[C_M + \frac{1}{2} C_{\text{ср}} \left(\frac{1}{\ln R_2/R_1} - \frac{2R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \right) \right] \left(\frac{\ln \frac{R_1}{R_0} + \ln \frac{R_1}{R_2}}{\ln R_2/R_1} \right)}{F (1 + \alpha \Delta t) \lambda_1} \right]. \quad (4.23)$$

Поправка на эксцентриситет. При смещении оси коаксиальных цилиндров на некоторый эксцентриситет следует внести поправку, учитывающую этот эксцентриситет:

$$\lambda' = \lambda_{\text{изм}} \frac{\sqrt{(R_2 + R_1)^2 - b^2} + \sqrt{(R_2 - R_1)^2 - b^2}}{\sqrt{(R_2 + R_1)^2 - b^2} - \sqrt{(R_2 - R_1)^2 - b^2}} \ln \frac{R_2}{R_1},$$

и измеренная теплопроводность исследуемого вещества.

В расчетах погрешность вследствие эксцентриситета, в измеренных коэффициентах теплопроводности меньше, чем погрешность от поправки на эксцентриситет нами не учитывалась.

В эксперименте, переданного теплопроводностью через поверхность нижнего внутреннего цилиндра. Внутренний цилиндр имеет только один внутренний цилиндр, который исключает потери тепла через торцевой торец. Часть тепла передается через нижнюю торцевую поверхность. Толщина плоского слоя исследуемого вещества, соприкасающегося с нижним торцом внутреннего цилиндра, равна толщине зазора между цилиндрами. Из-за небольшой толщины плоского слоя его можно рассматривать как цилиндрический, тогда общая длина измеренного цилиндра будет:

$$l_{\text{общ}} = l_{\text{изм.ц}} + l_{\text{экв}},$$

$$\frac{l_{\text{экв}}}{2\pi R_1} = \frac{\pi R_1^2}{2\pi R_1} = \frac{R_1}{2}.$$

В процессе конвективного теплообмена в слое исследуемого вещества. В экспериментальном исследовании теплопроводности жидкостей необходимо обращать внимание на свободную конвекцию, которая возникает разностью температур между отдельными частицами исследуемого вещества. Конструкция, геометрические размеры и температурный режим во время опыта следует выбирать так, чтобы исключить конвективный теплообмен во всем интервале температур измерений. Условия возникновения конвективного теплообмена зависят от произведения критериев Грасгофа и Прандтля:

$$C_r = \frac{\beta \rho^2 \Delta T \delta^3}{\eta^2}; \quad m_r = \frac{\eta C_p}{\lambda},$$

где δ — толщина слоя исследуемого вещества; ρ — плотность исследуемого вещества; β — коэффициент объемного расширения исследуемого вещества; ΔT — перепад температуры в слое исследуемого вещества; C_p — удельная теплоемкость исследуемого вещества; η , λ — коэффициенты вязкости и теплопроводности исследуемого вещества.

В эксперименте исследователи при определении порога наступления естественной конвекции в жидких слоях дают различные значения произведе-

дения $C_t P_t$. Так, Шингарев [46] показывает, что в цилиндрических узких зазорах конвекция наступает при $C_t P_t \geq 2500$. Позднее Варгафтик [47], проводя исследование теплопроводности методом нагретой нити, определяет порог наступления конвекции при низких значениях произведения $C_t P_t \geq 1700$. Систематические исследования по изучению возникновения конвекции в зависимости от конструкции измерительных устройств проводились под руководством Расторгуева [2]. Установлено, что порог возникновения естественной конвекции в исследованиях теплопроводности по методу нагретой нити наступает при более низких значениях произведения $C_t P_t$, чем при методе коаксиальных цилиндров, — при $C_t P_t \geq 1700$.

Таким образом, на основании вышеприведенных работ, граница возникновения конвективного теплообмена в узких зазорах достаточно широкая. Поэтому для получения надежных данных по теплопроводности исследуемых веществ необходимо провести опыты в интервале находящегося на достаточном расстоянии от границы возникновения конвективного теплообмена. В наших опытах установили, что при произведении $C_t P_t \geq 1000$. Исходя из этого условия, можно находить минимальную величину слоя исследуемого вещества:

$$\delta = 10 \sqrt{\frac{\eta \lambda}{\beta \rho^2 \Delta T C_p}}.$$

В наших экспериментах величина зазора не превышала 0,986 мм. Полученные нами значения $C_t P_t$ для подавляющего большинства экспериментальных точек были меньше 1000.

Следующим доказательством отсутствия конвекции во время опытов является получение одинаковых величин теплопроводности при проведении измерения с различными значениями разностей температур в слое исследуемого вещества.

Поправка на температурный скачок. При низких давлениях (ниже атмосферного), когда длина свободного пробега молекул исследуемого газа становится соизмеримой с величиной зазора, заполненного газом, следует учитывать температурный скачок на границе твердого тела и газа.

При ударе молекул о горячую и холодную стенки не происходит полной передачи энергии от стенки к молекулам в первом случае и от молекул к стенке — во втором. Вследствие чего разность температур между поверхностями цилиндров больше действительной разности температур.

Поправка на температурный скачок прямо пропорциональна свойству исследуемого газа, материалу прибора и температуре опыта и вы-

на коэффициенту пропорциональна величине зазора между теплообменивающими поверхностями и давлению опыта.

При высоком давлении поправка на температурный скачок мала. При этом эта поправка не учитывалась, так как в наших исследованиях измерение теплопроводности проводилось при атмосферном давлении и выше.

4.6. Экспериментальные значения коэффициента теплопроводности углеводородов и газовых конденсатов

В настоящее время имеются надежные данные по величинам коэффициента теплопроводности парафиновых, олефиновых, ароматических и нефтяных углеводородов, входящих в состав газовых конденсатов. Обзор и анализ существующих работ по исследованию теплопроводности перечисленных углеводородов с указанием методов измерения, интервала температуры и давления и погрешности измерения подробно изложены в [1–3, 7, 8, 51–54].

Теплопроводность газовых конденсатов впервые в СССР была исследована в МИНХиГП им. И. М. Губкина [9]. Эта же группа исследований продолжила изучение теплофизических свойств газовых конденсатов в ООО «Подземгазпром» (ВНИИПромгаз). В дальнейшем теплопроводность газовых конденсатов исследовали в Краснодарском политехническом институте, Грозненском нефтяном институте, Ташкентском автомобильном институте.

Ниже приведен перечень работ по экспериментальному определению теплопроводности углеводородов и газовых конденсатов (численные значения теплопроводности представлены в разделах 4.9–4.13) с указанием интервалов исследований по температуре и давлению, метода измерения и авторы.

4.7. Температурная зависимость теплопроводности углеводородов и газовых конденсатов

На рис. 4.6 и 4.7 приводятся температурные зависимости коэффициента теплопроводности паров парафиновых и олефиновых углеводородов.

Из рисунков видно, что с увеличением температуры коэффициент теплопроводности паров углеводородов возрастает. При этом с увели-

**Перечень экспериментальных работ по определению
теплопроводности углеводородов газовых конденсатов, данные
которых использованы для составления таблиц разделов 4.9-4.11**

Вещество	Авторы исследования	Методы измерения	Диапазон исследования		Литературные источники
			T, К	P, МПа	
1	2	3	4	5	6
Этан	Тиракьян	Регулярный режим	190-530	0,1-50	[16]
Пропан	Казарян	Регулярный режим	180-570	0,1-50	[1, 88]
<i>n</i> -Бутан	Казарян	Регулярный режим	190-570	0,1-50	[1, 88]
<i>i</i> -Бутан	Казарян	Регулярный режим	190-570	0,1-50	[1, 88]
<i>n</i> -Пентан	Богатов	Нагретая нить	300-450	0,1-50	[53]
<i>n</i> -Гексан	Голубев, Назиев	Регулярный режим	270-630	0,1-50	[4]
<i>n</i> -Гептан	Голубев, Назиев	Регулярный режим	270-630	0,1-50	[4]
<i>n</i> -Октан	Голубев, Назиев	Регулярный режим	270-630	0,1-50	[4]
2-, 2-, 4-Три-метилпентан (изооктан)	Богатов	Нагретая нить	300-450	0,1-50	[53]
<i>n</i> -Нонан	Мустафаяв	Монотонный нагрев	300-670	0,1-50	[8]
<i>n</i> -Декан	Мустафаяв	Монотонный нагрев	300-670	0,1-50	[8]
<i>n</i> -Ундекан	Мустафаяв	Монотонный нагрев	300-670	0,1-50	[8]
<i>n</i> -Додекан	Мустафаяв	Монотонный нагрев	300-670	0,1-50	[8]
<i>n</i> -Тридекан	Мустафаяв	Монотонный нагрев	300-670	0,1-50	[8]
<i>n</i> -Тетрадекан	Мустафаяв	Монотонный нагрев	300-670	0,1-50	[8]
<i>n</i> -Пентадекан	Мустафаяв	Монотонный нагрев	300-670	0,1-50	[8]
<i>n</i> -Гексадекан	Мустафаяв	Монотонный нагрев	300-670	0,1-50	[8]
<i>n</i> -Гептадекан	Мустафаяв	Монотонный нагрев	300-670	0,1-50	[8]
<i>n</i> -Октадекан	Мустафаяв	Монотонный нагрев	320-670	0,1-50	[8]
<i>n</i> -Нонадекан	Мустафаяв	Монотонный нагрев	320-670	0,1-50	[8]
<i>n</i> -Эйкозан	Богатов	Нагретая нить	330-460	0,1-50	[53]

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
Автомат	Богатов	Нагретая нить	330-460	0,1-50	[53]
Автомат	Богатов	Нагретая нить	340-460	0,1-50	[53]
Автомат	Богатов	Нагретая нить	330-460	0,1-50	[53]
Автомат	Богатов	Нагретая нить	350-460	0,1-50	[53]
А. 1. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.	Богатов	Нагретая нить	300-460	0,1-50	[53]
Автомат	Нелужий, Коломиец	Регулярный режим	180-45	0,1-200	[87]
Автомат	Кашарин	Регулярный режим	180-570	0,1-50	[1, 68]
Автомат	Кашарин	Регулярный режим	180-570	0,1-50	[1, 68]
Автомат	Абасов	Регулярный режим	270-620	0,1-50	[52]
Автомат	Абасов	Регулярный режим	270-620	0,1-50	[52]
Автомат	Мустафаев	Монотонный нагрев	300-670	0,1-50	[8]
Автомат	Мустафаев	Монотонный нагрев	300-670	0,1-50	[8]
Автомат	Мустафаев	Монотонный нагрев	300-670	0,1-50	[8]
Автомат	Мустафаев	Монотонный нагрев	300-670	0,1-50	[8]
Автомат	Мустафаев	Монотонный нагрев	300-670	0,1-50	[8]
Автомат	Мустафаев	Монотонный нагрев	300-670	0,1-50	[8]
Автомат	Мустафаев	Монотонный нагрев	300-670	0,1-50	[8]
Автомат	Мустафаев	Монотонный нагрев	300-670	0,1-50	[8]
Автомат	Ахундов, Мустафаев	Нагретая нить. Монотонный нагрев	300-700	0,1-30 0,1-100	[7] [8]
Автомат	Ахундов, Мустафаев	Нагретая нить. Монотонный нагрев	300-700	0,1-30 0,1-100	[7] [8]
Автомат	Ахундов, Мустафаев	Нагретая нить. Монотонный нагрев	300-700	0,1-30 0,1-100	[7] [8]

1	2	3	4	5	6
м-Ксилол	Ахундов, Мустафаев	Нагретая нить. Монотонный нагрев	300–700	0,1–30 0,1–100	11
п-Ксилол	Ахундов, Мустафаев	Нагретая нить. Монотонный нагрев	300–700	0,1–30 0,1–100	12
Этилбензол	Ахундов, Мустафаев	Нагретая нить. Монотонный нагрев	300–700	0,1–30 0,1–100	13
Кумол	Мустафаев	Монотонный нагрев	300–670	0,1–100	14
Хлорбензол	Мустафаев	Монотонный нагрев	300–670	0,1–100	15
Бромбензол	Мустафаев	Монотонный нагрев	300–670	0,1–100	16
Циклопентан	Григорьев	Нагретая нить	300–450	0,1–100	17
Циклогексан	Григорьев	Нагретая нить	300–450	0,1–100	18
Этилциклогексан	Григорьев	Нагретая нить	300–450	0,1–150	19
1,2-Диметилцикло- гексан	Григорьев	Нагретая нить	300–430	0,1–150	20
1,3-Диметилцикло- гексан	Григорьев	Нагретая нить	300–450	0,1–150	21
1,4-Диметилцикло- гексан	Григорьев	Нагретая нить	300–450	0,1–150	22
Газовый конденсат Астраханского месторождения	Казарян	Регулярный режим	270–470	0,1–60	23
Газовый конденсат Совхозного месторождения	Казарян	Регулярный режим	220–400	0,1–50	24
Газовый конденсат Харасавэйского месторождения	Казарян	Регулярный режим	220–470	0,1–60	25
Газовый конденсат Ямбургского месторождения	Казарян	Регулярный режим	270–470	0,1–60	26
Газовый конденсат Харасавэйского месторождения	Казарян	Регулярный режим	230–310	0,1–50	27
Газовый конденсат Ленинградского месторождения	Казарян	Регулярный режим	230–310	0,1–50	28
Газовый конденсат Вуктыльского месторождения	Казарян	Регулярный режим	220–470	0,1–60	29
Фракция н.к. – 60°C конденсата Вуктыльского месторождения	Казарян	Регулярный режим	220–470	0,1–60	30

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		
Казарян	Регулярный режим	220—470	0,1—60		

1	2	3	4	5	6
Газовый конденсат Солоховского месторождения	Рудаков, Демичев	Нагретая нить	270–470	0,1–98	[10]
Газовый конденсат месторождения Шатлык	Махмудов, Шубин	Монотонный нагрев	310–530	0,1–40	[10]
Газовый конденсат месторождения Шахнахты	Махмудов, Шубин	Монотонный нагрев	310–530	0,1–40	[10]
Газовый конденсат месторождения Гулуртли	Махмудов, Шубин	Монотонный нагрев	310–530	0,1–40	[10]
Газовый конденсат месторождения Северный Мубарех	Махмудов, Шубин	Монотонный нагрев	310–530	0,1–40	[10]
Газовый конденсат месторождения Нанп	Махмудов, Шубин	Монотонный нагрев	310–530	0,1–40	[10]
Газовый конденсат месторождения Ачак	Махмудов, Шубин	Монотонный нагрев	310–530	0,1–40	[10]
Газовый конденсат месторождения Газли	Махмудов, Шубин	Монотонный нагрев	310–530	0,1–40	[10]
Газовый конденсат месторождения Учкыр	Махмудов, Шубин	Монотонный нагрев	310–530	0,1–40	[10]
Газовый конденсат месторождения Харьковцы	Казарян	Регулярный режим	270–470	0,1–60	[10]

чением молекулярной массы зависимость коэффициента теплопроводности от температуры становится более заметной.

По мере возрастания молекулярной массы, т. е. при переходе от одного члена гомологического ряда к другому, закономерно уменьшается коэффициент теплопроводности. Эту закономерность отчетливо видно из рис. 4.8 [8], на котором представлены значения коэффициента теплопроводности газообразных парафинов при фиксированной температуре $t = 250^\circ\text{C}$. Аналогичная зависимость имеет место и для олефиновых углеводородов.

На рис. 4.9 и 4.10 представлены температурные зависимости коэффициента теплопроводности парафиновых и олефиновых углеводородов в жидком состоянии при атмосферном давлении. Из рисунков видно, что коэффициент теплопроводности всех членов гомологических рядов предельных и непредельных углеводородов с повышением температуры уменьшается, и эта зависимость носит почти линейный характер. С увеличением молекулярной массы коэффициент теплопроводности возрастает (рис. 4.11 [8]).

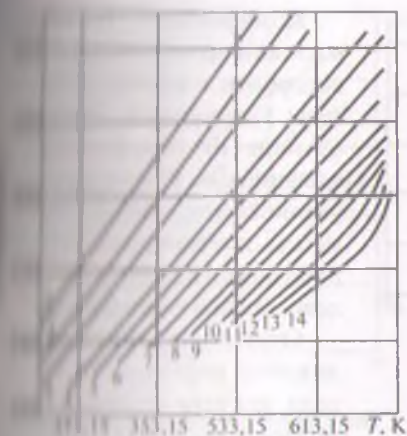


Рис. 4.6. Температурная зависимость коэффициента теплопроводности паров парафиновых углеводородов: 1 — этан; 2 — пропан; 3 — н-бутан; 4 — н-гексан; 5 — н-гептан; 6 — н-октан; 7 — н-нонан; 8 — н-декан; 9 — н-ундексан; 10 — н-додекан; 11 — н-тридекан; 12 — н-тетрадекан; 13 — н-пентадекан; 14 — н-гексадекан

На рис. 4.12 [51] приведена кривая изменения производной теплопроводности по температуре $\partial\lambda/\partial t$ в зависимости от числа атомов углерода в молекуле нормальных парафинов.

Как видно из рисунка, зависимость теплопроводности от температуры для различных предельных углеводородов неодинакова. Наиболее резко изменение $\lambda = f(t)$ наблюдается у низших членов гомологического ряда. Если для углеводородов, начиная с пропана до н-декана, значение $\partial\lambda/\partial t$ уменьшается в 2,7 раза, то дальнейшее увеличение числа атомов углерода в молекуле оказывает существенно меньшее влияние на величину $\partial\lambda/\partial t$.

Аналогичная картина наблюдается и для газовых конденсатов и их фракций. С увеличением температуры коэффициент теплопроводности уменьшается и возрастает с увеличением молекулярной массы.

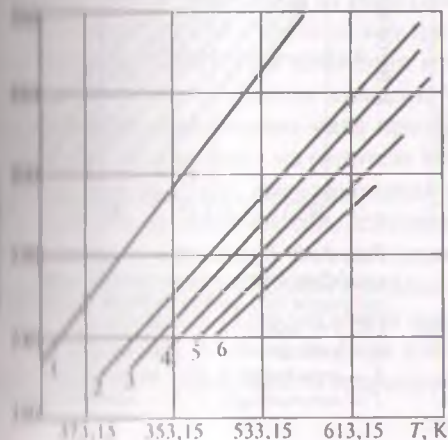


Рис. 4.7. Температурная зависимость коэффициента теплопроводности паров олефиновых углеводородов: 1 — пропилен; 2 — гептен; 3 — октен-1; 4 — нонен-1; 5 — децен-1; 6 — ундецен-1



Рис. 4.8. Зависимость коэффициента теплопроводности *n*-парафинов от молекулярной массы при $T = 523 \text{ K}$ [8]

томных газов и жидкостей и их смесей приводит к необходимости задания различных эмпирических и полуэмпирических зависимостей. Несмотря на обилие эмпирических формул для определения температурной зависимости коэффициента теплопроводности при атмосферном давлении большинство из них или имеют ограниченное применение, или являются весьма приближенными и вычисления по ним дают большие отклонения от истинных значений.

Ниже дается анализ существующих формул по определению коэффициента теплопроводности для углеводородов в газообразном и жидком

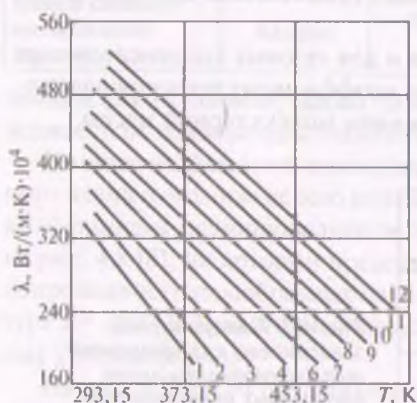


Рис. 4.9. Температурная зависимость коэффициента теплопроводности *n*-парафинов при атмосферном давлении [8]: 1 — *n*-нонан; 2 — *n*-декан; 3 — *n*-ундекан; 4 — *n*-додекан; 5 — *n*-тридекан; 6 — *n*-тетрадекан; 7 — *n*-пентадекан; 8 — *n*-гексадекан; 9 — *n*-гептадекан; 10 — *n*-октадекан; 11 — *n*-нонадекан

Кoeffициент теплопроводности ароматических углеводородов с ростом температуры уменьшается. Однако в отличие от парафиновых и олефиновых углеводородов с увеличением молекулярной массы коэффициент теплопроводности ароматических углеводородов уменьшается.

Отсутствие достаточно надежного аналитического метода расчета коэффициента теплопроводности многих

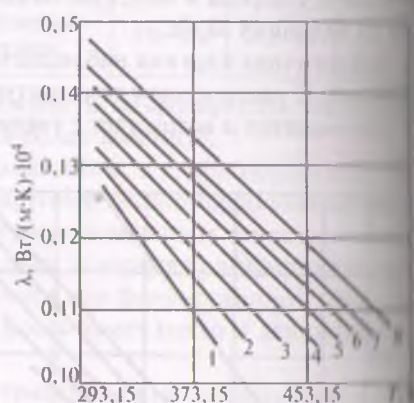


Рис. 4.10. Температурная зависимость коэффициента теплопроводности олефинов при атмосферном давлении [8]: 1 — *нолен-1*; 2 — *децен-1*; 3 — *ундецен-1*; 4 — *додецен-1*; 5 — *тридецен-1*; 6 — *тетрадецен-1*; 7 — *пентадецен-1*; 8 — *гептадецен-1*

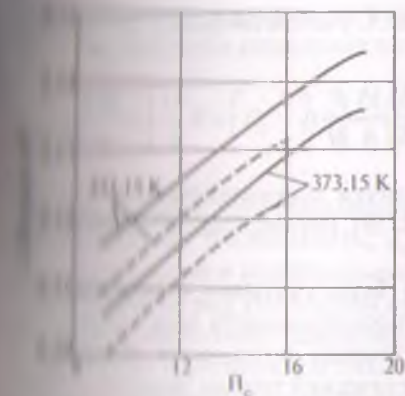


Рис. 4.11. Зависимость коэффициента теплопроводности нормальных парафинов (сплошная линия) и олефинов (пунктирная линия) от числа атомов в молекуле [8]

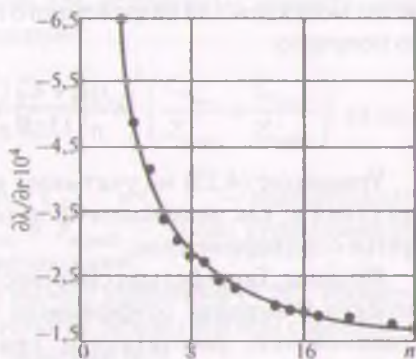


Рис. 4.12. Зависимость производной теплопроводности по температуре от числа атомов углерода в молекуле нормальных парафинов [51]

однокомпонентных и многокомпонентных жидких смесей (газовые конденсаты и их фракций) при атмосферном давлении и различных температурах.

Широкое развитие экспериментальных методов определения теплопроводности предшествовало развитию аналитических методов, основанных на молекулярно-кинетической теории газов. Эта теория приводит к важному соотношению, связывающему теплопроводность с вязкостью и теплоемкостью

$$\lambda = \epsilon C_v \eta, \quad (4.24)$$

где η — коэффициент теплопроводности газа; C_v — теплоемкость газа на единицу объема; η — коэффициент вязкости газов; ϵ — числовой множитель, зависящий от рода газа, давления и температуры.

Физический смысл связи между η и λ обусловлен тем, что оба явления (перенос количества движения и перенос энергии) определяются длиной свободного пробега молекул. Максвелл, считавший молекулы центрами отталкивающих сил, пришел к заключению, что $\epsilon = 2,5$. Основываясь на гипотезе Максвелла и развивая теорию теплопроводности газов, высказал предположение, что множитель ϵ должен зависеть от природы сил, действующих между молекулами.

Чепмен, основываясь на необходимости сферической симметрии, доказав, что фактор в первом приближении не зависит от природы сил, для одноатомных газов числовой множитель равен 2,5.

Эншфельдер, Картисс и Берд [58], применяя кинетическую теорию, получили зависимость теплопроводности от температуры и диа-

метра молекулы для разреженного газа. С учетом поправки Эйнсена [58] получено:

$$\lambda = \left(\frac{4 C_v}{15 R} + \frac{3}{5} \right) \frac{15 R}{4 M} \eta. \quad (4.24)$$

Уравнение (4.25) не учитывает наличия взаимодействия между молекулами и, как показывает проверка [59], неудовлетворительно согласуется с экспериментом.

Позднее Гиршфельдер, Картиес и Берд, учитывая взаимодействие молекул и выражая коэффициент теплопроводности через интеграл столкновений, рассчитанные при помощи потенциала Ленарда-Джонса, а также основываясь на кинетической теории Энскога — Чепмена [60], получили в первом приближении уравнение теплопроводности в виде:

$$\lambda = 1989,1 \frac{\sqrt{T/M}}{\sigma^2 \Omega^{(2,2)}(T^*)}, \quad (4.25)$$

где T — температура; M — молекулярная масса; σ — расстояние между молекулами, при котором энергия взаимодействия равна нулю, размерность в Е; $\Omega^{(2,2)}(T^*)$ — интеграл столкновений двух молекул, зависящих от приведенной температуры $T^* = (K/E)T$, числовое значение приводится в [61]; K — константа Больцмана; E — максимальное значение энергии притяжения, глубина потенциальной ямы.

Полученное уравнение справедливо только для одноатомных газов из-за ограниченности теории Энскога — Чепмена. Для многоатомных молекул Эйкен предложил рассмотреть отдельно потоки энергии, переносимой поступательными и внутренними степенями свободы. На основании этого допущения он получил соотношение, известное теперь как «фактор Эйкана» [8]:

$$f = \frac{\lambda M}{\eta C_v} = \frac{1}{4} \left(9 \frac{C_p}{C_v} - 5 \right). \quad (4.27)$$

Чепмен и Каулинг [60] указали две неточности при выводе формулы (4.27). Первое — следует пренебречь процессом передачи энергии от внутренних степеней свободы к поступательным и учесть вращательные и некоторые виды колебательных степеней свободы. Второе — коэффициент переноса внутренних степеней свободы $D_{\text{вн}}$ не обязательно равен коэффициенту самодиффузии D_{11} .

Для определения фактора Эйкана Мезон и Мончик, используя формуальную кинетическую теорию многоатомных газов Ванг Чанга, Уэли

с учетом допущения для неполярных молекул, что получили следующее выражение:

$$\frac{\lambda M}{\eta} = \left[\frac{15}{4} R + \left(C_v - \frac{3}{2} R \right) \frac{D_{II}}{\eta} \right] - \frac{2 \left(\frac{5}{2} - \frac{\rho D_{II}}{\eta} \right)^2 \left(\frac{C_{v_{\text{вращ}}}}{Z_{\text{вращ}}} + \frac{C_{v_{\text{колеб}}}}{Z_{\text{колеб}}} \right)}{\pi \left(\frac{5}{2} - \frac{\rho D_{II}}{\eta} \right)}, \quad (4.28)$$

где коэффициент самодиффузии; $C_{v_{\text{вращ}}}$ и $C_{v_{\text{колеб}}}$ — вращательная и колебательная теплоемкость; $Z_{\text{вращ}}$ и $Z_{\text{колеб}}$ — число столкновений для вращательной и колебательной релаксации.

Несмотря на ряд упрощений при выводе уравнений (4.28), проверенная для типично удовлетворительные результаты при сравнении экспериментальных и экспериментальных значений [62].

В настоящее время отсутствуют надежные методы определения чисел столкновений для вращательной и колебательной релаксации, вследствие чего возникают трудности для использования уравнения (4.28).

Систематические исследования коэффициентов динамической вязкости и теплопроводности нормальных гомологов алканов и алкенов Мустафаевым и Мустафаевым [63, 64, 8] позволили им распространить полученные данные на сложные многоатомные молекулы.

Они предложили проводить обработку экспериментальных данных в сравнении с аналитическими расчетами в координатах фактор Эйнена — Миллера теплоемкость [65, 8], поскольку теплоемкость вещества преимущественно связана со строением молекулы, числом внутренних степеней свободы и с распределением энергии по этим степеням свободы [66]. Результаты обработки экспериментальных значений теплоемкостных свойств веществ от одноатомных и двухатомных газов до весьма сложных многоатомных молекул компактно располагаются в виде кривой, полученной расчетным путем по формуле (4.28). Это значит, что исходные предпосылки, заложенные в формуле (4.28), достаточно реалистичны.

Результаты сопоставления экспериментальных и теоретических значений фактора Эйнена для различных веществ позволили автору [8] рекомендовать следующие соотношения для вычисления f и числа столкновений Z любого неполярного вещества с погрешностью $\pm 5\%$:

$$f = \frac{\lambda M}{\eta C_v} = 1,3 + \frac{3,6}{C_v} - \frac{0,92 C_v - 2,75}{(Z + 0,53 C_v - 0,76) C_v}, \quad (4.29)$$

$$P_r = \frac{1}{f} \frac{C_p}{C_v}. \quad (4.30)$$

Миснар [57], выражая коэффициент теплопроводности газов при атмосферном давлении через его молекулярные характеристики, предложил формулу для трех и многоатомных газов при температуре 273 К:

$$10^3 \lambda_{273} = 5 \frac{T_{\text{кип}} + C_m}{273 + C_m} \left(\frac{N^{\frac{1}{3}}}{T_{\text{кип}}^{\frac{3}{4}} M^{\frac{1}{2}}} \right) S_M, \quad (4.31)$$

где $T_{\text{кип}}$ — температура кипения, К; C_m — приближенное значение постоянного Сазерленда $C_m = 90 + 70 (T_{\text{кип}}/100)^{1.75}$; N — число атомов в молекуле; M — молекулярная масса; $S_M = 1,6 - 0,02 (N - 3)$ (минимум 1,19).

Сравнение экспериментальных значений теплопроводности пяти углеводородов при температуре 273 К, рассчитанные по формуле (4.31), показало неплохое их совпадение. Так, указанная формула хорошо согласованность с экспериментальными значениями с точностью до +6%. В частности, для изобутилена экспериментальные и расчетные значения совпадают.

В своей работе Миснар приводит уравнение для расчета коэффициента теплопроводности газа в зависимости от температуры при атмосферном давлении, когда λ_{273} известно. Уравнение имеет следующий вид:

$$\lambda_T = \lambda_{273} \left(\frac{T}{273} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{273 + C_m}{T + C_m} \left[1 + \left(\frac{4}{N + 4} \right) \left[\left(\frac{T}{273} \right)^{\frac{2}{3}} - 1 \right] \frac{N - 1}{10} \right], \quad (4.32)$$

Это уравнение справедливо в диапазоне температур от 273 до 473 К для газов, молекулы которых содержат от трех до десяти атомов.

Сравнение экспериментальных значений коэффициентов теплопроводности пропилена и пропана с расчетами по формуле (4.32) показало, что они достаточно хорошо согласуются между собой. Максимальное отклонение для пропилена составляет +3,4%, среднее +2,3%, а для пропана минус 5,4% и $\pm 2,9\%$, соответственно.

Для газов, молекулы которых состоят больше, чем из 12 атомов, Миснар предлагает простую формулу зависимости теплопроводности от температуры:

$$\lambda_T = \lambda_{273} \left[1 + \left(0,55 + \frac{N}{100} \right) \frac{T - 273}{100} \right]. \quad (4.33)$$

По высказыванию автора, формула справедлива в интервале температур от 0 до 150°C.

Вычисленные значения коэффициентов теплопроводности, полученные экспериментально для изобутилена, изобутана и *n*-бутана, с расчетными значениями по формуле (4.33) показало, что они плохо согласуются между собой. Минимальное отклонение составляет для всех газов 10,7%, максимальное 12%, среднее 10,7, 11,5, 11,9%, соответственно.

Для углеводородов, молекулы которых состоят более, чем из 12 атомов, можно рекомендовать уравнение (4.34) наподобие уравнения (4.33) для расчета коэффициентов теплопроводности при атмосферном давлении и различных температурах:

$$\lambda_T = \lambda_{273} \left[1 + \left(0,28 + \frac{N}{100} \right) \frac{T - 273}{100} \right]. \quad (4.34)$$

Сравнение вычисленных значений теплопроводности изобутилена, изобутана и *n*-бутана по уравнению (4.34) хорошо согласуется с экспериментальными. Среднее отклонение составляет для изобутилена 1,0%, изобутана и *n*-бутана 1,3%. Максимальное отклонение составляет 1,8% (для *n*-бутана при температуре 293 К). Уравнение (4.34) применимо до температуры 420 К.

Часто используется простое по форме уравнение, описывающее зависимость теплопроводности от температуры при атмосферном давлении [5, 13]:

$$\lambda = \lambda_0 (T/T_0)^n, \quad (4.35)$$

где λ_0 и λ — коэффициент теплопроводности газа при температуре T_0 К и T К, соответственно; n — показатель степени, зависящий от газа.

Уравнение (4.35) справедливо в интервале температур от 273 до 420 К. Значения λ_0 и n определяются из экспериментальных данных индивидуально для каждого газа. Поэтому целесообразно подыскать такое уравнение, которое было бы единым для всех углеводородов.

Большой интерес представляет обобщение полученных экспериментальных данных на основе теории соответственных состояний. Если учесть зависимость теплопроводности от температуры будет иметь следующий вид:

$$\lambda_\tau = f(\tau), \quad (4.36)$$

где $\lambda_\tau = \lambda_T/\lambda_{T_{кр}}$ — приведенная теплопроводность; λ_T — теплопроводность газа при температуре T ; $\lambda_{T_{кр}}$ — теплопроводность газа при критической температуре; $\tau = T/T_{кр}$ — приведенная температура.

Эта зависимость была использована в [1, 52] для обобщения экспериментальных данных по коэффициенту теплопроводности этилена, пропана, *n*-бутана, изобутилена, изобутана, гексена-1, гептана-1 и октана-1. Полученные результаты представлены на рис. 4.13 и

4.14. Как видно из рисунков, опытные точки удовлетворительно укладываются на единую кривую и описываются уравнением:

$$\lambda_{\tau} = 0,9754 \tau^{1,865}, \quad (4.37)$$

для пропилена, пропана, изобутилена, изобутана и бутана (рис. 4.13);

$$\lambda_{\tau} = -0,1287 + 0,3162\tau + 0,9687\tau^2 - 0,1562\tau^3, \quad (4.38)$$

для этилена, пропилена, гексена-1, гептена-1 и октена-1 (рис. 4.14).

Экспериментальные данные по пяти углеводородам были обработаны на основании функциональной зависимости [70] в виде:

$$\frac{\lambda_{\tau}}{C_{V_{\tau}}} = f(\tau), \quad (4.39)$$

где $C_{V_{\tau}} = C_{V_T}/C_{V_{T_{кр}}}$ — приведенная теплоемкость при постоянном объеме; $C_{V_{T_{кр}}}$ — теплоемкость при критической температуре; C_{V_T} — теплоемкость при температуре T .

На рис. 4.15 приводится функциональная зависимость (4.39) для пяти углеводородов при атмосферном давлении и различных температурах. Как видно из рисунка, экспериментальные данные для всех углеводородов располагаются на одной кривой. В интервале рассмотренную нами функциональную зависимость (4.39) можно считать прямой, которая описывается уравнением вида:

$$\frac{\lambda_{\tau}}{C_{V_{\tau}}} = 0,048 + 0,952\tau. \quad (4.40)$$

При имеющихся данных $C_{V_{\tau}}$ отклонение вычисленных по уравнению (4.40) значений коэффициентов теплопроводности от экспериментальных не превышает 2%.

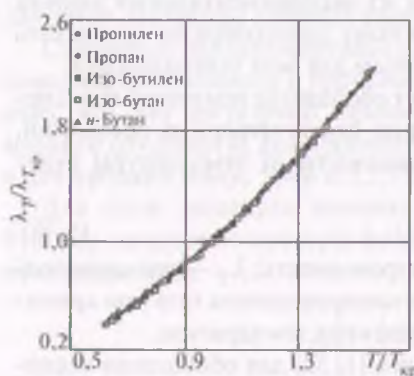


Рис. 4.13. Зависимость производной теплопроводности от приведенной температуры при атмосферном давлении для легких углеводородов

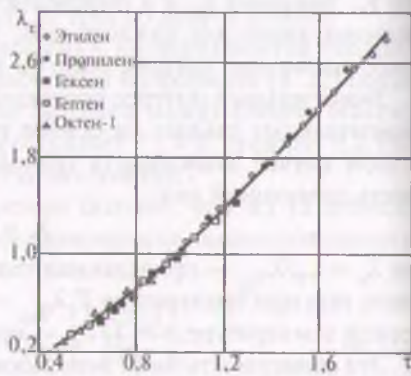


Рис. 4.14. Зависимость приведенного коэффициента теплопроводности олефиновых углеводородов от приведенной температуры [8]

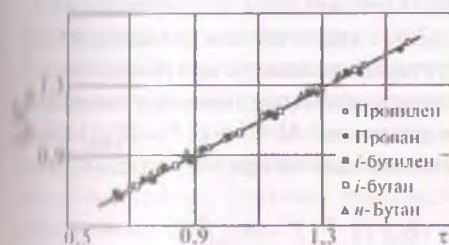


Рис. 4.15. Зависимость $\lambda/C_{v\tau}$ от τ при атмосферном давлении для легких углеводородов

температуры можно рассматривать температуру кипения при нормальном давлении, температуру плавления вещества или другую.

Для обобщения полученных результатов по коэффициенту теплопроводности газообразных парафиновых углеводородов в [50] была выбрана приведенная температура, равная $\tau = T/T_{кр} = 0,8$. В этом случае опытные точки тоже хорошо располагаются на единой кривой (рис. 4.16) и описываются уравнением:

$$\lambda/\lambda_{\tau=0,8} = -0,441 + 1,1\tau + 0,924\tau^2 - 0,0456\tau^3. \quad (4.41)$$

Отклонение экспериментальных данных от значений, рассчитанных по (4.41), не превышает 3%.

В работе [8] экспериментальные данные по 10 газообразным парафиновым углеводородам были обработаны в координатах $\lambda M^{-1/3} = f(T_{кр} - T)$, и получена обобщенная формула для вычисления коэффициента теплопроводности паров парафинов в виде

$$\lambda M^{-1/3} = 0,791 \cdot 10^{-2} - 0,274 \cdot 10^{-4}(T_{кр} - T) + 3,155 \cdot 10^{-8}(T_{кр} - T)^2. \quad (4.42)$$

Парафиновые углеводороды при температурах, близких к критической, разлагаются. Поэтому значение $T_{кр}$ для этих веществ определяют косвенно — при помощи различных эмпирических соотношений, свя-

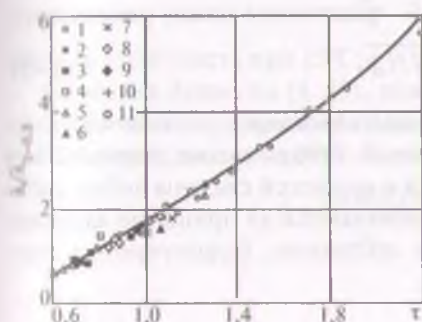


Рис. 4.16. Зависимость приведенного коэффициента теплопроводности парафиновых углеводородов от приведенной температуры [8]. 1 — этан; 2 — н-пропан; 3 — н-бутан; 4 — н-пентан; 5 — н-гексан; 6 — н-гептан; 7 — н-октан; 8 — н-тетрадекан; 9 — н-ундекан; 10 — н-гексадекан; 11 — н-октадекан

зывают критическую температуру с числом атомов углерода в молекуле [71], с температурой кипения [72], с критическим давлением [73].

Для олефинов в литературе отсутствуют данные по критической температуре. Поэтому в работе [8] экспериментальные значения теплопроводности олефинов обобщены в координатах $\lambda M^{-1/3} = f(T - T_{\text{кип}})$. Экспериментальные точки располагаются на единой кривой, описываемой уравнением:

$$\lambda M^{-1/3} = 0,408 \cdot 10^{-2} - 16,2 \cdot 10^{-4} (T - T_{\text{кип}}) + 2,94 \cdot 10^{-8} (T - T_{\text{кип}})^2. \quad (4.43)$$

Отклонение экспериментальных точек для десяти парафиновых углеводородов от *n*-гептана до *n*-кесадекана, рассчитанных по формуле (4.43), по утверждению автора, не превышает 3%.

Изучение явлений переноса в жидкостях до сих пор затруднено из-за отсутствия надежных данных о строении жидкостей. Как известно, процессу переноса количества движения соответствует явление внутреннего трения (вязкости) жидкости, процесса переноса энергии — явление теплопроводности. Вязкость различных жидкостей при комнатной температуре колеблется в очень широких пределах от $\sim 10^{-4}$ до $\sim 10^3$ Па·с, тогда как теплопроводность органических жидкостей изменяется (в зависимости от рода жидкостей) не более, чем в 5 раз [73]. Из этого можно сделать вывод, что механизмы переноса количества движения и энергии различны.

Основываясь на положениях статистической механики, некоторые исследователи показали, что для жидких смесей при постоянной температуре произведение динамического коэффициента вязкости на коэффициент теплопроводности — величина постоянная ($\lambda\eta = \text{const}$).

Большинство теоретических исследований механизма теплопроводности в жидкостях было связано с теорией Бриджмена. По Бриджмену процесс переноса энергии идет со скоростью, равной скорости распространения звука в данной жидкости, а коэффициент теплопроводности в жидкости равен:

$$\lambda = 4,04 \cdot 10^{-16} C/l^2, \quad (4.44)$$

где C — скорость звука в жидкости; l — расстояние между молекулами,

$$l = \sqrt[3]{M/N_0\rho}, \quad (4.45)$$

где M — молекулярная масса; N_0 — число Авогадро; ρ — плотность.

Существующие полуэмпирические и эмпирические формулы для расчета теплопроводности жидкостей и их смесей связаны либо с уравнением Бриджмена [5, 70], либо основываются на принципе аддитивности или теории соответственных состояний. Существуют и полностью эмпирические зависимости.

Обзор и анализ существующих уравнений по расчету теплопроводности углеводородов и нефтепродуктов приведены в [8, 58, 70, 73, 74]. Анализ некоторых уравнений, используемых для определения теплопроводности нефтепродуктов, применительно к расчету теплопроводности газовых конденсатов и их фракций приводится ниже.

Одно из самых ранних эмпирических уравнений, связывающих теплопроводность с другими физическими свойствами жидкости, было предложено Вебером:

$$\lambda = 0,00359 C_p \rho^{\frac{4}{3}} M^{-\frac{1}{3}}, \quad (4.46)$$

где C_p — теплоемкость при постоянном давлении; ρ — плотность; M — молекулярная масса.

Расчет теплопроводности по формуле Вебера носит ориентировочный характер. Смит [89] показал, что это уравнение для 44 различных жидкостей, в том числе 14 нефтепродуктов приводит к заниженным значениям теплопроводности и предложил увеличить значение численного коэффициента в уравнении (4.46):

$$\lambda = 0,0043 C_p \rho^{\frac{4}{3}} M^{-\frac{1}{3}}. \quad (4.47)$$

На основании обобщения своих экспериментальных данных по 15 жидкостям Смит [90] предложил вторую эмпирическую формулу для определения теплопроводности жидкостей при 30°C:

$$\lambda = \frac{0,293 \rho^{2,15} C_p^{1,55} M^{0,392}}{\eta^{0,12}}, \quad (4.48)$$

где λ — ккал/(м·ч·град); ρ — кг/дм³; C_p — ккал/(кг·град); M — кг/кмоль; η — сПз.

В результате обобщения экспериментальных данных для 18 нефтепродуктов Кrego предложил следующую формулу:

$$\lambda = \frac{0,00028}{\rho_{15}} (1 - 0,00054 t), \quad (4.49)$$

где ρ_{15} — плотность при 15°C; t — температура, °C.

Проверка формулы (4.49), приведенная Смитом для 26 нефтепродуктов, показала, что при температуре 30°C средняя ошибка составляет 12,4, а максимальная 39%. Смит предложил формулу:

$$\lambda = \frac{0,000327}{\rho_{15}} (1 - 0,00054 t), \quad (4.50)$$

Предводителей [91] теоретически обосновал уравнение Вебера и показал, что числовой коэффициент A в этом уравнении зависит от температуры:

$$\lambda = AC_p \rho^{\frac{4}{3}} M^{-\frac{1}{3}}, \quad (4.51)$$

где $A = 4,28 \cdot 10^{-3}$ при $t = 30^\circ\text{C}$ (ρ — в г/см^3 , λ — в $\text{кал/см}\cdot\text{с}\cdot^\circ\text{C}$).

Для расчета коэффициента теплопроводности тяжелых нефтепродуктов в [70] предложены уравнения в виде:

$$\lambda_t = 0,325 C_p \gamma_t - 0,02; \quad (4.52)$$

$$\lambda_t = 0,31 C_p \gamma_t^{4/3} - 0,01, \quad (4.53)$$

где γ_t — удельный вес при температуре t , г/см^3 ; C_p — удельная теплоемкость при 30°C , $\text{кал/г}\cdot^\circ\text{C}$.

Ниже приведены расчетные значения теплопроводности газового конденсата Вуктыльского месторождения и его фракции по уравнениям (4.46), (4.47), (4.49), (4.50), (4.51), (4.52), (4.53) при температуре $293,2\text{ К}$.

Сопоставление экспериментальных значений теплопроводности с рассчитанными по указанным формулам показывает следующее. Уравнение Вебера (4.46), как указано выше, носит ориентировочный характер. Средняя ошибка составляет 19,7, а максимальная 22,4. Уравнение Кrego (4.49), которое по данным ASTM для нефтепродуктов с плотностью $0,78\text{--}0,95\text{ г/см}^3$ в интервале температур $0\text{--}200^\circ\text{C}$ обуславливает погрешность не более 10% для газовых конденсатов и их фракций, дает ошибки, достигающие 35–40%. Уравнение Кrego-Смита (4.50) еще более увеличивает ошибку вычисленных значений теплопроводности, которая достигает 60%. Перечисленные формулы (4.49) и (4.50) не могут быть использованы для расчета коэффициентов теплопроводности газовых конденсатов и их фракций.

Уравнения Смита (4.47) и Предводителя (4.51) дают удовлетворительное совпадение с экспериментальными значениями теплопроводности газовых конденсатов. Рассчитанные значения по уравнению (4.53) оказались значительно ниже полученных экспериментальных данных. При этом средняя ошибка составляет 16,5, а максимальная 24,9%.

Таким образом, проведенные расчеты показали, что большинство применяемых в настоящее время формул для вычисления теплопроводности нефтепродуктов дают значительные погрешности и не могут быть рекомендованы для расчета коэффициента теплопроводности газовых конденсатов и их фракций при атмосферном давлении и различных температурах. Аналогичный вывод сделан в работе [92].

Сравнение экспериментальных значений теплопроводности λ , 10^{-4} Вт/м·К газового конденсата Вуктыльского месторождения и его фракций с расчетными по уравнениям (4.46), (4.47), (4.49)-(4.53)

Наименование вещества	Вещество					
	Конденсат	н.к.—60°C	60—95°C	95—122°C	122—150°C	150—175°C
По уравнению Вибери (4.46)	1024	1034	1063	1083	1054	1045
Отклонение от эксперименталь- ных данных, %	+0,4	-19,1	-22,1	-17,9	-18,7	-18,8
По уравнению Смита (4.47)	1228	1242	1273	1297	1262	1252
Отклонение от эксперименталь- ных данных, %	+0,4	+3,8	-0,2	+4,5	+2,2	+2,4
По уравнению Крето (4.49)	1587	1759	1644	1568	1533	1516
Отклонение от эксперименталь- ных данных, %	+1,8	+37,5	+20,5	+18,9	+18,2	+17,8
По уравнению Крето — Смита (4.50)	1853	2055	1920	1831	1790	1770
Отклонение от эксперименталь- ных данных, %	+42,2	+60,7	+40,8	+38,8	+38,0	+37,5
По уравнению Предводителя (4.51)	1306	1237	1273	1299	1265	1256
Отклонение от эксперименталь- ных данных, %	+5,6	+3,4	-0,2	+4,6	+2,8	+2,7
По уравнению Феллера — Расторгуева (4.52)	1250	1220	1134	1179	1203	1214
Отклонение от эксперименталь- ных данных, %	-4,1	-4,6	-16,9	-10,6	-7,2	-5,7
По уравнению Феллера — Расторгуева (4.53)	1147	961	1034	1151	1122	1136
Отклонение от эксперименталь- ных данных, %	-11,9	-24,9	-24,2	-12,7	-13,5	-11,7

Как было указано выше, уравнения Смита (4.47) и Предводителя (4.51) дают удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными, однако пользоваться ими представляет определенную сложность из-за отсутствия значения теплоемкости при постоянном давлении. Для сравнительного анализа указанных уравнений значения теплоемкости газовых конденсатов определили расчетным путем, используя термодинамическую теорию возмущения.

Теплопроводность газовых конденсатов и их фракций с ростом температуры в основном линейно уменьшается и описывается уравнением с погрешностью, не превышающей ошибку эксперимента:

$$\lambda = \lambda_{20} [1 - a_{20} (t - 20)], \quad (4.54)$$

где λ_{20} — теплопроводность при 20°C, Вт/(м·град); a_{20} — температурный коэффициент теплопроводности, 1/град.

Проведенный анализ показал, что наиболее эффективным оказался закон соответственных состояний, базирующийся на теории подобия. В работе [8] представлен результат зависимости коэффициента теплопроводности парафиновых и олефиновых углеводородов от приведенной температуры $\tau = T/T_{\text{кип}}$. Как видно из рис. 4.17 и 4.18, данные по коэффициенту теплопроводности для каждой гомологической группы углеводородов укладываются на одну кривую и описываются уравнениями вида:

$$\lambda = 0,195 - 0,1 T/T_{\text{кип}} \quad (4.55)$$

для парафиновых углеводородов;

$$\lambda = 0,185 - 0,1 T/T_{\text{кип}} \quad (4.56)$$

для олефиновых углеводородов.

Для обобщения экспериментальных данных по коэффициенту теплопроводности ароматических углеводородов в зависимости от темпе-

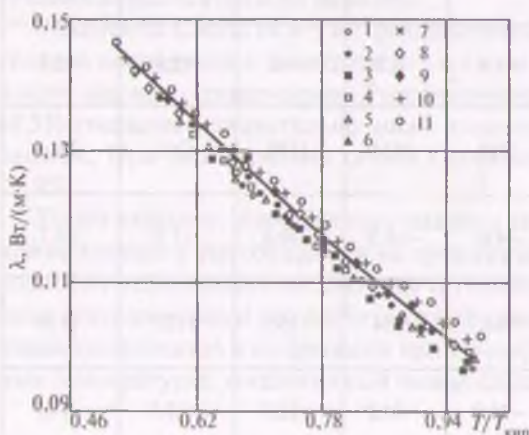


Рис. 4.17. Зависимость $\lambda = f(T/T_{\text{кип}})$ для парафиновых углеводородов [8]: 1 — н-нонан; 2 — н-декан; 3 — н-ундекан; 4 — н-додекан; 5 — н-тридекан; 6 — н-тетрадекан; 7 — н-пентадекан; 8 — н-гексадекан; 9 — н-гептадекан; 10 — н-октадекан; 11 — н-нонадекан

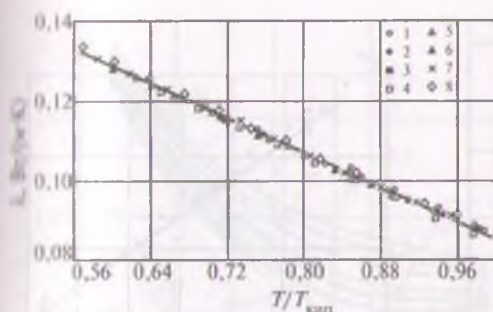


Рис. 4.18. Зависимость $\lambda = f(T/T_{\text{кип}})$ для олефиновых углеводородов [8]: 1 — нонен-1; 2 — децен-1; 3 — ундецен-1; 4 — додецен-1; 5 — тридецен-1; 6 — тетрадецен-1; 7 — пентадецен-1; 8 — гексадецен-1

ратуры обработка была проведена в координатах: приведенная теплопроводность $\lambda = \lambda_T/\lambda$ и приведенная температура $\tau = T/T_{\text{кип}} = 0,9$. Экспериментальные точки для всех исследованных ароматических углеводородов [8] ложатся на единую прямую, которую можно описать уравнением

$$\lambda = \lambda_\tau = 0,9 (1,725 - 0,8). \quad (4.57)$$

Аналогичный подход был применен при обработке опытных данных по коэффициенту теплопроводности фракций газового конденсата Вуктыльского месторождения.

Обобщенные зависимости представлены на рис. 4.19, Число $\tau = 0,7$ выбрано из условия уменьшения интервала экстраполяции опытных данных.

Анализ данных, приведенных на рис. 4.19, показывает, что максимальное отклонение опытных точек от обобщающей зависимости не превышает 3,4%. Зависимость теплопроводности от температуры в исследуемом интервале для фракций Вуктыльского конденсата описывается уравнением:

$$\lambda^* = 1,739 - 1,047\tau. \quad (4.58)$$

Характеристическую температуру удобно определить при помощи температурного коэффициента плотности, тогда:

$$\tau' = aT,$$

где $a = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 T_2 - \rho_2 T_1}$; ρ_1 и ρ_2 — плотности при температуре T_1 и T_2 .

Используя указанный метод вычисления характеристической температуры, был построен для фракций газового конденсата Вуктыль-

ского месторождения график зависимости $\lambda'' = \frac{\lambda_T}{\lambda_\tau = 0,3}$ от $\tau' = aT$ (рис. 4.20). Число 0,3 выбрано из условия охвата всех опытных точек в исследованном интервале температур без экстраполяции. Разброс экспериментальных данных в исследуемой области температур не превышает 6,0%.

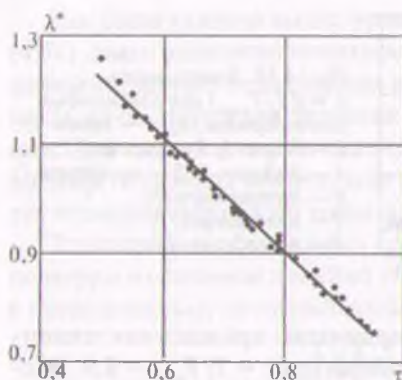


Рис. 4.19. Зависимость приведенной теплопроводности λ^* от приведенной температуры $\tau = 0,7$ для фракции газового конденсата Вуктыльского месторождения

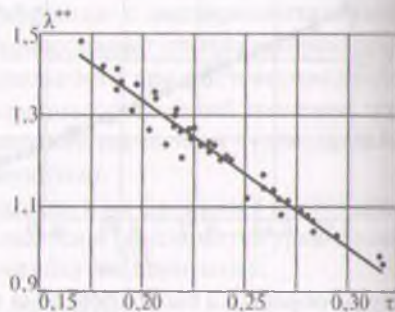


Рис. 4.20. Зависимость приведенной теплопроводности λ^{**} от приведенной температуры $\tau' = 0,3$ для фракции газового конденсата Вуктыльского месторождения

Обобщенная зависимость теплопроводности от температуры в исследуемом интервале описывается уравнением:

$$\lambda^{**} = 2,054 - 3,534\tau'. \quad (4.59)$$

Рассмотренные методы позволяют с достаточной точностью по одной опытной точке определить величину коэффициента теплопроводности углеводородов и газовых конденсатов в широкой области изменения температур.

4.8. Теплопроводность углеводородов и газовых конденсатов при различных температурах и давлениях

На рис. 4.21–4.26 представлены графические изображения экспериментальных значений изобар и изотерм коэффициента теплопроводности некоторых углеводородов и газовых конденсатов. Как видно из рисунков, изотермы и изобары располагаются в определенной последовательности. Для углеводородов парафинового и олефинового гомологических рядов увеличение числа углеродных атомов в молекуле приводит к повышению значения коэффициента теплопроводности. С увеличением числа углеродных атомов уменьшается влияние давления на изменение коэффициента теплопроводности.

Кривые коэффициента теплопроводности при постоянном давлении в зависимости от температуры можно разделить на три характерных участка. Зависимость изобары коэффициента теплопроводности от температуры до температуры кипения является почти линейной. На

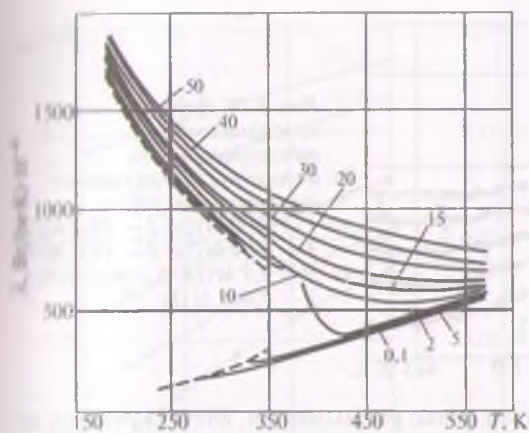


Рис. 4.21. Изобары коэффициента теплопроводности пропана при различных температурах

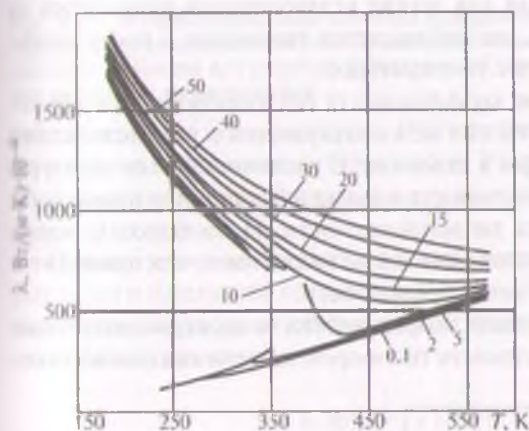


Рис. 4.22. Изобары коэффициента теплопроводности н-бутана при различных температурах

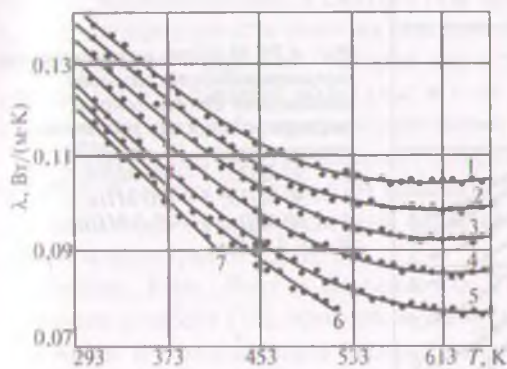


Рис. 4.23. Изобары коэффициента теплопроводности н-нонана-1 при различных температурах [8]:
1 — 49,0 МПа; 2 — 39,2 МПа;
3 — 29,4 МПа; 4 — 19,6 МПа;
5 — 9,8 МПа; 6 — 4,0 МПа;
7 — 0,098 МПа

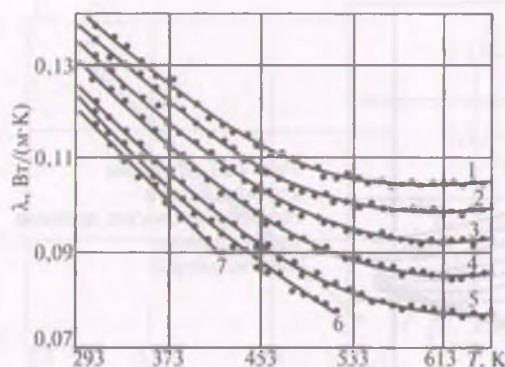


Рис. 4.24. Изобары коэффициента теплопроводности *n*-децена-1 при различных температурах [8]:
1 — 49,0 МПа; 2 — 39,2 МПа;
3 — 29,4 МПа; 4 — 19,6 МПа;
5 — 9,8 МПа; 6 — 4,0 МПа;
7 — 0,098 МПа

этом участке теплопроводность резко уменьшается. Второй участок характеризуется слабым изменением теплопроводности от температуры. Третий участок, характерный для легких углеводородов, начинается от критической температуры, где наблюдается тенденция к росту коэффициента теплопроводности с температурой.

Такое сложное поведение коэффициента теплопроводности объясняется характером изменения сил межмолекулярного взаимодействия в зависимости от температуры и давления. С увеличением температуры уменьшается сила межмолекулярного взаимодействия, что приводит к уменьшению коэффициента теплопроводности. И наоборот, с повышением давления межмолекулярные силы возрастают, что приводит к увеличению коэффициента теплопроводности.

В литературе имеется немало теоретических и экспериментальных формул, выражающих зависимость теплопроводности газов и жидкост-

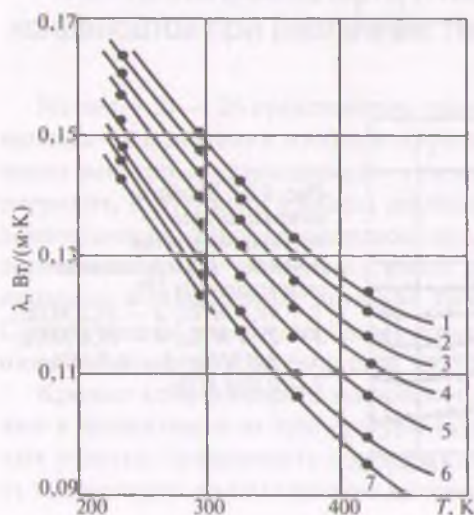


Рис. 4.25. Изобары коэффициента теплопроводности газового конденсата Вуктыльского месторождения при различных температурах: 1 — 60 МПа; 2 — 50 МПа; 3 — 40 МПа; 4 — 30 МПа; 5 — 20 МПа; 6 — 10 МПа; 7 — 5,0 МПа; 8 — 0,1 МПа

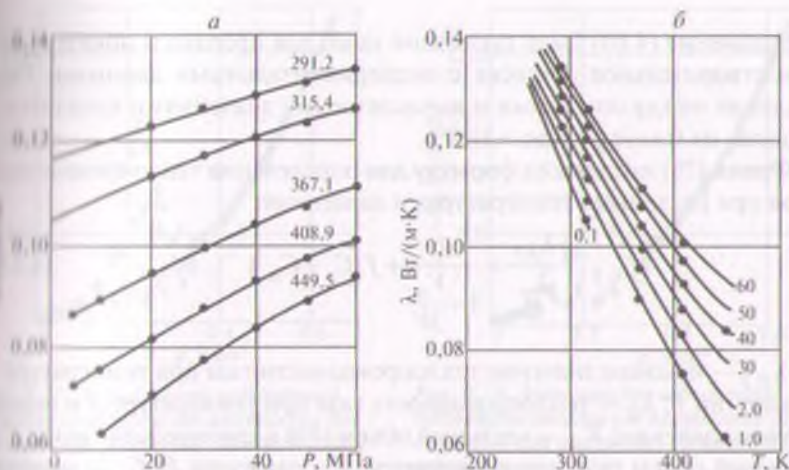


Рис. 4.26. Экспериментальные значения коэффициента теплопроводности конденсата астраханского месторождения: а) изотермы теплопроводности при различных давлениях; б) изобары теплопроводности при различных температурах

теп от давления и температуры. Применимость этих формул ограничена из-за их сложности и неточности. Рассмотрим некоторые из них, наиболее распространенные и в отдельных случаях дающие хорошие результаты.

Первая реальная попытка создать теорию теплопроводности сжатых газов и жидкостей сделана Энскогом. Он развил теорию разжиженных газов для твердых сфер с учетом изменения плотности и получил следующее уравнение:

$$\lambda = \lambda_0 b \rho \left(\frac{1}{b \rho u} + 1,2 + 0,7574 b \rho u \right). \quad (4.60)$$

где λ — теплопроводность сжатого газа при давлении и температуре T ; λ_0 — теплопроводность этого же газа при атмосферном давлении и температуре T ; $b = 2\pi\sigma^3/3m$ — второй вириальный коэффициент твердой сферы, где σ — диаметр молекулы; m — ее масса; u — числовой фактор, связанный с вероятными столкновениями молекул; ρ — плотность газа.

Используя другие коэффициенты переноса в сжатых газах и данные по PVT , Комингс и Натан [75] подсчитали b и u в уравнении Энскога для ряда газов при приведенных давлениях от 1,0 до 10,0 и приведенных температурах от 1,0 до 3,0.

Лснуар, Юнк, Ленг и Комингс [76, 77, 78], используя найденные значения в работе [75], проверяли уравнение Энскога для ряда газов, в том числе и углеводородов (метан, этан, пропан). Сравнения с экспериментальными данными не дали удовлетворительных результатов.

Уравнение (4.60) было проверено нами для пропана и показало не-удовлетворительное согласие с экспериментальными данными. Расхождение между опытными и вычисленными значениями находится в пределах от минус 28,6 до +31,8%.

Франк [79] предложил формулу для определения теплопроводности газов при различных температурах и давлениях:

$$\frac{\lambda_{p,T}}{\lambda_T} = \frac{1}{1 - \frac{V_{кр}}{3V}} + f(C_p - C_{p_0}) \quad (4.61)$$

где $\lambda_{p,T}$ — искомое значение теплопроводности газа при температуре T и давлении P ; λ_T — теплопроводность газа при температуре T и атмосферном давлении; $V_{кр}$ — удельный объем газа в критической точке; V — удельный объем газа при температуре T и давлении P ; C_p — мольная теплоемкость газа при постоянном давлении P и температуре T ; C_{p_0} — мольная теплоемкость газа при температуре T и атмосферном давлении.

Значение постоянного f для многоатомных газов равно 0,035.

Сравнение вычисленных по уравнению (4.61) коэффициентов теплопроводности с нашими экспериментальными данными для пропана так же показало неудовлетворительное согласие экспериментальных и расчетных величин коэффициентов теплопроводности. С ростом давления расхождения уменьшаются.

Предводителей и Варгафтик, пользуясь экспериментальными данными для теплопроводности газов и жидкостей, предложили эмпирическую формулу:

для жидкости

$$\lambda_{p,T} = B \rho^n, \quad (4.62)$$

где B и n — постоянные для каждого вещества; ρ — плотность вещества.

В работе [8] подробно исследована формула (4.62) в широкой области температур и давлений для n -ундекана, n -тридекана и n -гептадекана. В результате было установлено, что параметр B и показатель степени n не являются постоянными, а зависят от температуры. С увеличением температуры значения B и n уменьшаются. Каждая изотерма имеет свой коэффициент B и показатель степени n и в рамках этой изотермы их величины остаются постоянными.

В работе [8] предлагается обобщенная формула для вычисления коэффициента теплопроводности в зависимости от температуры и давления для жидких парафиновых и олефиновых углеводородов:

$$\lambda_{p,T} = [\lambda_{\tau=0,5} + 5,5 \cdot 10^{-5} (m - m_0)] \frac{A}{\sqrt{\tau}}, \quad (4.63)$$

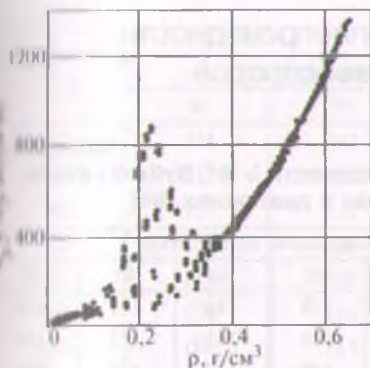


Рис. 2.27. Зависимость избыточной теплопроводности от плотности для пропана при различных температурах и давлениях

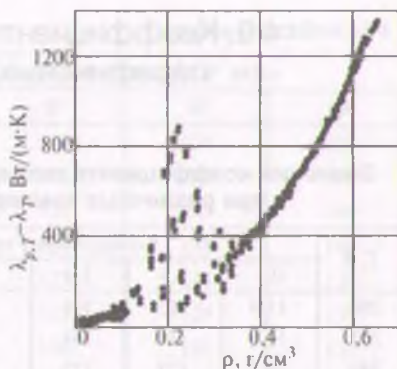


Рис. 4.28. Зависимость избыточной теплопроводности от плотности для *n*-бутана при различных температурах и давлениях

где $\lambda_{T=0,5} = 0,148$ — значение коэффициента теплопроводности при $T = T_{\text{кип}}/0,5$; $A = 0,689$ для $n \leq 15$ и $A = 0,0689\tau + 0,675$ для $n > 15$; P_0 , P — соответственно атмосферное и приложенное давление.

В этой же работе для расчета теплопроводности всего гомологического ряда ароматических углеводородов предлагается уравнение:

$$\lambda_{p,T} = A e^{\frac{\sqrt{n}}{M^2}} P, \quad (4.64)$$

где A — универсальный коэффициент, зависящий от температуры.

Формулы (4.63) и (4.64) не содержат параметров, требующих экспериментального определения, и позволяют непосредственно вычислять коэффициент теплопроводности в широкой области параметров состояния.

Многими исследователями установлена связь между теплопроводностью и плотностью. На рис. 4.27 и 4.28 приводится зависимость избыточной теплопроводности от плотности для пропана и *n*-бутана. Как видно из рисунков, все экспериментальные точки коэффициента теплопроводности в координатах $\lambda_{p,T} - \lambda_T$ — плотность хорошо располагаются по одной усредненной кривой, кроме критической области.

4.9. Коэффициенты теплопроводности парафиновых углеводородов

Таблица 4.1

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К) этана
при различных температурах и давлениях [94]**

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,1	2,5	5,0	10	20	30	40	50
200	11,4	16,3	166	171	179	186	191	198
220	12,9	141	144	149	159	165	172	180
240	14,7	121	125	129	140	147	156	164
250	15,6	111	116	120	132	139	149	157
260	16,7	—	106	111	125	132	142	151
270	17,7	—	—	103	118	126	135	145
280	18,8	—	—	95,4	112	120	130	140
290	20,0	23,7	—	88,4	106	115	126	135
300	21,4	24,8	—	—	101	111	121	130
310	22,8	25,8	—	—	96,4	107	117	127
320	24,1	26,9	—	—	92,0	103	113	123
330	25,8	28,0	—	—	88,3	99,7	110	120
340	27,0	29,5	33,3	—	84,4	96,3	107	117
350	28,5	30,8	34,2	—	80,5	93,6	104	114
360	29,9	32,3	35,4	49,0	76,8	90,7	102	111
370	31,6	33,7	36,6	47,7	73,1	88,0	99,0	109
380	32,9	34,9	37,8	47,5	70,5	85,5	96,7	106
390	34,6	36,4	39,0	47,7	68,6	83,5	94,7	104
400	36,1	37,8	40,4	48,3	67,4	81,8	92,9	102
420	39,3	40,8	43,2	49,8	66,0	79,3	89,8	98,4
440	42,6	44,0	46,0	52,1	65,7	77,9	88,0	96,0
460	46,1	47,0	48,9	54,4	66,2	77,4	87,0	94,7
480	49,5	50,4	52,0	56,9	67,5	77,8	86,7	94,1
500	53,0	53,8	55,3	59,6	69,5	78,7	86,8	94,2
520	56,6	57,4	58,6	62,6	71,6	80,0	87,5	94,7
540	60,2	60,9	62,0	65,6	74,0	81,6	88,7	95,5
560	63,9	64,7	65,6	68,6	76,4	83,4	90,1	96,5
580	67,7	68,4	69,2	71,9	79,0	85,5	91,8	98,1
600	71,5	72,2	73,0	75,3	81,8	87,7	93,7	99,7
620	75,4	76,0	76,7	78,7	84,6	90,2	95,8	102
640	79,2	79,7	80,4	82,2	87,5	92,8	98,1	103
660	83,0	83,5	84,2	85,8	90,6	95,5	101	106
680	87,0	87,5	88,1	89,4	93,8	98,4	103	108
700	90,7	91,2	91,8	93,2	97,2	102	106	110
720	94,4	94,9	95,5	96,8	101	105	109	114

Окончание таблицы 4.1

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа				
	60	70	80	90	100
310	134	142	148	154	159
320	131	139	145	151	156
340	124	132	138	145	149
360	119	126	132	139	144
380	114	120	127	134	139
400	110	116	123	129	135
420	106	113	120	126	131
440	103	110	117	123	128
460	102	108	115	121	126
480	101	107	114	119	125
500	101	107	113	119	124
520	101	107	113	118	123
540	102	107	113	118	123
560	102	108	113	118	123
580	104	109	114	119	123
600	105	110	115	120	124
620	106	111	116	120	125
640	108	113	117	122	126
660	110	115	119	123	127
680	112	117	121	125	128
700	115	119	123	127	130
720	117	121	125	128	132
740	—	123	127	130	134
760	—	126	129	133	136
780	—	128	132	135	139
800	—	131	134	137	141

Таблица 4.2

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К) пропана при различных температурах и давлениях [94]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа								
	0,1	1,0	5,0	10	20	30	40	50	70
120	199	199	200	201	204	207	210	213	219
140	188	188	189	190	194	198	201	204	210
160	176	176	177	179	183	187	191	195	202
180	165	165	167	169	174	178	182	186	193
200	152	152	154	156	161	166	171	176	184
220	139	139	141	144	149	154	160	166	176

Окончание таблицы 4.2

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа								
	0,1	1,0	5,0	10	20	30	40	50	70
240	—	127	129	132	138	144	150	156	167
260	13,5	114	117	121	128	134	141	147	158
280	15,8	102	106	111	118	124	131	138	149
300	18,2	—	95,8	101	110	116	123	129	140
320	20,6	—	86,4	92,0	102	109	116	122	133
340	23,1	24,2	77,5	84,2	95,3	103	110	116	127
360	25,7	26,6	—	76,9	89,4	97,4	105	111	123
380	28,4	29,2	—	70,4	84,3	92,5	100	107	119
400	31,1	31,9	—	—	79,8	88,3	96,8	104	116
420	33,9	34,8	41,7	—	76,0	84,6	93,1	101	113
440	36,9	37,7	43,2	57,4	73,0	81,5	91,2	98,4	110
460	39,9	40,3	44,3	56,3	72,4	81,9	88,8	96,6	108
480	42,9	43,4	46,5	55,5	71,3	81,5	88,0	95,2	107
500	45,9	46,4	49,2	56,5	71,3	81,0	87,1	94,3	106
520	49,0	49,8	52,2	58,0	71,2	81,7	87,6	93,8	106
540	52,4	53,0	55,2	61,5	72,0	82,4	88,1	94,0	106

Таблица 4.3
 Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
 пропана на линии насыщения [94]

T, К	P, МПа	$\lambda_{\text{АВВ}}$	$\lambda_{\text{ВВ}}$
233,15	0,107	1087	106
243,15	0,161	1059	119
253,15	0,232	1028	134
263,15	0,332	998	146
273,15	0,448	969	159
283,15	0,617	939	172
293,15	0,817	910	187
303,15	1,060	880	202
313,15	1,358	848	221
323,15	1,710	812	240
333,15	2,122	777	262
343,25	2,601	743	285
353,15	3,176	694	307
358,15	3,484	666	335
363,15	3,788	628	366
368,15	4,142	565	423
370,00	4,168	491	491

Таблица 4.4

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К) *n*-бутана при различных температурах и давлениях [94]

<i>T</i> , К	Коэффициент теплопроводности при <i>P</i> , МПа							
	0,1	2,0	5,0	10	20	30	50	70
280	13,8	115	117	121	126	132	142	—
300	16,1	106	108	113	118	124	135	—
320	18,4	98,3	100	105	111	118	129	—
340	20,8	91,1	93,0	98,8	105	112	123	—
360	23,3	84,2	86,2	92,3	98,8	107	119	129
370	24,5	81,2	83,2	89,4	96,0	104	116	126
380	25,7	78,0	80,1	86,2	93,7	102	114	124
390	27,1	—	77,5	83,3	91,6	99,5	112	122
400	28,4	—	74,8	80,7	89,5	97,5	110	120
410	29,7	—	72,6	78,8	87,5	95,8	108	118
420	31,0	—	—	—	86,5	94,6	106	116
430	32,4	—	—	—	86,0	93,5	105	115
440	33,8	38,3	—	—	85,3	92,5	104	114
450	35,2	39,4	—	72,8	84,6	91,4	103	112
460	36,6	40,3	51,4	71,0	82,8	89,8	102	110
480	39,5	42,2	51,1	68,2	80,1	87,5	100	108
500	42,4	45,0	51,6	65,2	77,6	85,4	99,0	107
520	45,5	47,8	52,1	64,3	76,6	84,0	98,6	106
540	48,6	50,7	53,9	64,4	76,1	83,5	98,2	106
560	51,7	53,5	56,0	65,2	76,5	83,5	97,8	106
580	54,9	56,5	58,7	66,5	77,3	83,9	97,5	106
600	58,0	59,7	61,5	68,0	78,7	84,3	97,2	106

Таблица 4.5

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К) *n*-бутана на линии насыщения [94]

<i>T</i> , К	<i>P</i> , МПа	$\lambda_{\text{жидк}}$	$\lambda_{\text{пар}}$
273,15	0,100	1090	119
283,15	0,143	1065	129
293,15	0,197	1036	140
303,15	0,274	1010	152
313,15	0,365	985	164
323,15	0,481	958	177
333,15	0,620	929	190
343,15	0,785	905	202
353,15	0,981	875	216

Окончание таблицы 4.5

T, K	$P, \text{МПа}$	$\lambda_{\text{лит}}$	$\lambda_{\text{газ}}$
358,15	1,092	861	222
363,15	1,210	845	230
368,15	1,341	832	236
373,15	1,480	815	244
383,15	1,809	785	261
393,15	2,172	754	283
403,15	2,588	737	326
413,15	3,058	673	354
423,15	3,590	597	446
425,16	3,709	500	500

Таблица 4.6

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4, \text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$
изобутана при различных температурах и давлениях [1, 68]

T, K	Коэффициент теплопроводности при $P, \text{МПа}$							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
193,2	1737	1744	1751	1756	1761	1765	1774	1795
213,2	1539	1547	1555	1564	1572	1580	1602	1627
233,2	1369	1381	1392	1400	1407	1414	1442	1477
253,2	1203	1222	1241	1249	1256	1263	1300	1335
273,2	133	1103	1112	1121	1130	1138	1175	1213
293,2	155	997	1002	1013	1023	1032	1070	1105
313,2	176	904	912	918	934	939	975	1010
333,2	198	—	838	846	854	862	897	932
353,2	218	—	770	779	788 *	796	826	864
373,2	245	255	708	717	725	733	761	804
393,2	272	281	289	648	660	676	707	753
413,2	299	308	316	415	525	585	654	700
433,2	326	335	344	360	393	419	608	658
453,2	354	364	373	380	389	402	573	623
473,2	384	393	402	409	416	419	547	598
493,2	414	421	429	435	441	447	538	585
513,2	445	451	457	463	468	473	577	581
533,2	475	480	485	491	496	500	543	581
553,2	505	510	515	520	524	527	558	590
573,2	535	538	542	546	550	553	570	596

Окончание таблицы 4.6

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	20	25	30	35	40	45	50
193,2	1814	1824	1833	1844	1855	1881	1872
213,2	1650	1663	1675	1691	1707	1720	1733
233,2	1504	1663	1560	1567	1573	1591	1608
253,2	1362	1385	1408	1431	1453	1473	1492
273,2	1244	1271	1298	1322	1346	1360	1390
293,2	1141	1171	1200	1227	1253	1279	1304
313,2	1048	1080	1112	1142	1171	1199	1226
333,2	970	1001	1032	1064	1095	1130	1156
353,2	900	932	964	996	1027	1059	1090
373,2	837	869	900	944	987	1010	1033
393,2	787	818	848	883	917	949	980
413,2	742	774	806	842	877	906	935
433,2	705	737	768	801	834	867	900
453,2	669	704	738	772	806	838	870
473,2	641	678	715	748	781	814	847
493,2	624	661	698	730	761	796	830
513,2	618	652	685	717	749	750	816
533,2	616	647	677	709	741	772	802
553,2	618	645	672	702	731	763	794
573,2	618	643	670	699	728	758	788

Таблица 4.7

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
изобутана на линии насыщения [94]

T, К	P, МПа	$\lambda_{\text{жид}}$	$\lambda_{\text{пар}}$
263,15	0,105	1093	121
273,15	0,150	1068	134
283,15	0,211	1040	144
293,15	0,289	1009	157
303,15	0,386	982	168
313,15	0,508	957	180
323,15	0,656	926	193
333,15	0,837	901	209
343,15	1,050	871	224
353,15	1,303	841	241
358,15	1,440	827	253
363,15	1,594	810	264
368,15	1,753	795	272

Окончание таблицы 4.

T, K	$P, \text{МПа}$	$\lambda_{\text{жидк}}$	$\lambda_{\text{пар}}$
373,15	1,930	776	282
383,15	2,335	741	306
393,15	2,774	697	345
398,15	—	659	375
403,15	3,268	617	419
408,13	3,564	504	504

Таблица 4.8

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ *n*-пентана при различных температурах и давлениях [94]

T, K	Коэффициент теплопроводности при $P, \text{МПа}$							
	0,1	5,0	10	20	30	40	50	60
160	165	166	167	170	173	175	177	—
180	158	159	161	164	167	170	172	—
200	150	152	154	157	160	163	166	—
220	143	145	147	151	154	157	161	—
240	136	138	140	145	149	152	156	—
260	128	131	133	138	143	146	151	—
280	120	123	126	132	137	141	145	—
300	112	116	120	126	131	135	139	144
320	16,6	109	113	118	124	128	132	138
340	18,8	103	106	112	118	122	126	132
360	21,1	97,2	101	107	112	117	121	127
380	23,5	92,0	95,6	102	107	112	117	123
400	26,0	87,3	91,0	97,6	103	108	113	119
420	28,5	82,9	86,9	94,0	99,5	105	110	115
440	31,1	78,9	83,0	90,3	96,4	101	106	112
460	33,8	75,2	79,7	87,5	93,7	98,6	104	109

Окончание таблицы 4.8

T, K	Коэффициент теплопроводности при $P, \text{МПа}$							
	80	100	120	140	160	180	200	220
300	152	160	168	174	180	186	192	197
320	147	155	162	168	175	180	186	192
340	142	150	156	163	169	175	181	187
360	137	145	152	158	164	170	177	183
380	132	140	147	154	160	166	172	179
400	128	136	143	150	155	162	168	175
420	124	132	139	146	152	158	164	171
440	121	129	136	142	148	154	161	168
460	118	126	133	139	145	151	158	164

Таблица 4.9

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К) *n*-гексена при различных температурах и давлениях [94]

T, K	Коэффициент теплопроводности при P , МПа						
	0,1	2,0	5,0	10	20	30	40
200	152	154	155	158	161	163	165
220	146	148	150	153	156	159	161
240	140	142	144	148	151	154	157
260	133	136	138	142	145	149	154
280	127	129	131	135	139	143	147
300	120	123	125	130	134	139	143
320	114	116	119	124	129	133	138
340	—	110	114	119	124	129	133
360	19,1	105	108	114	119	124	129
380	21,3	100	103	110	115	120	125
400	23,6	95,6	99,1	105	111	116	122
420	25,9	91,6	95,1	102	108	113	118
440	28,3	87,6	91,6	98,4	104	110	115
460	30,7	83,9	88,4	95,2	102	107	113
470	32,0	82,2	86,7	93,8	100	106	112

Таблица 4.10

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К) *n*-гептана при различных температурах и давлениях [94]

T, K	Коэффициент теплопроводности при P , МПа							
	0,098	1,96	4,9	9,8	14,7	19,6	29,4	39,2
273,2	1399	1411	1424	1444	1466	1483	1520	1557
293,2	1343	1356	1369	1392	1413	1433	1472	1511
313,2	1287	1302	1315	1339	1361	1384	1427	1467
333,2	1233	1249	1262	1288	1310	1335	1382	1424
353,2	1181	1197	1214	1241	1266	1289	1338	1382
373,2	187	1149	1167	1195	1222	1247	1296	1341
393,2	207	1101	1121	1151	1181	1206	1257	1305
413,2	228	1053	1075	1108	1141	1167	1222	1272
433,2	249	1005	1030	1068	1103	1130	1189	1240
453,2	271	957	988	1028	1066	1095	1156	1210
473,2	294	904	946	990	1032	1063	1124	1183
493,2	317	848	904	954	1001	1036	1099	1160
513,2	341	782	864	921	973	1011	1078	1139
533,2	365	408	816	888	948	989	1057	1120
553,2	390	424	754	857	926	970	1039	1103
573,2	416	443	689	831	905	953	1024	1088
593,2	441	465	634	810	889	939	—	—
613,2	465	487	607	795	877	927	—	—
633,2	490	511	607	787	867	919	—	—

Таблица 4.11

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К) *n*-октана при различных температурах и давлениях [94]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа								
	0,098	1,96	4,9	9,8	14,7	19,6	29,4	39,2	49,0
273,2	1438	1449	1462	1480	1499	1518	1552	1583	1612
293,2	1384	1395	1409	1428	1449	1467	1504	1536	1567
313,2	1331	1344	1356	1377	1400	1419	1457	1493	1524
333,2	1281	1296	1308	1329	1353	1373	1413	1449	1484
353,2	1232	1248	1263	1285	1309	1331	1372	1409	1446
373,2	1185	1202	1217	1244	1269	1289	1338	1374	1412
393,2	1139	1156	1174	1203	1232	1254	1304	1344	1382
413,2	210	1109	1132	1166	1195	1219	1273	1316	1355
433,2	231	1064	1092	1128	1161	1189	1243	1289	1331
453,2	251	1020	1052	1091	1127	1160	1215	1264	1308
473,2	272	978	1011	1057	1095	1130	1189	1240	1285
493,2	294	928	970	1024	1066	1101	1164	1217	1263
513,2	316	876	927	990	1036	1074	1139	1194	1243
533,2	338	814	886	957	1008	1049	1116	1172	1225
553,2	360	728	841	924	982	1026	1094	1151	1207
573,2	385	426	785	892	955	1004	1073	1132	1189
593,2	408	435	720	862	933	984	—	—	—
613,2	432	455	668	837	913	965	—	—	—
633,2	455	477	631	816	894	948	—	—	—

Таблица 4.12

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К) изооктана при различных температурах и давлениях [94]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа										
	0,1	1,0	2,0	3	5	10	15	20	30	40	50
290	99,3	99,6	99,9	100	101	102	104	106	109	112	115
330	89,9	90,4	90,9	91,4	92,4	98,6	100	102	106	109	112
350	85,3	85,8	86,4	87,0	88,1	94,7	96,8	98,8	103	106	110
370	—	81,1	81,7	82,4	83,7	90,9	93,3	95,5	99,7	104	102
380	21,0	78,6	79,3	80,0	81,3	86,9	89,5	92,0	96,5	101	104
390	22,0	76,4	77,0	77,7	79,0	84,5	87,3	89,9	94,6	98,7	102
400	23,0	74,3	74,9	75,7	76,9	82,3	85,1	87,9	92,7	96,8	101
410	24,1	72,9	73,5	74,1	75,4	80,1	83,1	85,9	90,9	95,0	98,9
420	25,2	71,4	72,0	72,7	74,0	78,6	81,5	84,4	89,5	93,7	97,6
430	26,3	70,0	70,7	71,4	72,7	77,1	80,1	83,0	88,2	92,4	96,3
440	27,4	68,7	69,4	70,2	71,5	75,9	78,9	81,7	87,0	91,2	95,1

Окончание таблицы 4.12

T, K	Коэффициент теплопроводности при P, МПа										
	0,1	1,0	2,0	3	5	10	15	20	30	40	50
450	28,4	67,5	68,3	69,0	70,4	73,6	76,6	79,5	84,6	88,9	93,0
460	29,5	66,3	67,1	67,9	69,3	72,6	75,7	78,5	83,6	87,9	92,0
470	30,6	65,2	66,0	66,8	68,3	71,7	74,8	77,6	82,7	87,0	91,2
480	31,7	—	65,1	65,9	67,4	71,0	74,0	76,8	81,9	86,3	90,4
490	32,9	—	64,2	65,1	66,7	70,3	73,4	76,2	81,2	85,7	89,8
500	34,0	—	63,6	64,5	66,1	69,7	72,8	75,6	80,6	85,1	89,2
510	35,1	—	63,0	63,9	65,5	69,1	72,3	75,1	80,2	84,7	88,7
520	36,3	—	62,3	63,2	65,0	68,7	71,9	74,8	79,8	84,3	88,3
530	37,5	39,2	—	62,7	64,5	68,3	71,5	74,4	79,5	83,9	88,0
540	38,7	40,0	—	62,2	63,9	67,8	71,1	74,1	79,2	83,6	87,8
550	40,0	40,9	43,6	—	63,2	67,2	70,6	73,7	78,9	83,3	87,4
560	41,4	42,2	44,1	—	62,1	66,3	69,9	72,9	78,1	82,6	86,8
570	—	—	—	—	—	65,2	68,8	71,9	77,1	81,8	85,8

Таблица 4.13

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
жидкого изооктана на линии насыщения [94]

T, K	λ	T, K	λ	T, K	λ
170	125	260	106,5	300	97,0
180	124	270	104	320	92,3
220	115,5	280	102	340	87,6
240	111	290	99,3	360	82,9

Таблица 4.14

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К) n-нонана
при различных температурах и давлениях [94]

T, K	Коэффициент теплопроводности при P, МПа								
	0,1	5,0	10	15	20	25	30	40	50
300	129	132	134	136	138	140	142	145	149
320	123	126	129	131	133	135	137	140	144
340	118	121	123	126	128	130	132	135	139
360	112	115	118	120	122	125	127	130	134
380	107	110	112	115	117	120	122	126	130
400	101	105	107	110	112	115	117	121	125
420	95,9	100	103	106	108	111	113	117	121
440	—	95,9	98,5	101	104	107	109	113	118
460	24,8	92,0	95,0	97,5	100	103	106	110	115
480	27,0	88,6	92,0	94,9	97,7	101	104	108	113

Продолжение таблицы 4.1

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа								
	0,1	5,0	10	15	20	25	30	40	50
500	29,3	85,8	89,3	92,4	95,4	98,7	102	107	111
520	31,5	83,5	87,0	90,3	93,5	96,8	100	105	110
540	33,8	—	85,3	88,8	92,3	95,8	99,2	105	109
560	36,2	—	84,0	87,7	91,3	94,8	98,2	104	109
580	38,7	—	82,7	86,7	90,6	94,1	97,6	104	108
600	41,2	—	82,0	86,3	90,5	93,9	97,2	103	108
620	43,7	—	82,1	86,3	90,5	93,9	97,3	104	109
640	46,2	—	82,5	86,9	91,0	94,4	97,7	104	109
660	48,9	—	83,3	87,5	91,6	94,9	98,2	104	110
680	51,5	—	84,3	88,5	92,6	95,8	98,9	105	110

Окончание таблицы 4.14

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа								
	60	80	100	120	140	160	180	200	220
300	152	160	165	171	176	181	187	182	196
320	148	156	161	166	172	178	183	188	192
340	143	151	157	162	168	174	180	184	189
360	139	147	153	158	164	170	176	181	185
380	134	143	149	155	160	167	173	177	182
400	130	139	145	151	157	163	170	174	179
420	126	135	142	147	153	160	166	170	176
440	122	130	138	144	150	157	163	167	173
450	120	128	136	142	149	165	161	166	171

Таблица 4.15

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
жидкого *n*-нонана на линии насыщения [94]

T, К	λ	T, К	λ	T, К	λ	T, К	λ
230	147	280	134	330	121	380	107
240	145	290	131	340	118	390	104
250	143	300	129	350	115	400	101
260	140	310	126	360	112	410	98,8
270	137	320	123	370	110	420	95,9

Таблица 4.16

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К) *n*-декана при различных температурах и давлениях [94]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа								
	0,1	5,0	10	15	20	25	30	40	50
290	133	135	138	140	142	145	147	150	153
300	131	133	135	137	139	141	143	147	150
320	125	127	130	132	134	136	138	142	145
340	120	122	124	127	129	131	133	137	140
360	115	117	119	122	124	126	128	132	136
380	111	113	115	118	120	122	124	128	131
400	106	109	111	114	116	118	120	124	128
420	102	104	106	109	112	114	116	120	124
440	—	100	103	106	108	110	113	117	121
460	—	97,0	99,6	103	105	108	110	114	118
480	25,4	93,6	96,4	100	102	105	108	111	—
500	27,6	90,6	93,3	96,5	99,6	103	105	109	—
520	29,7	87,9	90,7	93,4	97,2	100	103	107	—
540	32,0	85,3	88,3	91,7	95,0	98,0	101	106	—
560	34,3	83,0	86,2	89,7	93,2	96,4	99,6	104	—
580	36,7	81,2	84,5	88,1	91,7	95,0	98,3	103	—
600	39,0	79,5	83,1	86,8	90,5	93,8	97,1	102	—
620	41,4	78,1	82,0	85,8	89,5	92,8	96,1	102	—
640	43,9	77,1	81,5	85,3	89,0	92,3	95,5	101	—
660	46,4	—	80,9	84,7	88,5	91,8	95,0	101	—
680	48,9	—	80,7	84,5	88,3	91,5	94,6	100	—

Таблица 4.17

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К) жидкого *n*-декана на линии насыщения [94]

T, К	λ	T, К	λ	T, К	λ	T, К	λ
240	146	290	133	340	120	390	109
250	143	300	131	350	118	400	106
260	141	310	128	360	115	410	104
270	138	320	125	370	113	420	102
280	136	330	123	380	111	430	100

Таблица 4.18

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
 n-ундекана при различных температурах и давлениях [94]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа								
	0,1	5,0	10	15	20	25	30	40	50
300	135	136	138	140	142	144	146	148	152
320	129	131	133	135	137	139	141	144	147
340	124	126	129	131	132	134	136	139	143
360	119	121	124	126	127	129	131	135	139
380	114	116	119	121	123	125	127	131	135
400	110	112	115	117	119	121	123	127	131
420	106	108	111	113	115	118	120	124	128
440	102	104	107	110	112	115	117	121	125
460	98,2	100	103	106	109	112	114	119	123
480	—	97,0	100	103	106	109	111	116	121
500	26,3	94,0	97,4	101	104	107	109	114	118
520	28,4	91,3	94,9	98,5	102	105	107	112	117
540	30,6	89,0	92,7	96,2	99,7	102	105	111	116
560	32,8	87,2	90,7	94,5	98,0	101	104	110	114
580	35,0	85,7	93,2	93,2	96,9	100	103	109	113
600	37,3	84,3	88,5	92,3	96,0	99,0	102	108	113
620	39,7	83,0	87,5	91,3	95,1	98,1	101	107	112
640	42,0	81,9	86,8	90,7	94,5	97,7	101	107	112
660	44,4	—	86,0	90,0	93,9	97,0	100	106	112
680	46,9	—	85,3	89,3	93,3	96,3	99,3	106	111

Таблица 4.19

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
 n-додекана при различных температурах и давлениях [94]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,1	5,0	10	15	20	30	40	50
300	135	137	140	141	143	147	151	155
320	131	133	135	136	138	143	147	151
340	126	128	131	132	134	138	142	146
360	122	124	126	128	130	134	138	142
380	118	119	122	123	125	130	134	138
400	113	115	117	119	121	126	130	134
420	109	111	113	115	117	122	126	131
440	105	107	109	111	114	119	123	128
460	101	104	106	108	111	116	120	125
480	—	100	103	106	109	114	118	123

Продолжение таблицы 4.19

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,1	5,0	10	15	20	30	40	50
400	—	97,5	101	104	107	112	116	121
420	26,5	94,9	98,8	102	105	110	115	119
440	28,7	92,8	97,0	100	103	108	113	118
460	30,8	91,0	95,4	98,2	101	107	112	117
480	33,0	89,5	94,0	97,0	100	106	111	116
500	35,2	88,3	92,8	96,1	99,3	105	110	115
620	37,6	87,2	92,0	95,4	98,7	105	110	115
640	40,0	86,7	91,2	94,7	98,2	104	110	114
660	42,7	86,4	90,8	94,4	97,9	104	109	—
680	45,6	—	90,6	94,2	97,7	104	109	—

Окончание таблицы 4.19

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	60	80	100	120	140	160	180	200
300	159	164	170	174	—	—	—	—
320	154	160	166	170	—	—	—	—
340	150	156	162	167	173	—	—	—
350	148	154	160	165	171	175	180	185
360	146	152	158	164	169	174	179	184
380	142	148	155	161	166	171	176	182
400	138	145	152	158	163	169	174	179
420	135	142	149	155	161	166	172	177
440	132	139	146	152	158	164	170	175
450	130	137	144	150	157	163	168	173

Таблица 4.20

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
жидкого n-тридекана при различных температурах и давлениях [8]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,098	4,9	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
307,8	1336	1355	1372	1412	1446	1480	1515
321,6	1312	1334	1357	1387	1422	1450	1485
334,7	1290	1305	1318	1370	1395	1425	1457
347,4	1252	1272	1285	1335	1370	1407	1432
361,6	1235	1252	1270	1300	1348	1378	1407
372,2	1205	1224	1240	1285	1320	1358	1390
383,7	1180	1202	1235	1270	1305	1338	1372
395,5	1157	1187	1207	1255	1295	1322	1360

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа						
	0,098	4,9	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
407,6	1138	1168	1182	1222	1266	1305	1332
417,9	1115	1135	1155	1200	1250	1290	1324
427,7	1098	1122	1135	1195	1240	1270	1305
438,7	1082	1107	1127	1180	1220	1264	1300
448,7	1060	1085	1120	1160	1212	1250	1285
458,7	1040	1075	1095	1155	1198	1240	1275
468,7	1022	1052	1082	1135	1190	1228	1265
478,6	1015	1035	1070	1125	1175	1215	1250
489,4	1000	1030	1058	1118	1167	1210	1228
501,5	970	1002	1042	1107	1150	1197	1228
509,8	—	995	1027	1090	1142	1190	1222
520,0	—	970	1012	1075	1138	1180	1218
527,7	—	962	1008	1072	1125	1168	1208
538,6	—	950	990	1062	1117	1165	1205
547,4	—	944	988	1055	1110	1160	1200
557,5	—	927	975	1045	1102	1148	1192
585,7	—	910	957	1025	1082	1140	1190
592,9	—	908	952	1022	1077	1132	1180
601,7	—	898	955	1017	1075	1130	1185
609,6	—	892	942	1012	1070	1125	1178
617,7	—	888	945	1010	1067	1125	1180
627,4	—	890	940	1002	1062	1118	1170
637,5	—	885	932	1000	1064	1120	1175
645,8	—	882	933	1005	1062	1116	1172
653,7	—	880	928	1002	1060	1115	1170
661,6	—	876	930	1000	1057	1112	1168
669,4	—	874	925	998	1055	1112	1165
677,7	—	868	928	996	1054	1110	1160

Таблица 4.21
Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
жидкого *n*-тетрадекана при различных температурах и давлениях [8]

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа						
	0,098	4,9	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
307,8	1362	1384	1408	1437	1464	1495	1522
321,6	1332	1352	1368	1404	1440	1475	1502
334,7	1310	1323	1352	1386	1415	1447	1476
347,4	1282	1295	1318	1367	1388	1426	1462
361,6	1250	1272	1395	1325	1362	1407	1432
372,2	1230	1250	1270	1308	1355	1382	1410
383,7	1207	1233	1260	1292	1332	1368	1400
395,5	1190	1205	1228	1270	1305	1342	1376

Окончание таблицы 4.21

T, K	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,098	4,9	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
407,6	1160	1178	1205	1245	1282	1325	1368
417,9	1155	1162	1182	1237	1272	1307	1340
427,7	1145	1145	1175	1215	1254	1296	1325
438,7	1098	1127	1150	1192	1240	1277	1318
448,7	1084	1110	1132	1187	1222	1270	1304
458,7	1068	1090	1114	1172	1218	1255	1292
468,7	1046	1067	1102	1150	1198	1246	1283
478,6	1027	1060	1084	1132	1186	1227	1278
489,4	1012	1035	1074	1125	1178	1220	1270
501,5	994	1027	1065	1108	1163	1212	1260
509,8	985	1008	1048	1103	1157	1205	1251
520,0	—	1002	1041	1093	1148	1197	1242
527,7	—	984	1028	1089	1142	1190	1238
538,6	—	975	1020	1084	1132	1182	1230
547,4	—	964	1010	1073	1129	1178	1226
557,5	—	954	1005	1065	1122	1175	1222
568,7	—	945	995	1055	1113	1170	1218
575,8	—	942	990	1050	1112	1164	1215
585,7	—	940	990	1043	1107	1163	1212
592,9	—	932	980	1038	1102	1160	1210
601,7	—	930	982	1035	1100	1157	1205
609,6	—	927	976	1034	1095	1155	1202
617,7	—	925	970	1030	1091	1152	1200
627,4	—	918	972	1025	1090	1149	1200
637,5	—	917	965	1022	1085	1145	1195
645,8	—	912	962	1020	1083	1142	1190
653,7	—	912	955	1020	1082	1138	1192
661,6	—	908	954	1018	1078	1136	1190
669,4	—	911	950	1015	1075	1133	1188
677,7	—	902	948	1012	1070	1130	1182

Таблица 4.22

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
жидкого *n*-пентадекана при различных температурах и давлениях [8]

T, K	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,098	4,9	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
307,8	1390	1409	1425	1455	1485	1515	1552
321,6	1360	1380	1405	1434	1462	1490	1517
334,7	1334	1352	1369	1400	1427	1460	1496
347,4	1310	1325	1340	1375	1408	1440	1470
361,6	1284	1300	1320	1355	1382	1418	1445
372,2	1255	1272	1295	1320	1362	1394	1427

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,098	4,9	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
383,7	1232	1255	1274	1311	1353	1385	1418
395,5	1215	1236	1252	1287	1332	1365	1398
407,6	1191	1212	1234	1262	1310	1345	1382
417,9	1177	1181	1205	1244	1291	1332	1355
427,7	1142	1165	1195	1234	1275	1312	1345
438,7	1145	1141	1167	1208	1254	1295	1332
448,7	1124	1120	1150	1195	1240	1280	1321
458,7	1080	1107	1132	1181	1227	1270	1310
468,7	1062	1090	1115	1170	1215	1261	1302
478,6	1057	1075	1105	1155	1205	1245	1295
489,4	1042	1063	1094	1142	1198	1244	1281
501,5	1022	1045	1075	1130	1184	1231	1278
509,8	1004	1030	1072	1132	1180	1230	1275
520,0	992	1024	1055	1115	1167	1225	1272
527,7	—	1011	1054	1105	1160	1218	1265
538,6	—	995	1045	1098	1155	1210	1259
547,4	—	991	1032	1092	1150	1205	—
557,5	—	975	1024	1087	1148	1200	—
568,7	—	970	1018	1082	1140	1195	—
575,8	—	962	1015	1080	1137	1190	—
585,7	—	953	1005	1075	1134	1191	—
592,9	—	945	1002	1070	1130	1183	—
601,7	—	—	997	1068	1130	1180	—
609,6	—	—	995	1065	1125	1181	—
617,7	—	—	990	1063	1122	1175	—
627,4	—	—	985	1060	1120	1170	—
637,5	—	—	982	1061	1115	1168	—
645,8	—	—	980	1055	1114	1170	—
653,7	—	—	976	1052	1110	1167	—
661,6	—	—	972	1050	1110	1165	—
669,4	—	—	970	1045	1108	1160	—
677,7	—	—	965	1042	1104	1155	—

Таблица 4.23

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
н-гексадекана при различных температурах и давлениях [8]

t, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа					
	0,098	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
107,8	1414	1457	1486	1517	1540	1568
121,6	1395	1432	1458	1485	1515	1540
134,7	1366	1398	1440	1465	1484	1517
147,4	1332	1375	1405	1442	1468	1500
161,6	1310	1357	1385	1410	1436	1470
172,2	1280	1328	1362	1394	1418	1448
183,7	1265	1310	1346	1368	1405	1435
195,5	1242	1288	1320	1350	1380	1415
207,6	1216	1262	1305	1330	1358	1396
217,9	1202	1245	1280	1315	1350	1380
227,7	1180	1235	1262	1310	1335	1370
238,7	1160	1210	1246	1285	1325	1360
248,7	1142	1195	1232	1270	1312	1340
258,7	1122	1170	1224	1262	1300	1335
268,7	1110	1164	1205	1250	1290	1330
278,6	1097	1142	1190	1238	1282	1320
289,4	1075	1127	1185	1236	1278	1322
301,5	1048	1120	1170	1220	1260	1305
309,8	1045	1100	1165	1212	1264	1298
320,0	1026	1097	1150	1205	1252	1292
327,7	1012	1085	1145	1202	1248	1287
338,6	999	1080	1140	1192	1240	1282
347,4	992	1070	1127	1185	1235	1280
357,5	—	1060	1125	1180	1230	1272
368,7	—	1055	1115	1172	1225	1270
375,8	—	1045	1110	1170	1220	1270
385,7	—	1040	1105	1168	1218	1268
392,9	—	1040	1102	1160	1210	1260
401,7	—	1035	1098	1155	1208	1257
409,6	—	1028	1092	1152	1205	1252
417,7	—	1024	1090	1149	1200	1250
427,4	—	1020	1086	1145	1198	1248
437,5	—	1015	1085	1140	1196	1246
445,8	—	1010	1078	1140	1190	1240
453,7	—	1008	1080	1138	1188	1240
461,6	—	1002	1072	1132	1180	1235
469,4	—	1000	1070	1130	1182	1235
477,7	—	1000	1068	1125	1180	1228

Таблица 4 24

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
жидкого *n*-гептадекана при различных температурах и давлениях (II)**

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа						
	0,098	4,9	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
307,8	1437	1464	1488	1515	1536	1565	1592
321,6	1410	1435	1454	1482	1517	1542	1564
334,7	1392	1410	1428	1461	1495	1518	1545
347,4	1365	1380	1408	1435	1466	1493	1515
361,6	1340	1355	1372	1418	1447	1468	1497
372,2	1312	1332	1360	1390	1421	1446	1475
383,7	1292	1308	1335	1375	1402	1430	1464
395,5	1270	1293	1318	1355	1378	1407	1440
407,6	1247	1265	1293	1325	1362	1386	1422
417,9	1225	1250	1275	1315	1346	1377	1408
427,7	1210	1236	1255	1292	1325	1360	1406
438,7	1182	1208	1242	1283	1315	1354	1381
448,7	1178	1199	1218	1270	1300	1338	1377
458,7	1150	1176	1212	1255	1298	1335	1368
468,7	1142	1165	1188	1240	1286	1322	1350
478,6	1113	1142	1184	1221	1267	1305	1344
489,4	1094	1125	1157	1212	1262	1298	1332
501,5	1085	1118	1152	1202	1245	1292	1324
509,8	1067	1102	1143	1190	1243	1280	1321
520,0	1053	1092	1127	1181	1232	1275	1310
527,7	1040	1086	1116	1172	1224	1266	1306
538,6	1028	1072	1115	1165	1220	1261	1302
547,4	1024	1062	1102	1156	1211	1255	1299
557,5	1004	1055	1093	1150	1205	1252	1293
568,7	—	1046	1087	1142	1200	1246	1284
575,8	—	1032	1078	1135	1193	1244	1280
585,7	—	1030	1070	1133	1192	1237	1278
592,9	—	1023	1068	1128	1185	1234	1275
601,7	—	1015	1062	1125	1180	1232	1270
609,6	—	1013	1058	1115	1178	1225	1267
617,7	—	1005	1049	1119	1175	1225	1270
627,4	—	1002	1050	1110	1170	1216	1265
637,5	—	993	1043	1107	1165	1218	1257
645,8	—	992	1042	1100	1162	1212	1256
653,7	—	986	1035	1102	1156	1207	1255
661,6	—	982	1030	1104	1152	1212	1250
669,4	—	980	1028	1096	1150	1205	1257
677,7	—	970	1022	1088	1144	1200	1245

Таблица 4.25

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
н-октадекана при различных температурах и давлениях [8]

t, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0.098	4.9	9.8	19.6	29.4	39.2	49.0
131,6	1440	1464	1480	1512	1545	1568	1596
134,7	1412	1436	1462	1490	1515	1546	1580
147,4	1395	1410	1432	1459	1502	1525	1552
161,6	1360	1390	1406	1447	1485	1506	1525
172,2	1346	1370	1389	1422	1458	1480	1510
183,7	1328	1347	1380	1414	1442	1468	1492
195,5	1305	1332	1350	1385	1420	1450	1483
407,6	1282	1305	1330	1370	1398	1430	1452
417,9	1270	1288	1312	1355	1386	1416	1444
427,7	1250	1270	1295	1334	1372	1397	1430
438,7	1225	1258	1280	1325	1357	1390	1415
448,7	1205	1239	1270	1305	1349	1380	1408
458,7	1195	1224	1252	1296	1330	1366	1395
468,7	1165	1207	1236	1285	1324	1355	1385
478,6	1158	1194	1222	1270	1308	1345	1378
489,4	1132	1180	1207	1260	1298	1335	1372
501,5	1118	1155	1196	1245	1290	1330	1365
509,8	1102	1150	1180	1240	1277	1322	1363
520,0	1089	1140	1170	1231	1272	1315	1358
527,7	1080	1125	1158	1218	1265	1310	1355
538,6	1060	1118	1155	1210	1255	1305	1354
547,4	1054	1104	1145	1200	1252	1309	1348
557,5	1030	1092	1135	1198	1250	1297	1346
568,7	1021	1087	1132	1194	1242	1294	1340
575,8	1010	1075	1120	1185	1240	1292	1335
585,7	-	1070	1119	1175	1232	1288	1330
592,9	-	1065	1112	1174	1230	1285	1332
601,7	-	1055	1105	1170	1225	1282	1328
609,6	-	1052	1095	1165	1224	1280	1330
617,7	-	1045	1090	1160	1222	1278	1325
627,4	-	1040	1085	1155	1215	1275	1320
637,5	-	1034	1080	1147	1212	1270	1318
645,8	-	1030	1074	1144	1208	1265	1315
653,7	-	1020	1070	1135	1200	1260	1312
661,6	-	1010	1060	1132	1198	1257	1310
669,4	-	1008	1057	1130	1195	1255	1305
677,7	-	1004	1052	1132	1190	1257	1300

Таблица 4.10

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
жидкого *n*-нонадекана при различных температурах и давлениях [8]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,098	4,9	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
321,6	1465	1478	1500	1532	1560	1585	1610
334,7	1436	1455	1472	1506	1535	1572	1590
347,4	1415	1430	1457	1480	1520	1542	1567
361,6	1387	1404	1425	1465	1492	1515	1555
372,2	1367	1388	1403	1440	1474	1502	1530
383,7	1342	1366	1392	1424	1455	1486	1510
395,5	1330	1352	1370	1400	1442	1470	1504
407,6	1302	1312	1357	1395	1420	1445	1476
417,9	1290	1297	1330	1368	1399	1434	1465
427,7	1265	1277	1322	1355	1392	1426	1450
438,7	1246	1260	1302	1338	1376	1405	1446
448,7	1237	1246	1282	1332	1370	1399	1433
458,7	1212	1238	1278	1316	1350	1389	1420
468,7	1192	1212	1255	1300	1342	1378	1417
478,6	1184	1200	1243	1287	1330	1365	1414
489,4	1160	1190	1230	1280	1325	1360	1400
501,5	1146	1168	1213	1260	1310	1355	1397
509,8	1125	1160	1205	1256	1300	1347	1390
520,0	1112	1145	1200	1252	1298	1345	1387
527,7	1099	1135	1185	1240	1290	1337	1380
538,6	1082	1130	1175	1235	1284	1330	1378
547,4	1078	1114	1168	1228	1280	1327	1375
557,5	1062	1105	1155	1215	1270	1325	1370
568,7	1040	1092	1148	1212	1268	1322	1368
575,8	1038	1080	1142	1210	1265	1318	1365
585,7	1032	1078	1140	1205	1260	1314	1364
592,9	1027	1075	1130	1198	1256	1310	1360
601,7	—	1067	1125	1196	1252	1307	1356
609,6	—	1062	1120	1190	1248	1305	1352
617,7	—	1059	1112	1180	1242	1302	1350
627,4	—	1059	1107	1174	1237	1298	1348
637,5	—	1049	1102	1165	1232	1296	1345
645,8	—	1042	1094	1162	1230	1290	1346
653,7	—	1040	1089	1160	1230	1292	1340
661,6	—	1027	1085	1152	1220	1287	1342
669,4	—	1025	1080	1150	1222	1280	1340
677,7	—	1018	1075	1146	1215	1285	1337

Таблица 4.27

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
 жидкого *n*-эйкозана при различных температурах и давлениях [94]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа					
	0,1	10	20	30	40	50
330	147	150	153	156	159	162
340	144	148	151	154	157	160
360	140	143	147	150	153	157
380	135	139	143	147	150	154
400	131	135	140	143	147	151
420	126	131	136	140	144	148
440	122	128	133	137	141	145
460	118	124	129	134	138	142
470	116	122	127	132	137	141

Таблица 4.28

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
n-гепэйкозана при различных температурах и давлениях [94]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа					
	0,1	10	20	30	40	50
330	149	153	156	159	162	165
340	147	151	154	157	160	163
360	142	146	149	153	157	160
380	137	142	146	150	153	156
400	133	138	142	146	150	153
420	129	134	139	143	147	151
440	125	131	135	140	144	148
460	121	128	132	137	141	145
470	119	126	131	136	140	144

Таблица 4.29

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
n-докозана при различных температурах и давлениях [94]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа					
	0,1	10	20	30	40	50
330	151	155	158	161	164	167
340	149	153	156	159	162	167
350	147	151	154	158	161	164
360	145	149	152	156	159	162
370	143	147	151	154	158	161
380	141	145	149	152	156	159

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа					
	0,1	10	20	30	40	50
390	139	143	147	151	154	158
450	128	133	138	142	146	150
460	126	132	136	141	144	149
470	125	130	135	140	143	148

Таблица 4.30

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
n-трикозана при различных температурах и давлениях [94]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа					
	0,1	10	20	30	40	50
350	148	152	155	159	162	165
360	146	150	154	157	160	163
380	141	146	150	154	157	160
400	137	142	146	150	154	157
420	133	138	143	147	151	155
440	130	135	140	144	148	152
460	126	132	137	141	146	149
470	124	130	135	140	144	148

Таблица 4.31

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
n-тетракозана при различных температурах и давлениях [94]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа					
	0,1	10	20	30	40	50
350	150	154	158	161	164	168
360	148	152	156	159	163	166
370	146	150	154	157	161	164
380	144	148	152	156	159	162
390	142	146	150	164	158	161
400	140	145	149	152	156	160
410	138	143	147	151	155	158
420	136	141	145	150	153	157
430	134	139	144	148	152	155
440	133	137	142	147	151	154
450	131	135	141	145	149	153
460	129	134	139	144	148	152
470	127	132	138	143	147	151

4.10. Коэффициенты теплопроводности олефиновых углеводородов

Таблица 4.32

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
этилена при различных температурах и давлениях [94]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,1	2,5	5,0	7,0	10	12,5	15
110	252	255	258	259	262	263	264
120	243	247	250	251	252	253	254
140	222	226	230	231	234	235	236
160	200	203	208	209	211	213	215
180	9,67	181	185	187	191	194	196
200	11,0	163	163	164	166	169	172
210	11,7	152	152	153	154	158	162
220	12,5	140	140	141	143	147	151
230	13,3	128	129	131	133	137	141
240	14,2	112	118	120	123	127	131
250	15,2	—	106	110	113	117	121
260	16,2	—	95,0	99,0	105	109	113
270	17,2	20,4	—	86,8	96,0	100	104
280	18,3	21,4	—	—	87,0	93,0	98,0
290	19,4	22,2	—	—	—	86,0	91,8
300	20,6	23,2	32,3	—	—	—	84,6
310	21,8	24,2	31,1	42,2	64,5	—	78,1
320	23,0	25,3	30,3	38,0	57,8	—	72,5
330	24,3	26,5	30,3	36,2	50,8	59,5	67,6
340	25,5	27,7	31,2	35,6	46,6	55,0	63,6
350	27,0	29,0	32,2	36,0	44,2	52,0	60,6
360	28,6	30,5	33,5	36,6	43,4	50,9	58,0
370	29,6	31,4	34,2	37,4	43,0	50,0	56,1
380	31,2	32,9	35,6	38,3	43,5	49,3	54,8
390	32,7	34,4	36,9	39,6	44,1	49,0	54,2
400	34,2	35,8	38,3	40,9	45,0	49,1	53,8
410	35,8	37,4	39,6	42,2	45,9	49,5	53,9
420	37,5	39,0	41,2	43,6	46,9	50,2	54,2
430	39,0	40,5	42,5	45,0	48,0	51,0	54,6
440	40,8	42,2	44,2	46,5	49,3	52,0	55,5
450	42,4	43,8	45,7	47,7	50,5	53,1	56,4
460	44,1	45,4	47,2	49,1	51,9	54,3	57,4
470	46,0	47,3	49,1	50,5	53,6	55,6	58,6

Продолжение таблицы 4.1

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа						
	20	25	30	35	40	45	50
110	266	268	270	—	—	—	—
120	256	259	261	—	—	—	—
130	248	250	252	255	257	259	261
140	238	240	242	245	248	250	252
150	228	231	233	236	239	242	244
160	219	222	224	228	231	233	235
170	210	213	215	219	223	225	227
180	201	204	206	211	215	218	220
190	190	194	197	202	206	210	213
200	178	183	188	203	198	202	205
210	169	174	178	183	188	192	196
220	158	163	168	173	178	182	186
230	149	154	158	164	169	174	178
240	140	145	149	155	160	165	169
250	130	136	141	147	152	157	161
260	121	127	133	139	144	149	153
270	113	120	126	132	137	142	146
280	106	113	120	126	131	136	140
290	99,0	106	113	119	125	130	134
300	93,1	100	107	113	119	124	129
310	86,8	94,5	102	108	114	119	124
320	82,8	91,0	97,9	104	110	115	119
330	78,0	86,8	93,7	99,8	106	111	116
340	74,6	83,3	90,1	96,2	102	107	112
350	71,3	80,1	87,0	93,0	99,0	104	109
360	68,6	77,3	84,0	90,0	96,0	101	106
370	66,5	75,1	81,8	87,6	93,5	98,3	103
380	64,5	73,0	79,6	85,3	91,1	95,9	101
390	63,8	70,8	78,0	83,5	89,0	93,6	98,1
400	62,8	70,3	77,1	82,7	88,1	91,9	97,3
410	62,3	69,8	76,3	81,8	87,0	91,6	96,2
420	62,2	69,4	75,7	81,0	86,0	90,5	95,0
430	62,3	69,2	75,3	80,4	85,4	89,8	94,2
440	62,6	69,2	75,0	80,1	85,0	89,3	93,6
450	63,0	69,5	75,0	79,9	84,5	88,8	93,0
460	69,7	69,9	75,2	79,8	84,5	88,4	92,7
470	64,5	70,6	75,5	80,0	84,5	88,4	92,4

Окончание таблицы 4.32

t, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	60	80	100	120	140	160	180	200
100	138	153	168	180	193	204	216	228
110	133	148	163	175	188	199	211	222
120	128	144	158	171	184	195	206	217
130	124	140	153	167	179	190	202	212
140	121	137	149	163	175	186	197	208
150	117	133	146	159	171	183	194	203
160	114	130	143	156	168	179	190	200
170	112	128	140	153	165	176	187	196
180	110	125	138	150	162	173	184	193
190	108	123	135	148	159	170	181	190
200	106	121	133	146	157	167	178	187
210	104	118	132	144	155	165	176	184
220	103	117	130	142	152	163	173	182
230	102	116	128	140	150	161	171	180
240	102	115	127	139	149	159	168	178
250	101	114	126	137	147	158	167	176
260	100	113	125	136	146	157	166	174
270	100	112	124	134	144	155	164	172

Таблица 4.33
Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
этилена на линии насыщения [87]

T, К	P, МПа	$\lambda_{\text{диск}}$	$\lambda_{\text{иср}}$
160	0,056	201	6,7
170	0,105	188	7,6
180	0,182	176	8,5
190	0,296	165	9,4
200	0,456	153	10,5
210	0,672	142	11,7
220	0,956	131	13,0
230	1,318	121	14,5
240	1,771	111	16,4
250	2,328	101	18,7
260	3,003	92	21,5
270	3,811	81	25,6
280	4,821	67	33,9

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
газообразного этилена при $P = 0,1$ МПа [94]**

T, К	λ	T, К	λ	T, К	λ	T, К	λ
300	21,2	360	28,9	420	38,2	480	47,2
320	23,5	380	31,9	440	41,3	500	49,8
340	26,1	400	35,1	460	44,4	520	51,1

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
пропилена при различных температурах и давлениях [94]**

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа								
	0,1	2,0	5,0	10	15	20	30	40	60
180	177	179	181	184	186	188	192	194	198
200	161	163	166	170	173	176	180	185	189
220	146	148	152	157	162	166	170	176	180
240	11,7	135	139	145	151	156	161	166	171
260	13,5	123	128	134	141	147	153	158	163
280	15,5	112	117	124	132	137	145	149	153
300	17,6	100	106	114	122	129	137	142	147
310	18,8	95,0	100	108	118	125	134	138	144
320	20,0	89,4	95,0	—	113	120	130	135	141
330	21,1	25,4	90,0	—	109	117	126	132	137
340	22,2	26,2	85,0	—	—	113	123	129	134
350	23,5	27,0	—	—	—	109	120	126	132
360	24,8	28,0	—	—	—	106	116	123	129
370	26,0	29,0	—	—	—	102	114	121	126
380	27,3	30,1	—	—	90,0	98,9	111	118	124
390	28,6	31,2	—	—	86,7	95,8	108	116	122
400	30,0	32,3	38,4	69,4	83,5	92,8	105	114	120
410	31,4	33,4	38,5	65,6	80,4	90,0	103	111	118
420	32,7	34,5	39,0	62,5	77,6	87,2	100	110	116
430	34,0	35,7	40,0	60,0	75,0	84,6	98,0	108	114
440	35,3	36,9	40,8	58,0	72,4	82,4	96,0	106	113
450	36,7	38,0	41,8	56,4	70,4	80,4	94,0	104	111
460	38,0	39,3	42,9	55,0	68,4	78,6	92,2	103	110
480	40,7	41,8	45,1	54,0	65,7	75,8	89,0	99,9	108
500	43,5	44,4	47,5	54,5	64,1	73,8	86,3	97,4	106
520	46,3	47,1	50,1	55,8	64,0	72,5	84,5	95,0	104
540	49,1	50,0	52,7	57,7	64,4	72,4	83,5	93,5	102
560	52,0	53,0	55,5	60,4	65,6	72,6	82,8	92,4	101
580	55,0	55,9	58,4	62,8	67,4	73,3	82,6	91,8	101
600	57,9	58,9	61,3	65,5	69,5	74,5	83,2	91,8	101
620	60,9	61,9	64,2	67,4	72,6	76,7	85,0	93,0	101

Таблица 4.36

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
жидкого пропилена при $P = 0,1$ МПа [94]

T, K	λ	T, K	λ
100	219	180	177
120	216	200	161
140	208	220	146
160	193		

Таблица 4.37

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
пропилена на линии насыщения [1]

T, K	$P, \text{МПа}$	$\lambda_{\text{жидк}}$	$\lambda_{\text{пар}}$
111,15	0,147	1193	113
121,15	0,212	1156	124
131,15	0,295	1118	132
141,15	0,415	1080	142
151,15	0,564	1040	153
161,15	0,750	1001	163
171,15	0,973	957	174
181,15	1,281	913	186
191,15	1,593	867	199
201,15	1,970	821	218
211,15	2,460	775	243
241,2	3,000	731	274
251,15	3,651	664	324
258,15	3,980	620	360
263,15	4,403	561	414
265,05	4,495	467	467

Таблица 4.38

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
изобутилена при различных температурах и давлениях [1, 68]

T, K	Коэффициент теплопроводности при $P, \text{МПа}$							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
101,2	1796	1801	1806	1809	1813	1816	1828	1844
111,2	1684	1695	1706	1711	1716	1721	1733	1755
121,2	1500	1509	1517	1523	1529	1535	1555	1582
131,2	1340	1350	1359	1367	1376	1384	1404	1437
141,2	1208	1216	1223	1230	1238	1245	1274	1311
151,2	1138	1105	1120	1127	1134	1140	1168	1205
161,2	1158	1023	1037	1044	1051	1057	1085	1120

Продолжение таблицы 4.38

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
313,2	181	964	967	974	980	987	1015	1048
333,2	203	901	904	911	917	924	950	983
353,2	226	238	844	850	856	862	884	920
373,2	251	263	791	799	806	814	834	866
393,2	278	286	293	452	603	754	779	816
413,2	304	306	315	375	560	600	728	765
433,2	331	339	347	345	382	460	683	718
453,2	360	368	375	389	404	419	643	683
473,2	391	399	406	415	425	434	613	652
493,2	421	428	434	443	452	460	587	625
513,2	451	458	465	472	479	486	573	610
533,2	482	487	492	499	505	512	570	603
553,2	512	517	522	527	532	537	573	605
573,2	543	548	553	557	561	565	588	610

Окончание таблицы 4.38

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	20	25	30	35	40	45	50
183,2	1862	1875	1888	1900	1912	1924	1935
193,2	1780	1793	1805	1818	1831	1846	1860
213,2	1608	1628	1647	1664	1681	1695	1708
233,2	1470	1490	1509	1530	1550	1568	1586
253,2	1342	1375	1407	1422	1437	1460	1483
273,2	1240	1267	1293	1319	1344	1372	1398
293,2	1153	1180	1206	1233	1259	1285	1312
313,2	1081	1106	1130	1159	1187	1214	1240
333,2	1015	1040	1064	1093	1121	1149	1176
353,2	947	974	1000	1040	1080	1098	1116
373,2	897	896	954	985	1015	1043	1070
393,2	844	874	904	946	987	1008	1028
413,2	796	822	848	886	924	955	986
433,2	754	785	816	851	886	918	950
453,2	718	749	780	825	869	895	920
473,2	689	720	750	785	819	856	892
493,2	666	696	726	760	794	831	867
513,2	646	677	708	744	779	815	850
533,2	636	668	700	735	769	802	834
553,2	633	663	693	697	761	793	824
573,2	636	666	695	726	756	787	817

Таблица 4.39

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
изобутилена на линии насыщения [1]**

T, K	P, MPa	$\lambda_{\text{жид}}$	$\lambda_{\text{пар}}$
273,15	0,128	1130	128
283,15	0,181	1104	140
293,15	0,250	1076	151
303,15	0,339	1047	165
313,15	0,449	1022	177
323,15	0,588	991	189
333,15	0,666	963	202
343,25	0,950	931	221
353,15	1,185	900	237
358,15	1,320	885	247
363,15	1,461	871	254
368,15	1,614	854	263
373,15	1,796	837	272
383,15	2,164	801	293
393,15	2,583	763	314
403,05	3,056	723	337
408,15	—	690	368
413,15	3,586	644	412
417,88	3,906	523	523

Таблица 4.40

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газообразного бутена-1 при различных температурах [88]**

T, K	λ	T, K	λ	T, K	λ
273,15	124,7	413,15	283,9	553,15	473,5
293,15	145,5	433,15	309,8	573,15	501,6
313,15	166,5	453,15	336,3	623,15	571,7
333,15	188,2	473,15	362,6	673,15	642,8
353,15	211,4	493,15	390,5	723,15	710,0
373,15	233,7	513,15	419,0	773,15	776,9
393,15	258,6	533,15	447,6		

Таблица 4.41

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газообразного пентена-1 при различных температурах [88]**

T, K	λ	T, K	λ	T, K	λ
273,15	112,9	353,15	193,7	433,15	285,3
293,15	132,2	373,15	215,8	453,15	310,4
313,15	151,4	393,15	238,6	473,15	335,7
333,15	172,0	413,15	261,5	493,15	361,3

Окончание таблицы 4.41

T, K	λ	T, K	λ
515,15	387,1	623,15	534,1
533,15	414,1	673,15	601,6
553,15	441,6	723,15	669,0
573,15	468,2	773,15	735,3

Таблица 4.42

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
гексена-1 при различных температурах и давлениях [52]

T, K	Коэффициент теплопроводности при P , МПа						
	0,1	1,0	2,0	5,0	10	15	20
273,2	1274	1278	1282	1291	1307	1323	1338
298,2	1208	1213	1218	1228	1246	1264	1281
323,2	1144	1149	1154	1164	1184	1204	1224
348,2	174	1086	1092	1104	1127	1150	1172
373,2	201	1026	1032	1048	1074	1098	1121
398,2	228	966	973	992	1022	1049	1074
423,2	256	906	912	938	973	1005	1033
448,2	284	296	850	882	926	965	997
473,2	314	324	774	826	880	930	964
498,2	345	354	378	756	839	897	933
523,2	375	385	400	661	788	861	903
548,2	408	417	428	574	741	827	873
573,2	441	449	458	549	705	794	842
598,2	475	482	491	555	675	764	811
623,2	509	516	525	574	652	734	782

Продолжение таблицы 4.42

T, K	Коэффициент теплопроводности при P , МПа					
	25	30	35	40	45	50
273,2	1353	1368	1383	1397	1412	1425
298,2	1297	1313	1329	1344	1359	1374
323,2	1242	1260	1278	1295	1313	1329
348,2	1192	1211	1230	1248	1266	1283
373,2	1142	1162	1182	1201	1220	1239
398,2	1097	1119	1140	1161	1182	1201
423,2	1058	1082	1105	1127	1148	1168
448,2	1022	1047	1070	1093	1115	1135
473,2	991	1016	1040	1063	1084	1104
498,2	960	985	1010	1033	1055	1076
523,2	930	956	981	1005	1028	1050

Окончание таблицы 4.42

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа					
	25	30	35	40	45	50
548,2	901	928	955	981	1004	1027
573,2	872	901	929	955	981	1005
598,2	843	874	904	932	959	984
623,2	816	849	880	910	888	965

Таблица 4.43

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
гептена-1 при P = 0,1 МПа [94]

T, К	λ	T, К	λ	T, К	λ	T, К	λ
170	160	220	148	280	130	340	113
180	159	240	142	300	125	350	110
200	154	260	136	320	119		

Таблица 4.44

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
паров гептена-1 при P = 0,1 МПа [94]

T, К	λ	T, К	λ	T, К	λ	T, К	λ
380	19,5	460	28,0	540	37,3	620	47,1
400	21,5	480	30,2	560	39,6	640	49,8
420	23,6	500	32,5	580	42,0	660	52,5
440	25,8	520	34,9	600	44,5	670	53,8

Таблица 4.45

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
гептена-1 при различных температурах и давлениях [52]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,1	1,0	2,0	5,0	10	15	20
273,2	1312	1316	1328	1328	1344	1358	1374
298,2	1249	1254	1258	1268	1285	1302	1319
323,2	1187	1192	1197	1208	1228	1247	1265
348,2	1129	1133	1138	1150	1171	1192	1213
373,2	188	1074	1080	1094	1119	1143	1166
398,2	214	1017	1023	1039	1068	1097	1123
423,2	240	963	970	988	1020	1051	1081
448,2	267	910	919	940	978	1013	1045
473,2	295	314	866	899	942	980	1012
498,2	323	338	809	853	905	947	979
523,2	353	364	400	796	865	915	948
548,2	383	393	414	710	822	885	919
573,2	413	423	438	610	778	851	890
598,2	444	454	464	568	736	819	852
623,2	476	485	497	566	703	787	834

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа					
	25	30	35	40	45	50
273,2	1391	1406	1422	1437	1452	1466
298,2	1336	1352	1369	1385	1401	1416
323,2	1283	1300	1317	1334	1351	1367
348,2	1234	1254	1274	1293	1311	1329
373,2	1188	1209	1230	1251	1271	1290
398,2	1146	1168	1190	1210	1231	1251
423,2	1105	1129	1151	1173	1194	1214
448,2	1070	1093	1116	1138	1159	1180
473,2	1037	1061	1084	1106	1128	1149
498,2	1004	1029	1052	1075	1098	1120
523,2	975	1000	1025	1048	1072	1095
548,2	947	973	998	1023	1047	1071
573,2	919	946	973	999	1025	1049
598,2	886	920	948	975	1002	1028
623,2	865	895	925	954	983	1010

Таблица 4.46

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
жидкого октена-1 при $P = 0,1$ МПа [94]

T, К	λ	T, К	λ	T, К	λ
200	151	280	131	360	110
220	146	300	126	380	106
240	141	320	121		
260	136	340	116		

Таблица 4.47

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
паров октена-1 при $P = 0,1$ МПа [94]

T, К	λ	T, К	λ	T, К	λ
420	21,7	520	32,3	620	44,5
440	23,5	540	34,7	640	47,0
460	25,5	560	37,2	660	49,6
480	27,7	580	39,6		
500	30,0	600	42,0		

Таблица 4.48

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
октена-1 при различных температурах и давлениях [94]

t, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа								
	0,1	2,0	5,0	10	15	20	30	40	50
100	131	131	132	133	135	137	139	143	145
100	126	126	127	128	130	132	135	138	141
120	121	121	122	123	126	128	131	134	138
140	116	116	118	119	122	124	127	131	134
160	110	112	114	116	118	120	124	128	131
180	106	106	109	112	114	117	121	125	129
200	—	103	106	109	111	114	118	123	126
220	21,7	99,5	102	106	108	111	116	120	124
240	23,5	96,0	98,4	103	105	109	114	118	122
260	25,5	92,5	95,0	100	103	106	111	116	121
280	27,7	89,2	91,6	97,2	100	104	109	114	119
300	30,0	85,7	88,2	94,5	97,9	101	107	113	118
320	32,3	82,0	84,6	91,8	95,5	99,2	105	111	116
340	34,7	—	80,5	89,0	93,3	97,0	103	109	115
360	37,2	—	76,2	86,4	91,3	94,9	101	108	114
370	38,4	—	74,0	85,0	90,2	93,8	100	107	113

Таблица 4.49

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
жидкого нонена-1 при различных температурах и давлениях [8]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,098	4,9	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
107,8	1174	1197	1223	1272	1320	1351	1385
121,6	1135	1156	1185	1243	1286	1310	1362
134,7	1097	1136	1162	1222	1260	1302	1340
147,4	1065	1107	1135	1185	1232	1280	1311
161,6	1046	1066	1092	1156	1210	1250	1280
172,2	1005	1038	1073	1125	1180	1222	1264
183,7	981	1019	1052	1110	1157	1203	1238
195,5	960	982	1020	1080	1132	1176	1219
207,6	932	968	1002	1062	1113	1152	1192
217,9	—	941	975	1032	1085	1135	1176
227,7	—	918	960	1024	1076	1125	1157
238,7	—	904	937	1007	1054	1100	1148
248,7	—	875	918	985	1037	1082	1133
258,7	—	865	912	968	1027	1072	1115

Окончание таблицы 4.50

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,098	4,9	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
468,7	—	852	887	960	1010	1060	1110
478,6	—	827	875	940	995	1042	1091
489,4	—	815	858	932	985	1037	1088
501,5	—	802	852	915	977	1025	1082
509,8	—	792	837	912	968	1024	1070
520,0	—	780	830	902	964	1015	1065
527,7	—	—	825	895	953	1012	1064
538,6	—	—	817	890	945	1005	1056
547,4	—	—	806	885	940	1007	1051
557,5	—	—	804	875	941	1002	1052
568,7	—	—	792	872	938	995	1048
575,8	—	—	787	864	934	997	1050
585,7	—	—	790	862	927	998	1052
592,9	—	—	782	858	925	992	1048
601,7	—	—	780	855	928	995	1046
609,6	—	—	775	852	923	988	1050
617,7	—	—	780	850	925	992	1050
627,4	—	—	774	848	927	987	1047
637,5	—	—	778	854	925	995	1055
645,8	—	—	772	860	930	992	1050
653,7	—	—	780	857	930	997	1057
661,6	—	—	782	860	934	999	1055
669,4	—	—	784	868	937	998	1062
677,7	—	—	790	870	940	1005	1065

Таблица 4.50

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
жидкого децана-1 при различных температурах и давлениях [8]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,098	4,9	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
307,8	1202	1222	1240	1280	1324	1362	1395
321,6	1162	1185	1207	1250	1302	1335	1375
334,7	1140	1165	1182	1230	1275	1317	1350
347,4	1103	1132	1157	1205	1244	1290	1330
361,6	1080	1103	1136	1184	1225	1266	1307
372,2	1047	1074	1108	1156	1208	1242	1283
383,7	1033	1057	1082	1135	1187	1225	1270
395,5	995	1035	1065	1124	1173	1220	1245
407,6	978	1008	1045	1092	1145	1190	1240

Окончание таблицы 4.50

t, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,098	4,9	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
417,9	945	982	1012	1078	1135	1182	1215
417,7	932	965	1003	1067	1117	1165	1207
418,7	—	940	976	1043	1108	1157	1190
418,7	—	930	970	1035	1090	1141	1185
418,7	—	905	942	1025	1075	1133	1170
418,7	—	890	935	1004	1068	1115	1166
418,6	—	878	912	994	1050	1102	1152
419,4	—	864	907	975	1042	1099	1142
501,5	—	835	890	956	1025	1080	1128
509,8	—	830	881	948	1018	1075	1130
520,0	—	812	865	942	1012	1065	1120
527,7	—	807	856	928	995	1064	1122
538,6	—	787	850	924	992	1050	1110
547,4	—	—	842	910	980	1040	1105
557,5	—	—	827	907	975	1037	1093
568,7	—	—	815	892	965	1026	1088
575,8	—	—	812	888	964	1020	1090
585,7	—	—	805	887	952	1018	1082
592,9	—	—	797	875	947	1014	1080
601,7	—	—	790	870	942	1007	1078
609,6	—	—	780	862	930	1005	1076
617,7	—	—	775	858	927	1000	1065
627,4	—	—	772	843	920	995	1058
637,5	—	—	760	839	920	987	1060
645,8	—	—	758	842	917	985	1053
653,7	—	—	757	835	914	984	1050
661,6	—	—	751	832	912	978	1047
669,4	—	—	750	830	905	980	1046
677,7	—	—	745	827	902	975	1042

Таблица 4.51
 Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
 жидкого углецена-1 при различных температурах и давлениях [8]

t, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,098	4,9	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
307,8	1227	1255	1276	1308	1350	1392	1430
321,6	1195	1224	1245	1288	1328	1362	1402
334,7	1166	1195	1220	1261	1302	1347	1387
347,4	1145	1172	1192	1234	1285	1320	1360
361,6	1106	1134	1165	1205	1254	1292	1333

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,098	4,9	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
372,2	1088	1115	1144	1192	1230	1285	1330
383,7	1056	1085	1112	1160	1220	1270	1308
395,5	1036	1075	1100	1148	1202	1241	1283
407,6	1005	1044	1080	1125	1187	1234	1277
417,9	992	1023	1053	1105	1162	1220	1260
427,7	965	1002	1033	1087	1147	1202	1255
438,7	951	984	1010	1079	1130	1197	1238
448,7	930	961	992	1060	1123	1180	1230
458,7	—	952	978	1054	1105	1165	1224
468,7	—	932	975	1035	1097	1158	1215
478,6	—	925	955	1018	1084	1142	1208
489,4	—	902	938	1010	1080	1138	1199
501,5	—	882	928	1002	1068	1130	1192
509,8	—	875	912	988	1062	1122	1184
520,0	—	868	904	984	1055	1115	1182
527,7	—	855	899	970	1042	1106	1174
538,6	—	842	880	960	1035	1102	1164
547,4	—	834	876	952	1032	1090	1157
557,5	—	818	870	938	1020	1088	1160
568,7	—	816	857	935	1008	1080	1145
575,8	—	808	851	925	1005	1070	1138
585,7	—	802	852	924	998	1075	1140
592,9	—	795	843	918	996	1070	1132
601,7	—	790	839	912	987	1060	1130
609,6	—	792	830	910	985	1058	1125
617,7	—	786	830	906	982	1055	1120
627,4	—	779	820	900	976	1052	1125
637,5	—	775	818	892	970	1049	1120
645,8	—	770	812	895	975	1042	1115
653,7	—	768	812	896	970	1045	1114
661,6	—	765	808	890	968	1044	1110
669,4	—	762	804	887	962	1042	1108
677,7	—	760	802	888	967	1040	1105

Таблица 4.52

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
 шидного додецена-1 при различных температурах и давлениях [8]

t, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,098	4,9	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
107,8	1254	1282	1302	1342	1380	1413	1444
121,6	1230	1252	1275	1318	1352	1385	1425
134,7	1202	1225	1244	1285	1328	1374	1402
147,4	1168	1203	1228	1265	1304	1345	1377
161,6	1142	1166	1194	1247	1285	1332	1365
172,2	1126	1143	1168	1219	1258	1304	1336
183,7	1092	1117	1150	1196	1245	1284	1325
195,5	1076	1105	1134	1175	1230	1270	1314
407,6	1045	1080	1105	1160	1205	1242	1290
417,9	1030	1051	1089	1143	1180	1230	1267
427,7	1000	1033	1064	1114	1177	1224	1262
438,7	987	1015	1055	1102	1155	1198	1242
448,7	968	992	1025	1085	1134	1195	1238
458,7	952	980	1007	1062	1127	1174	1222
468,7	935	965	1002	1060	1122	1163	1205
478,6	—	945	978	1043	1097	1148	1200
489,4	—	934	972	1030	1090	1149	1195
501,5	—	912	955	1025	1080	1032	1178
509,8	—	902	949	1015	1075	1125	1174
520,0	—	896	932	1000	1064	1114	1160
527,7	—	882	928	998	1058	1112	1158
538,6	—	875	912	990	1055	1110	1150
547,4	—	868	910	985	1044	1100	1142
557,5	—	853	905	980	1042	1095	1145
568,7	—	848	890	970	1030	1087	1142
575,8	—	840	887	973	1030	1090	1140
585,7	—	831	880	964	1028	1085	1135
592,9	—	825	877	957	1024	1082	1134
601,7	—	818	865	955	1015	1080	1130
609,6	—	812	868	947	1018	1075	1135
617,7	—	810	860	945	1010	1075	1130
627,4	—	800	855	938	1012	1070	1128
637,5	—	802	857	938	1002	1074	1130
645,8	—	798	845	930	1005	1065	1128
653,7	—	795	848	932	1007	1064	1120
661,6	—	790	842	920	998	1060	1125
669,4	—	788	840	925	997	1062	1122
677,7	—	785	840	920	995	1054	1120

Таблица 4

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
жидкого тридецена-1 при различных температурах и давлениях [1]**

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,098	4,9	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
307,8	1284	1305	1320	1358	1390	1420	1445
321,6	1252	1275	1304	1332	1365	1395	1428
334,7	1230	1247	1270	1304	1342	1370	1405
347,4	1208	1230	1243	1289	1318	1354	1380
361,6	1168	1200	1222	1270	1300	1340	1367
372,2	1153	1172	1205	1244	1275	1318	1348
383,7	1127	1160	1180	1220	1260	1310	1337
395,5	1110	1137	1162	1212	1245	1280	1324
407,6	1090	1112	1134	1185	1235	1270	1299
417,9	1060	1097	1125	1168	1204	1252	1295
427,7	1052	1076	1100	1147	1198	1245	1278
438,7	1030	1064	1092	1140	1192	1225	1267
448,7	1003	1042	1066	1124	1170	1220	1252
458,7	992	1033	1055	1118	1165	1212	1246
468,7	978	1010	1047	1100	1157	1198	1242
478,6	955	992	1026	1084	1142	1183	1227
489,4	942	985	1020	1080	1137	1180	1224
501,5	920	964	995	1067	1115	1172	1218
509,8	—	945	989	1064	1112	1168	1210
520,0	—	940	982	1050	1102	1156	1205
527,7	—	927	965	1038	1105	1154	1192
538,6	—	920	958	1035	1092	1138	1190
547,4	—	910	945	1025	1083	1136	1188
557,5	—	905	946	1022	1080	1130	1182
568,7	—	902	934	1015	1077	1132	1170
575,8	—	883	932	1005	1070	1125	1172
585,7	—	878	925	1007	1068	1124	1165
592,9	—	875	920	1000	1058	1117	1167
601,7	—	865	918	995	1056	1112	1164
609,6	—	858	907	994	1055	1114	1167
617,7	—	860	910	985	1054	1105	1156
627,4	—	856	904	982	1045	1108	1155
637,5	—	850	897	980	1048	1106	1152
645,8	—	842	898	982	1045	1095	1148
653,7	—	835	890	968	1038	1102	1150
661,6	—	840	890	970	1040	1096	1146
669,4	—	835	892	965	1037	1090	1140
677,7	—	834	885	962	1034	1085	1136

Таблица 4.54

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
жидкого тетрадецена-1 при различных температурах и давлениях [8]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,098	4,9	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
107,8	1307	1326	1354	1387	1421	1452	1485
121,6	1280	1305	1325	1360	1406	1431	1455
134,7	1252	1274	1296	1343	1375	1406	1440
147,4	1235	1255	1282	1315	1356	1390	1422
161,6	1199	1224	1247	1286	1330	1365	1396
172,2	1185	1198	1230	1280	1315	1355	1380
183,7	1160	1182	1210	1254	1289	1330	1370
195,5	1140	1155	1194	1238	1274	1310	1345
407,6	1115	1140	1168	1210	1265	1290	1330
417,9	1095	1108	1153	1194	1237	1288	1315
427,7	1078	1099	1130	1180	1224	1265	1310
438,7	1062	1085	1110	1162	1217	1258	1304
448,7	1041	1062	1089	1142	1198	1243	1282
458,7	1062	1046	1085	1139	1186	1230	1280
468,7	992	1076	1063	1120	1182	1225	1273
478,6	980	1018	1044	1114	1165	1220	1268
489,4	965	1007	1040	1100	1160	1208	1252
501,5	950	985	1022	1095	1143	1192	1242
509,8	—	980	1018	1082	1140	1190	1240
520,0	—	959	1011	1076	1135	1185	1225
527,7	—	947	998	1065	1136	1180	1223
538,6	—	942	985	1062	1120	1168	1224
547,4	—	931	980	1053	1118	1165	1212
557,5	—	925	973	1047	1107	1162	1209
568,7	—	913	964	1039	1104	1154	1205
575,8	—	910	962	1037	1095	1155	1190
585,7	—	907	964	1032	1093	1145	1198
592,9	—	899	953	1026	1087	1147	1195
601,7	—	898	947	1017	1085	1142	1190
609,6	—	890	940	1020	1081	1138	1188
617,7	—	888	941	1015	1080	1140	1185
627,4	—	884	935	1015	1078	1136	1187
637,5	—	877	938	1002	1075	1134	1185
645,8	—	880	930	1005	1070	1130	1184
653,7	—	875	927	1000	1070	1128	1180
661,6	—	873	925	999	1068	1125	1175
669,4	—	870	925	995	1065	1124	1175
677,7	—	868	923	992	1063	1120	1172

Таблица 4.08

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
жидкого тетрадецена-1 вблизи линии насыщения [94]**

T, К	λ	T, К	λ	T, К	λ	T, К	λ
280	139	340	128	400	117	460	109
290	137	350	126	410	115	470	108
300	135	360	124	420	113	480	107
310	134	370	122	430	111	490	99,9
320	132	380	120	440	109	500	97,7
330	130	390	118	450	107		

Таблица 4.09

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
жидкого пентадецена-1 при различных температурах и давлениях [11]**

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,098	4,9	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
307,8	1335	1351	1368	1402	1430	1462	1498
321,6	1302	1325	1340	1378	1415	1440	1470
334,7	1280	1305	1325	1360	1390	1422	1445
347,4	1260	1278	1296	1328	1374	1400	1435
361,6	1225	1250	1265	1310	1340	1383	1417
372,2	1202	1232	1257	1292	1325	1355	1392
383,7	1188	1214	1230	1267	1313	1346	1380
395,5	1160	1183	1210	1250	1289	1320	1370
407,6	1145	1160	1182	1235	1278	1315	1347
417,9	1120	1146	1170	1222	1265	1294	1327
427,7	1092	1128	1160	1201	1243	1288	1325
438,7	1080	1107	1138	1182	1224	1273	1315
448,7	1068	1090	1127	1173	1218	1260	1310
458,7	1042	1074	1103	1155	1207	1250	1296
468,7	1024	1068	1095	1150	1202	1243	1280
478,6	1006	1035	1075	1135	1187	1230	1277
489,4	982	1023	1062	1122	1177	1228	1275
501,5	970	1015	1055	1118	1175	1224	1272
509,8	955	1004	1039	1104	1165	1215	1260
520,0	938	990	1028	1095	1160	1205	1254
527,7	935	978	1025	1090	1150	1204	1250
538,6	—	972	1022	1076	1143	1197	1247
547,4	—	963	1008	1075	1134	1190	1240
557,5	—	947	1005	1065	1130	1180	1235
568,7	—	945	997	1056	1122	1178	1226

Окончание таблицы 4.56

T, K	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,098	4,9	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
313,8	—	937	990	1058	1120	1173	1225
383,7	—	936	985	1052	1117	1170	1218
493,9	—	930	977	1051	1110	1165	1216
601,7	—	925	975	1049	1102	1161	1214
609,6	—	923	972	1040	1100	1156	1212
617,7	—	922	965	1037	1097	1155	1210
627,4	—	915	960	1035	1096	1153	1207
637,5	—	912	957	1032	1094	1154	1200
645,8	—	908	948	1025	1086	1147	1197
653,7	—	910	952	1024	1085	1150	1196
661,6	—	908	950	1020	1082	1145	1194
669,4	—	906	950	1017	1083	1142	1192
677,7	—	902	945	1015	1075	1138	1190

Таблица 4.57

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
жидкого гексадецена-1 при различных температурах и давлениях [8]

T, K	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,098	4,9	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
307,8	1355	1375	1393	1430	1472	1496	1520
321,6	1323	1347	1367	1410	1442	1468	1500
334,7	1305	1330	1348	1382	1414	1449	1485
347,4	1275	1300	1320	1355	1395	1427	1457
361,6	1254	1280	1300	1335	1372	1410	1440
372,2	1227	1247	1270	1320	1350	1384	1412
383,7	1210	1232	1254	1292	1327	1364	1400
395,5	1190	1215	1232	1270	1315	1352	1390
407,6	1163	1185	1210	1245	1295	1340	1370
417,9	1138	1172	1198	1235	1284	1314	1355
427,7	1125	1150	1173	1214	1265	1302	1343
438,7	1112	1134	1158	1210	1252	1287	1333
448,7	1083	1113	1140	1188	1235	1280	1327
458,7	1080	1097	1125	1180	1233	1272	1313
468,7	1058	1088	1115	1168	1210	1263	1304
478,6	1033	1068	1104	1156	1206	1252	1297
489,4	1015	1050	1087	1150	1198	1245	1290
501,5	1002	1045	1078	1135	1187	1238	1285
509,8	983	1024	1063	1128	1185	1227	1275

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,098	4,9	9,8	19,6	29,4	39,2	49,0
520,0	974	1018	1061	1124	1175	1230	1276
527,7	963	1005	1052	1112	1171	1218	1265
538,6	—	1002	1048	1107	1160	1216	1260
547,4	—	990	1037	1095	1155	1207	1256
557,5	—	985	1032	1090	1150	1202	1255
568,7	—	980	1020	1088	1143	1192	1245
575,8	—	970	1018	1080	1145	1195	1243
585,7	—	967	1015	1078	1138	1190	1240
592,9	—	963	1014	1074	1135	1186	1235
601,7	—	960	1007	1070	1131	1182	1233
609,6	—	954	1003	1068	1127	1179	1230
617,7	—	949	993	1060	1125	1180	1230
627,4	—	950	992	1056	1120	1175	1232
637,5	—	942	989	1058	1118	1173	1220
645,8	—	934	980	1053	1115	1175	1225
653,7	—	935	978	1048	1112	1170	1220
661,6	—	928	974	1047	1108	1165	1220
669,4	—	925	972	1042	1106	1164	1215
677,7	—	920	970	1038	1102	1161	1212

4.10. Коэффициенты теплопроводности ароматических углеводородов

Таблица 4.58
Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
бензола при различных температурах и давлениях [7]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа										
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15	20	25	30
298,2	1423	1427	1432	1436	1441	1445	1468	1491	1514	1525	1559
323,2	1346	1351	1355	1360	1364	1370	1398	1417	1440	1452	1488
348,2	1272	1277	1281	1286	1291	1296	1320	1345	1369	1381	1418
373,2	162	1203	1208	1213	1218	1222	1248	1273	1298	1311	1348
398,2	184	1127	1132	1138	1143	1148	1175	1202	1228	1242	1282
423,2	216	1055	1061	1066	1072	1078	1106	1134	1163	1178	1220
448,2	242	—	991	998	1004	1011	1044	1075	1104	1119	1163
473,2	268	285	921	929	938	945	983	1018	1051	1068	1112
498,2	296	310	330	863	873	883	928	966	1002	1036	1068
523,2	322	336	357	789	804	818	876	919	958	994	1029
548,2	348	362	380	403	440	730	826	876	920	960	1000

T, K	Коэффициент теплопроводности при P, МПа										
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15	20	25	30
371,2	375	389	405	425	452	524	780	840	886	930	973
398,2	402	413	429	448	473	500	726	806	860	906	950
423,2	428	439	453	472	492	516	695	784	840	889	934
448,2	456	464	478	494	514	536	673	763	826	878	924
473,2	482	490	502	518	535	553	662	754	820	874	922
498,2	508	516	526	540	555	570	661	754	820	874	922

Таблица 4.59

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К) жидкого бензола при различных температурах и высоких давлениях [8]

T, K	Коэффициент теплопроводности при P, МПа			
	40	60	80	100
306,3	1557	1608	1690	1758
318,4	1530	1578	1655	1713
330,1	1495	1552	1633	1688
343,2	1475	1524	1602	1653
355,3	1417	1478	1568	1629
367,5	1375	1453	1546	1616
379,2	1343	1426	1536	1588
392,0	1314	1378	1496	1563
404,1	1283	1353	1477	1541
416,4	1267	1330	1448	1514
428,2	1233	1314	1414	1487
441,3	1210	1308	1381	1460
453,5	1183	1275	1357	1448
466,4	1160	1262	1327	1404
478,3	1143	1245	1312	1391
503,2	1098	1192	1282	1357
515,5	1089	1177	1262	1339
533,1	1075	1161	1236	1309
551,3	1058	1150	1194	1262
563,2	1053	1134	1175	1246
576,4	1040	1123	1168	1226
594,0	1018	1100	1152	1215
625,4	0995	1089	1136	1197
641,9	0977	1090	1143	1195
660,3	0973	1089	1141	1192
672,6	0975	1093	1144	1190

Таблица 4.00

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
бензола на линии насыщения [7]

T , К	P , МПа	λ	$\lambda_{\text{жид}}$
298,15	0,0126	1423	73
323,15	0,0361	1346	105
348,15	0,0808	1272	136
373,15	0,1795	1197	168
398,15	0,3383	1124	200
423,15	0,5800	1053	232
448,15	0,9342	984	262
473,15	1,4160	916	294
498,15	2,0907	852	332
523,15	2,9643	790	378
548,15	4,0804	700	458

Таблица 4.61

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
газообразного бензола на линии насыщения [94]

T , К	λ	T , К	λ	T , К	λ
300	10,7	400	20,3	500	31,1
320	12,4	420	22,3	520	33,5
340	14,3	440	24,3	540	36,0
360	16,2	460	26,4		
380	18,2	480	28,7		

Таблица 4.62

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
толуола при различных температурах и давлениях [94]

T , К	Коэффициент теплопроводностей при P , МПа					
	0,1	1,0	2,0	3,0	10	20
190	158,5	159	159	159	159	161
200	157	157	158	158	159	160
220	153	153	153	154	155	157
240	147,5	148	148	149	150	152
260	142,5	143	143	144	145	147
280	137,5	138	138	139	140	144
300	132,5	133	134	135	136	139
320	127,5	128	129	130	131	135
340	122,5	123	124	125	127	130
360	117,5	118	119	120	122	126
380	112,5	113	114	115	117	122

Продолжение таблицы 4.62

t, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа					
	0,1	1,0	2,0	3,0	10	20
400	18,7	109	110	111	113	118
420	21,0	104	105	106	109	113
440	23,3	100	101	102	104	109
460	25,6	95,0	95,9	97,1	100	105
480	27,9	91,0	91,9	93,2	95,9	101
500	30,2	31,2	—	—	91,5	97,5
520	32,5	33,5	—	—	87,6	93,7
540	34,8	35,7	37,8	—	84,6	91,7
560	37,1	38,1	39,4	—	82,5	89,2
580	39,4	40,3	41,3	45,4	81,2	88,3
600	41,7	42,7	43,8	46,6	79,8	87,4
620	44,0	45,0	46,1	48,4	79,1	86,9
640	46,4	47,4	48,5	50,3	78,1	86,4
660	48,8	49,8	50,9	52,6	77,3	86,1
680	51,2	52,2	53,4	54,9	76,4	85,8

Продолжение таблицы 4.62

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	30	40	50	60	80	100	150
190	163	166	168	170	—	—	—
200	162	165	167	170	—	—	—
220	159	162	164	167	—	—	—
240	154	157	160	163	—	—	—
260	150	153	157	159	—	—	—
280	146	149	153	155	—	—	—
300	142	146	148	152	157	162	174
320	138	142	145	148	153	159	170
340	134	137	140	144	149	155	167
360	130	133	136	139	145	151	163
380	125	129	132	136	141	147	160
400	122	125	128	132	137	143	157
420	118	122	125	128	133	139	—
440	114	118	121	124	130	135	—
460	111	115	118	121	126	132	—
480	107	109	113	118	124	130	—
500	103	106	110	115	121	127	—
520	99,4	104	108	113	119	125	—

T, K	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	30	40	50	60	80	100	150
540	96,7	103	107	111	117	123	—
560	95,0	102	106	110	115	121	—
580	94,0	101	105	108	113	119	—
600	93,5	100	104	108	112	116	—
620	93,0	100	103	107	111	115	—
640	92,5	100	103	107	111	114	—
660	92,2	101	104	107	110	114	—
680	92,0	101	104	107	110	114	—

Таблица 4.63

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
толуола на линии насыщения [7]

T, K	P, МПа	$\lambda_{\text{жидк}}$	$\lambda_{\text{пар}}$
298,15	0,0038	1294	76
323,15	0,0122	1224	106
348,15	0,0313	1158	135
373,15	0,0739	1094	164
398,15	0,1515	1034	195
423,15	0,2744	980	226
448,15	0,4696	930	258
473,15	0,7452	884	290
498,15	1,1867	844	321
523,15	1,7715	808	352
548,15	2,4997	774	384
573,15	3,3724	733	430

Таблица 4.64

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
жидкого толуола на линии насыщения [94]

T, K	λ	T, K	λ	T, K	λ	T, K	λ
180	159	280	137	380	112	480	90
190	158	290	135	390	110	490	88
200	157	300	132	400	108	500	85
210	155	310	130	410	105	510	83
220	153	320	127	420	103	520	81
230	150	330	125	430	101	530	80
240	147	340	122	440	99	540	78
250	145	350	120	450	97	550	76
260	142	360	117	460	94		
270	140	370	115	470	92		

Таблица 4.65

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
орто-ксилола при различных температурах и давлениях [7]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа										
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15	20	25	30
300,2	1286	1289	1293	1297	1301	1305	1325	1345	1366	1387	1407
321,2	1223	1226	1230	1234	1238	1242	1262	1282	1303	1324	1344
348,2	1163	1166	1170	1174	1178	1182	1203	1223	1244	1265	1285
373,2	1101	1105	1109	1114	1117	1121	1143	1164	1186	1209	1230
398,2	1045	1049	1054	1058	1062	1066	1089	1112	1135	1158	1180
423,2	245	995	1000	1004	1009	1013	1037	1061	1085	1109	1133
448,2	270	945	950	956	961	965	990	1015	1041	1066	1091
473,2	294	900	906	911	916	921	946	973	1001	1028	1054
498,2	318	858	866	874	880	885	911	939	966	995	1023
523,2	342	—	826	834	841	846	875	905	936	966	996
548,2	366	377	791	801	810	816	846	876	908	940	970
573,2	390	400	757	770	782	790	822	854	887	920	952
598,2	414	422	434	736	752	766	808	841	873	907	940
623,2	438	446	459	474	694	725	798	835	869	903	936
648,2	462	470	482	499	546	658	794	834	868	903	936
673,2	485	492	504	599	548	600	792	833	868	903	936
698,2	510	516	528	545	570	608	790	834	868	903	936

Таблица 4.66

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К) жидкого
орто-ксилола при различных температурах и высоких давлениях [8]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа			
	40	60	80	100
306,3	1406	1454	1495	1530
318,4	1388	1445	1481	1514
330,1	1363	1411	1454	1490
343,2	1336	1386	1436	1482
355,3	1307	1371	1420	1464
367,5	1285	1340	1395	1445
379,2	1265	1321	1374	1423
392,0	1230	1284	1346	1395
404,1	1207	1266	1324	1377
416,4	1170	1247	1305	1353
428,2	1149	1214	1281	1335
441,3	1136	1198	1262	1316
453,5	1116	1168	1240	1291

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа			
	40	60	80	100
466,4	1096	1162	1218	1266
478,3	1082	1132	1198	1245
503,2	1041	1104	1163	1219
515,5	1012	1088	1147	1196
533,1	1008	1070	1126	1172
551,3	0976	1057	1112	1158
563,2	0972	1046	1101	1156
576,4	0970	1034	1094	1143
594,0	0968	1016	1075	1125
625,4	0955	1012	1063	1114
641,9	0948	1008	1060	1113

Таблица 4.67

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
орто-ксилола на линии насыщения [7]

T, К	P, МПа	$\lambda_{\text{жидк}}$	$\lambda_{\text{пар}}$
298,15	0,001	1286	124
323,15	0,0034	1223	148
348,15	0,0101	1163	174
373,15	0,0264	1101	198
398,15	0,0586	1045	220
423,15	0,1168	991	246
448,15	0,2121	941	273
473,15	0,3612	895	300
498,15	0,5807	853	328
523,15	0,8898	816	355
548,15	1,2746	784	382
573,15	1,7422	754	410
598,15	2,3129	727	440
623,15	3,1108	674	500

Таблица 4.68

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
мета-ксилола при различных температурах и давлениях [7]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа										
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15	20	25	30
298,2	1294	1296	1300	1304	1308	1311	1330	1348	1368	1387	1405
323,2	1224	1226	1230	1233	1237	1240	1260	1280	1300	1320	1339
348,2	1156	1160	1164	1168	1171	1175	1194	1215	1237	1258	1279
373,2	1096	1099	1103	1106	1110	1114	1134	1155	1176	1198	1218

Окончание таблицы 4.68

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа										
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15	20	25	30
108,2	1037	1041	1045	1049	1054	1058	1079	1100	1123	1144	1165
123,2	209	987	991	996	1000	1004	1029	1050	1072	1095	1117
148,2	238	941	946	950	956	960	984	1008	1031	1054	1078
173,2	268	900	906	912	918	922	947	970	995	1021	1046
198,2	298	858	866	873	880	887	911	936	962	988	1014
223,2	328	—	832	840	848	856	882	910	936	964	990
248,2	360	373	800	810	819	827	858	886	916	944	972
273,2	390	400	416	783	794	802	836	867	899	929	959
298,2	420	429	440	739	760	776	817	852	886	920	952
323,2	450	456	467	497	654	735	803	846	880	913	946
348,2	480	486	496	516	572	656	789	838	874	908	939
373,2	510	517	527	544	575	616	783	833	872	908	939
398,2	540	547	558	570	594	632	779	830	872	908	939

Таблица 4.69

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К) жидкого м-та-ксилола при различных температурах и высоких давлениях [8]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа			
	40	60	80	100
306,3	1395	1447	1478	1583
318,4	1361	1416	1468	1504
330,1	1340	1393	1430	1470
343,2	1313	1364	141	1458
355,3	1285	1342	1386	1427
367,5	1263	1315	1359	1404
379,2	1235	1294	1336	1383
392,0	1210	1270	1316	1360
404,1	1186	1241	1300	1336
416,4	1158	1214	1270	1321
428,2	1132	1190	1244	1299
441,3	1109	1166	1228	1286
453,5	1087	1142	1206	1260
466,4	1065	1117	1177	1228
478,3	1046	1105	1161	1207
503,2	1019	1076	1126	1176
515,5	1005	1061	1113	1162
533,1	0994	1049	1098	1154
551,3	0983	1040	1084	1139

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа			
	40	60	80	100
563,2	0977	1033	1077	1130
576,4	0972	1026	1073	1124
594,0	0967	1019	1064	1118
625,4	0964	1014	1061	1112
641,9	0963	1011	1062	1110
660,3	0964	1012	1062	1106
672,6	0966	1014	1064	1108

Таблица 4.70

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
мета-ксилола на линии насыщения [7]

T, К	P, МПа	$\lambda_{\text{наск}}$	$\lambda_{\text{нас}}$
298,15	0,0011	1294	61
323,15	0,0041	1224	90
348,15	0,0151	1156	120
373,15	0,0311	1096	150
398,15	0,0656	1037	180
423,15	0,1341	982	211
448,15	0,2373	936	244
473,15	0,4072	894	277
498,15	0,6464	857	310
523,15	0,9797	825	345
548,15	1,3635	796	380
573,15	1,8432	770	414
598,15	2,4846	732	460

Таблица 4.71

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
пара-ксилола при различных температурах и давлениях [7]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа										
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15	20	25	30
298,2	1270	1273	1276	1280	1283	1286	1301	1317	1333	1349	1366
323,2	1210	1212	1216	1218	1222	1226	1243	1260	1277	1295	1313
348,2	1149	1152	1156	1160	1164	1167	1186	1203	1221	1240	1260
373,2	1090	1093	1097	1100	1104	1108	1127	1146	1166	1187	1207
398,2	1032	1035	1040	1044	1048	1052	1073	1094	1116	1138	1160
423,2	211	983	988	992	996	1000	1022	1044	1067	1090	1113
448,2	240	934	940	944	949	954	978	1002	1026	1050	1074
473,2	270	892	897	902	908	913	937	963	989	1015	1041

Окончание таблицы 4.71

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа										
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15	20	25	30
306,2	300	851	858	865	872	878	908	934	961	987	1014
333,2	330	—	824	832	840	848	883	910	938	966	994
360,2	359	370	790	800	810	820	860	891	920	950	979
387,2	390	397	411	774	785	797	843	875	907	937	967
414,2	418	426	440	734	762	777	829	867	899	930	961
441,2	448	454	466	485	720	764	818	860	894	926	956
468,2	478	484	495	515	580	728	814	856	894	926	956
495,2	505	512	524	542	580	660	810	853	891	923	954
522,2	536	542	551	566	592	640	808	851	891	923	954

Таблица 4.72

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К) жидкого пара-ксилола при различных температурах и высоких давлениях [8]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа			
	40	60	80	100
306,3	1402	1461	1485	1515
318,4	1374	1432	1462	1503
330,1	1348	1410	1432	1488
355,3	1284	1355	1406	1455
367,5	1278	1331	1395	1447
379,2	1246	1306	1371	1412
392,0	1214	1283	1360	1403
404,1	1197	1250	1325	1375
416,4	1161	1242	1291	1344
428,2	1146	1203	1275	1338
441,3	1128	1194	1244	1301
453,5	1092	1157	1227	1288
466,4	1081	1149	1205	1269
478,3	1057	1120	1196	1232
503,2	1036	1111	1169	1203
515,5	1028	1082	1143	1193
533,1	1017	1076	1136	1185
551,3	1006	1068	1122	1171
563,2	993	1062	1120	1165
576,4	988	1058	1116	1163
594,0	985	1048	1114	1154
625,4	983	1043	1102	1148
641,9	981	1045	1095	1142
660,3	980	1045	1096	1145
672,6	982	1046	1097	1146

Таблица 4.7

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
пара-ксилола на линии насыщения [7]

T, К	P, МПа	$\lambda_{\text{жидк}}$	$\lambda_{\text{пар}}$
298,15	0,0012	1270	63
323,15	0,0043	1210	92
348,15	0,0156	1149	122
373,15	0,0319	1090	152
398,15	0,0661	1032	181
423,15	0,1366	987	214
448,15	0,2381	930	247
473,15	0,4114	887	280
498,15	0,6472	850	313
523,15	0,9803	816	347
548,15	1,3644	787	380
573,15	1,8434	762	412
598,15	2,4850	730	454

Таблица 4.7а

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
этилбензола при различных температурах и давлениях [7]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа										
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15	20	25	30
298,2	1269	1272	1276	1279	1282	1286	1303	1320	1337	1355	1373
323,2	1204	1207	1211	1214	1218	1222	1240	1258	1276	1294	1312
348,2	1139	1143	1147	1150	1154	1158	1177	1197	1216	1236	1254
373,2	1077	1081	1086	1090	1094	1098	1120	1141	1162	1183	1204
398,2	1021	1025	1030	1034	1039	1044	1066	1090	1113	1137	1160
423,2	200	973	978	983	988	993	1018	1044	1069	1094	1120
448,2	230	926	932	937	943	948	976	1003	1030	1058	1086
473,2	260	883	890	896	902	909	940	970	999	1029	1056
498,2	289	849	856	862	868	875	908	940	971	1002	1030
523,2	318	816	824	832	840	847	883	914	946	978	1006
548,2	348	363	796	804	812	820	857	891	925	958	988
573,2	378	391	412	776	787	797	836	872	908	942	972
598,2	407	419	436	727	750	768	820	858	894	928	960
623,2	436	447	462	487	652	710	808	848	885	920	954
648,2	465	474	487	505	535	602	798	842	879	916	951
673,2	495	503	514	526	544	576	793	835	874	913	951
698,2	524	531	538	548	562	584	792	835	874	913	952

Таблица 4.75

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К) жидкого этилбензола при различных температурах и высоких давлениях [8]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа			
	40	60	80	100
306,3	1371	1415	1450	1481
318,4	1349	1388	1423	1469
330,1	1325	1364	1409	1444
343,2	1292	1343	1378	1425
355,3	1271	1318	1361	1405
367,5	1244	1295	1342	1383
379,2	1218	1274	1321	1364
392,0	1195	1252	1295	1338
404,1	1169	1228	1277	1316
416,4	1150	1209	1254	1304
428,2	1127	1191	1238	1278
441,3	1108	1167	1234	1269
453,5	1095	1152	1203	1243
466,4	1076	1126	1188	1221
478,3	1061	1114	1162	1209
503,2	1034	1086	1141	1185
515,5	1018	1075	1123	1170
533,1	1013	1064	1114	1158
551,3	0998	1055	1104	1152
563,2	0991	1049	1092	1143
576,4	0986	1044	1088	1140
594,0	0981	1038	1084	1133
625,4	0971	1032	1081	1128
641,9	0967	1028	1079	1124
660,3	0966	1026	1080	1126
672,6	0968	1028	1082	1128

Таблица 4.76

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К) этилбензола на линии насыщения [7]

T, К	P, МПа	$\lambda_{\text{жидк}}$	$\lambda_{\text{пар}}$
298,15	0,0012	1269	30
323,15	0,0047	1204	65
348,15	0,0202	1139	100
373,15	0,0342	1077	134
398,15	0,0606	1021	168
423,15	0,1443	968	203
448,15	0,2575	921	237

Окончание таблицы 4.7

T, K	P, MPa	λ	λ
473,15	0,4305	880	271
498,15	0,6767	846	303
523,15	1,0251	817	339
548,15	1,4271	792	374
573,15	1,9190	764	413
598,15	2,5704	724	457

Таблица 4.7

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
жидкого кумола при различных температурах и давлениях (Я)

T, K	Коэффициент теплопроводности при P, MPa					
	0,1	20	40	60	80	100
306,3	1212	1270	1316	1352	1384	1412
318,4	1193	1246	1292	1334	1368	1401
330,1	1161	1295	1266	1311	1346	1380
343,2	1139	1193	1245	1296	1335	1370
353,3	1110	1178	1226	1270	1311	1348
367,5	1092	1150	1208	1255	1298	1330
379,2	1059	1136	1186	1231	1274	1311
392,0	1036	1107	1169	1217	1262	1300
404,1	1008	1086	1146	1194	1235	1279
416,4	985	1067	1128	1181	1229	1268
428,2	—	1045	1114	1165	1213	1254
441,3	—	1023	1094	1146	1197	1241
453,5	—	1001	1073	1132	1183	1229
466,4	—	0990	1060	1115	1166	1217
478,3	—	0970	1041	1001	1154	1201
503,2	—	0957	1028	1083	1138	1192
515,5	—	0946	1015	1076	1129	1178
533,1	—	0930	1006	1063	1118	1166
551,3	—	0924	998	1057	1113	1161
563,2	—	0918	989	1051	1109	1157
576,4	—	0914	983	1046	1105	1154
594,0	—	0911	978	1041	1100	1150
625,4	—	0909	976	1036	1096	1143
641,9	—	0910	978	1038	1094	1142
660,3	—	0910	978	1040	1096	1144
672,6	—	0912	980	1042	1098	1146

4.10. Коэффициенты теплопроводности нафтеновых углеводородов

Таблица 4.78

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К) жидкого циклопентана при различных температурах и давлениях [94]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,1	20	40	60	80	100	120	150
100	126	134	142	150	156	162	167	176
120	120	128	137	144	151	157	162	171
140		121	130	138	145	151	158	166
160		115	124	133	140	147	153	162
180		109	119	128	135	142	149	158
200			115	124	131	138	145	155
220			111	120	128	135	142	152
240			107	116	124	132	139	149
260				114	122	130	137	147

Таблица 4.79

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К) газообразного циклогексана [94]

T, К	λ	T, К	λ	T, К	λ	T, К	λ
300	12,2	400	22,4	500	35,4	600	49,0
320	13,9	420	24,8	520	38,1	620	51,6
340	15,8	440	27,4	540	40,8	640	54,1
360	17,9	460	30,0	560	43,6		
380	20,1	480	32,7	580	46,3		

Таблица 4.80

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К) жидкого циклогексана при различных температурах и давлениях [94]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,1	20	40	60	80	100	120	150
100	127	134	141	147	152	157	161	167
120	122	129	136	142	147	152	157	163
140	116	124	131	137	143	148	153	160
160		119	127	133	139	145	150	157
180		114	122	129	135	141	147	154
200		109	117	124	131	137	143	151
220		104	113	121	128	134	140	148
240		100	110	118	125	131	137	145
260		98	107	116	123	129	135	143

Таблица 4.81

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
метилциклогексана при различных температурах и давлениях [94]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа					
	0,1	5,0	10	20	30	50
300	110	112	114	117	120	127
320	106	108	109	113	116	123
340	101	103	105	109	112	119
360	107	99	101	104	108	115
380	17,6	94	96	100	104	110
400	19,0	90	92	96	100	106
420	20,5	86	88	92	95	102
440	22,3	82	83	87	91	98
460	24,3	77	79	83	87	94
480	26,4	73	75	79	83	90
500	28,7	68	71	75	79	86
520	31,1	64	67	71	75	83
540	33,7	59	62	67	71	79
560	36,6	55	58	63	67	75
580	—	—	—	60	64	72
600	—	—	—	57	61	69
620	—	—	—	55	59	67

Таблица 4.82

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)
этилциклогексана при различных температурах и давлениях [94]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,1	20	40	60	80	100	120	150
300	109	116	121	126	131	135	139	143
320	104	112	117	122	128	132	136	141
340	100	108	113	119	125	129	133	139
360	96	104	110	116	122	126	131	137
380	92	100	107	113	119	124	129	135
400	—	96	104	111	116	122	127	133
420	20,0	93	101	108	114	120	125	131
440	21,9	91	98	105	112	118	123	130
460	23,8	89	96	103	110	116	121	128

Таблица 4.83

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К) жидкого
1, транс-2-диметилциклогексана при различных температурах
и давлениях [94]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,1	20	40	60	80	100	120	150
100	105	112	117	122	127	131	135	140
120	101	108	113	119	124	128	132	138
140	97	104	110	116	121	125	130	136
160	93	101	107	113	119	123	128	134
180	—	97	104	110	116	121	126	132
200	—	94	101	107	114	119	124	130
220	—	—	99	105	111	117	122	129
240	—	—	97	104	110	116	121	128

Таблица 4.84

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К) жидкого
1, цис-3-диметилциклогексана при различных температурах
и давлениях [94]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,1	20	40	60	80	100	120	150
300	103	109	115	120	125	129	133	138
320	98	105	111	117	122	126	130	136
340	—	102	108	114	119	124	128	134
360	—	99	105	111	116	122	126	132
380	—	96	102	108	114	120	124	130
400	—	93	99	106	112	118	122	128
420	—	—	97	104	110	116	120	127
440	—	—	95	102	108	114	119	126
450	—	—	—	101	107	113	118	125

Таблица 4.85

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К) жидкого
1, цис-3-диметилциклогексана при различных температурах
и давлениях [94]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,1	20	40	60	80	100	120	150
300	103	110	116	121	126	130	134	140
320	99	106	112	118	123	127	132	138
340	95	102	109	115	120	125	130	136
360	—	99	106	112	118	123	128	134
380	—	96	103	109	115	120	125	132
400	—	93	100	106	112	118	123	130
420	—	—	97	104	110	116	121	128
440	—	—	95	102	108	114	119	126
450	—	—	94	101	107	113	118	125

4.13. Коэффициенты теплопроводности газовых конденсатов и их фракций при различных температурах и давлениях

Таблица 4.86

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата Астраханского месторождения
при различных температурах и давлениях

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
270	1242	1251	1255	1259	1264	1268	1287	1305
280	1200	1204	1209	1213	1217	1222	1242	1261
290	1154	1159	1164	1169	1173	1178	1200	1220
300	1111	1115	1120	1125	1130	1134	1157	1178
310	1068	1073	1078	1083	1088	1093	1115	1137
320	—	1031	1036	1041	1046	1051	1075	1098
330	—	989	994	999	1004	1010	1035	1059
340	—	—	956	961	966	971	996	1020
350	—	—	916	921	926	932	959	984
360	—	—	879	885	890	895	922	949
370	—	—	839	845	851	857	886	915
380	—	—	802	808	815	821	852	882
390	—	—	—	772	779	786	818	849
400	—	—	—	736	743	750	786	820
410	—	—	—	702	709	717	754	790
420	—	—	—	670	678	686	723	759
430	—	—	—	—	647	655	693	730
440	—	—	—	—	617	625	665	702
450	—	—	—	—	588	596	637	676
460	—	—	—	—	—	570	611	651
470	—	—	—	—	—	—	586	626

Продолжение таблицы 4.86

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
270	1322	1338	1354	1369	1382	1395	1407	1417	1430
280	1279	1297	1313	1328	1342	1356	1368	1380	1392
290	1238	1257	1273	1288	1303	1317	1331	1345	1357
300	1197	1215	1233	1249	1264	1279	1293	1307	1321
310	1159	1176	1194	1211	1227	1242	1256	1271	1285
320	1118	1139	1157	1175	1192	1208	1223	1239	1253
330	1081	1102	1121	1140	1158	1176	1193	1208	1224
340	1043	1066	1086	1107	1126	1145	1162	1180	1197
350	1008	1030	1053	1074	1094	1114	1133	1152	1171

Окончание таблицы 4.86

t, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
160	974	998	1021	1044	1065	1086	1106	1126	1146
170	941	967	991	1014	1037	1060	1080	1101	1121
180	910	936	962	986	1010	1033	1055	1077	1089
190	878	905	932	958	983	1008	1032	1055	1077
200	851	881	908	935	959	985	1009	1033	1047
210	823	853	881	909	935	962	987	1012	1035
220	793	825	855	884	911	939	966	991	1006
230	765	799	831	861	891	919	946	972	998
240	739	774	807	839	870	899	928	956	973
250	712	749	784	817	848	878	908	938	967
260	690	728	763	798	839	860	890	921	938
270	666	704	741	776	809	841	872	903	933

Таблица 4.87

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата Совхозного месторождения
при различных температурах и давлениях

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	7,5	10
223,2	1555	1560	1563	1567	1570	1574	1582	1590
233,2	1519	1523	1527	1531	1535	1539	1547	1554
243,2	1483	1487	1491	1495	1499	1503	1511	1521
253,2	1446	1451	1455	1459	1464	1468	1476	1485
263,2	1409	1415	1419	1423	1427	1432	1442	1451
273,2	1373	1378	1383	1387	1392	1397	1406	1417
283,2	1335	1342	1346	1351	1356	1361	1371	1382
293,2	1299	1306	1311	1316	1321	1326	1335	1348
303,2	1262	1269	1274	1279	1284	1289	1299	1311
313,2	1225	1233	1238	1243	1248	1254	1265	1276
323,2	1189	1196	1201	1206	1212	1217	1229	1241
333,2	1152	1160	1165	1172	1177	1182	1194	1206
343,2	—	1122	1128	1135	1141	1147	1159	1170
353,2	—	1087	1093	1099	1105	1112	1126	1137
363,2	—	1059	1065	1071	1077	1084	1095	1107
373,2	—	1033	1040	1046	1053	1060	1071	1081
383,2	—	1016	1022	1028	1034	1040	1051	1061
393,2	—	997	1002	1008	1013	1018	1030	1041

T, K	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	15	20	25	30	35	40	45	50
223,2	1607	1623	1638	1656	1671	1687	1701	1716
233,2	1572	1590	1607	1624	1640	1656	1671	1687
243,2	1537	1557	1573	1592	1609	1626	1642	1658
253,2	1503	1525	1543	1561	1580	1597	1614	1630
263,2	1470	1492	1511	1530	1547	1564	1583	1601
273,2	1437	1460	1479	1498	1517	1536	1554	1572
283,2	1403	1427	1448	1467	1487	1507	1526	1544
293,2	1369	1394	1415	1436	1456	1476	1496	1515
303,2	1335	1361	1383	1405	1424	1442	1462	1486
313,2	1302	1328	1355	1373	1395	1418	1438	1459
323,2	1267	1296	1319	1343	1365	1387	1408	1429
333,2	1234	1262	1289	1311	1335	1360	1382	1404
343,2	1201	1230	1257	1282	1307	1333	1357	1381
353,2	1169	1190	1228	1255	1281	1308	1332	1357
363,2	1140	1170	1197	1226	1251	1282	1307	1334
373,2	1113	1143	1172	1202	1230	1260	1286	1312
383,2	1093	1121	1150	1178	1208	1241	1266	1292
393,2	1070	1097	1125	1154	1185	1217	1243	1269

Таблица 4.88

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата Харасавэйского месторождения
при различных температурах и давлениях

T, K	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
220	1481	1487	1490	1493	1497	1500	1516	1530
230	1446	1450	1453	1456	1459	1463	1479	1495
240	1409	1413	1416	1420	1423	1427	1446	1453
250	1371	1375	1379	1384	1388	1392	1411	1430
260	1335	1340	1344	1348	1352	1356	1377	1396
270	1300	1305	1309	1314	1318	1323	1344	1364
280	1264	1269	1274	1279	1283	1288	1311	1333
290	1230	1236	1241	1246	1250	1255	1278	1301
300	1197	1202	1207	1212	1217	1222	1247	1270
310	1164	1169	1174	1179	1184	1189	1215	1239
320	1131	1137	1142	1147	1152	1158	1184	1210
330	1099	1105	1110	1116	1121	1127	1154	1182
340	—	1071	1077	1082	1088	1094	1122	1151
350	—	1040	1046	1052	1058	1064	1093	1123
360	—	1008	1014	1020	1026	1032	1064	1094

Продолжение таблицы 4.88

t, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
170	—	1976	983	989	996	1002	1035	1066
180	—	—	953	960	967	973	1006	1039
190	—	—	921	928	935	942	977	1011
400	—	—	891	897	905	913	949	984
410	—	—	861	868	876	884	921	957
420	—	—	—	838	846	854	893	930
430	—	—	—	810	818	827	867	908
440	—	—	—	782	791	800	842	882
450	—	—	—	—	765	775	819	858
460	—	—	—	—	737	747	792	833
470	—	—	—	—	—	724	768	808

Окончание таблицы 4.88

t, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	1544	1557	1569	1580	1590	1599	1607	1615	1623
230	1510	1525	1538	1551	1517	1572	1581	1590	1597
240	1478	1494	1509	1522	1534	1546	1556	1565	1572
250	1447	1464	1480	1495	1508	1521	1532	1542	1551
260	1414	1433	1450	1465	1480	1494	1505	1516	1526
270	1384	1393	1421	1438	1454	1469	1482	1494	1503
280	1354	1374	1393	1411	1427	1443	1456	1469	1480
290	1322	1342	1363	1383	1400	1418	1433	1447	1459
300	1293	1315	1337	1357	1377	1394	1410	1424	1437
310	1263	1287	1309	1331	1351	1369	1386	1399	1414
320	1235	1260	1284	1307	1327	1347	1363	1379	1393
330	1207	1233	1257	1281	1303	1323	1341	1356	1370
340	1178	1206	1232	1257	1279	1300	1319	1337	1351
350	1151	1178	1206	1231	1256	1278	1297	1315	1330
360	1123	1152	1180	1207	1231	1254	1274	1293	1310
370	1097	1126	1155	1182	1207	1231	1252	1272	1290
380	1070	1110	1130	1158	1183	1208	1230	1251	1271
390	1043	1074	1104	1133	1159	1185	1208	1231	1251
400	1017	1049	1080	1109	1137	1163	1187	1211	1233
410	991	1024	1055	1085	1114	1141	1166	1190	1212
420	996	1000	1032	1063	1092	1121	1146	1170	1193
430	942	975	1008	1040	1069	1098	1124	1150	1175
440	918	952	985	1017	1047	1077	1104	1130	1155
450	896	920	963	995	1025	1056	1084	1111	1136
460	872	908	941	974	1005	1035	1064	1091	1118
470	847	884	919	952	984	1015	1045	1073	1100

Таблица 4.88

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата Ямбургского месторождения
при различных температурах и давлениях**

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
270	1183	1185	1188	1190	1193	1195	1210	1223
280	1140	1146	1154	1160	1168	1175	1180	1186
290	1105	1109	1115	1120	1124	1129	1148	1155
300	1070	1075	1081	1087	1092	1098	1115	1126
310	1040	1044	1049	1053	1058	1062	1082	1094
320	1007	1012	1017	1022	1027	1032	1052	1065
330	—	977	984	991	998	1005	1026	1038
340	—	952	960	967	975	982	1002	1014
350	—	926	933	939	946	952	977	991
360	—	902	910	917	925	932	958	972
370	—	880	887	894	901	908	937	950
380	—	856	863	869	876	883	918	933
390	—	839	846	853	859	865	887	909
400	—	—	823	828	834	840	879	896
410	—	—	—	814	819	825	862	880
420	—	—	—	799	804	810	843	862
430	—	—	—	781	787	792	830	847
440	—	—	—	766	772	777	815	834
450	—	—	—	—	759	765	803	817
460	—	—	—	—	747	752	787	807
470	—	—	—	—	736	741	773	794

Продолжение таблицы 4.89

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
270	1236	1249	1262	1272	1283	1297	1310	1316	1325
280	1192	1211	1230	1243	1255	1265	1275	1284	1293
290	1164	1175	1185	1204	1222	1236	1245	1254	1262
300	1137	1149	1160	1175	1190	1203	1217	1227	1237
310	1105	1118	1130	1146	1162	1174	1185	1198	1208
320	1080	1091	1102	1118	1135	1146	1157	1171	1182
330	1050	1063	1077	1092	1106	1121	1135	1145	1155
340	1027	1041	1055	1070	1085	1099	1112	1122	1132
350	1005	1019	1033	1047	1061	1076	1091	1101	1112
360	985	999	1012	1026	1040	1055	1070	1084	1097
370	962	978	995	1009	1022	1037	1053	1064	1075

Окончание таблицы 4.89

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
180	947	961	975	989	1003	1016	1035	1046	1057
190	930	945	960	973	986	1002	1018	1030	1042
400	913	927	942	956	970	986	1002	1014	1027
410	898	915	927	941	955	971	987	1000	1012
420	881	896	912	926	940	956	973	986	999
430	865	881	898	911	925	941	958	971	985
440	853	869	885	899	912	939	947	950	973
450	840	856	872	886	900	917	935	948	961
460	827	843	860	873	886	904	922	—	918
470	815	833	850	863	876	894	912	—	939

Таблица 4.90

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата Староминского месторождения
при различных температурах и давлениях**

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,098	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
233,2	1588	1591	1593	1595	1597	1599	1611	1622
243,2	1548	1552	1554	1557	1559	1561	1574	1586
253,2	1509	1512	1515	1518	1520	1523	1536	1550
263,2	1468	1473	1475	1477	1480	1483	1495	1509
273,2	1430	1433	1436	1438	1441	1444	1459	1473
283,2	1390	1394	1397	1401	1404	1407	1421	1436
293,2	1350	1354	1357	1360	1364	1368	1383	1399
303,2	1311	1316	1319	1322	1325	1328	1345	1361
313,2	—	1277	1281	1285	1288	1292	1308	1325

Окончание таблицы 4.90

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	20	25	30	35	40	45	50
233,2	1635	1646	1657	1669	1680	1692	1703
243,2	1599	1610	1622	1635	1648	1659	1670
253,2	1563	1576	1588	1601	1614	1627	1639
263,2	1524	1537	1550	1565	1580	1594	1607
273,2	1487	1502	1516	1531	1546	1561	1575
283,2	1451	1466	1482	1497	1512	1528	1544
293,2	1415	1431	1447	1463	1480	1495	1511
303,2	1377	1393	1409	1426	1444	1462	1480
313,2	1342	1369	1375	1393	1411	1429	1447

Таблица 4.91

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата Ленинградского месторождения
при различных температурах и давлениях**

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа							
	0,098	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
233,2	1624	1629	1631	1633	1635	1637	1649	1661
243,2	1578	1584	1586	1589	1591	1593	1606	1619
253,2	1534	1539	1541	1544	1546	1549	1564	1578
263,2	1489	1495	1497	1500	1502	1505	1521	1536
273,2	1444	1451	1453	1455	1457	1459	1479	1494
283,2	1400	1406	1409	1512	1515	1418	1436	1452
293,2	1356	1361	1364	1368	1371	1374	1394	1411
303,2	1312	1317	1321	1325	1329	1333	1351	1369
313,2	—	1274	1278	1281	1285	1289	1311	1329

Окончание таблицы 4.91

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа						
	20	25	30	35	40	45	50
233,2	1674	1688	1702	1716	1731	1744	1756
243,2	1633	1648	1662	1678	1694	1707	1720
253,2	1593	1608	1624	1640	1657	1671	1684
263,2	1552	1578	1585	1601	1617	1633	1649
273,2	1509	1526	1544	1561	1579	1596	1613
283,2	1469	1486	1504	1523	1542	1559	1577
293,2	1428	1446	1465	1485	1506	1524	1542
303,2	1388	1406	1424	1446	1467	1486	1505
313,2	1348	1367	1385	1407	1428	1449	1470

Таблица 4.92

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата Вуктыльского месторождения
при различных температурах и давлениях**

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
220	1485	1491	1496	1501	1506	1511	1536	1560
230	1450	1456	1461	1466	1471	1477	1502	1526
240	1413	1419	1425	1430	1436	1441	1468	1493
250	1377	1384	1390	1396	1401	1407	1435	1461
260	1343	1349	1355	1361	1367	1373	1402	1429
270	1308	1315	1322	1328	1334	1341	1370	1398
280	1275	1282	1289	1295	1302	1309	1339	1368
290	1243	1250	1257	1264	1271	1278	1309	1337
300	1211	1218	1225	1232	1240	1246	1279	1307

Продолжение таблицы 4.02

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
110	—	1187	1194	1201	1209	1215	1248	1278
120	—	1156	1164	1172	1180	1187	1222	1251
130	—	1126	1134	1143	1150	1159	1194	1225
140	—	—	1108	1115	1124	1132	1168	1200
150	—	—	1085	1092	1099	1107	1142	1173
160	—	—	1061	1069	1076	1083	1117	1150
170	—	—	1037	1045	1052	1059	1095	1128
180	—	—	—	1021	1029	1037	1073	1107
190	—	—	—	1000	1008	1016	1053	1087
200	—	—	—	—	985	993	1031	1066
210	—	—	—	—	964	972	1014	1048
220	—	—	—	—	—	951	993	1029
230	—	—	—	—	—	931	973	1010
240	—	—	—	—	—	—	954	993
250	—	—	—	—	—	—	936	975
260	—	—	—	—	—	—	915	956
270	—	—	—	—	—	—	896	937

Продолжение таблицы 4.02

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	1581	1601	1621	1639	1656	1673	1689	1704	1718
230	1548	1569	1588	1607	1625	1642	1658	1674	1688
240	1576	1539	1558	1577	1595	1612	1628	1644	1659
250	1489	1506	1526	1545	1563	1581	1597	1613	1628
260	1452	1475	1496	1515	1533	1551	1567	1583	1598
270	1422	1445	1466	1485	1503	1521	1538	1554	1569
280	1392	1415	1435	1456	1474	1492	1509	1526	1540
290	1362	1385	1406	1427	1446	1464	1481	1498	1513
300	1332	1356	1377	1398	1418	1436	1454	1472	1488
310	1304	1329	1352	1372	1393	1411	1433	1448	1463
320	1277	1301	1324	1346	1365	1385	1403	1421	1438
330	1251	1275	1297	1319	1339	1359	1378	1397	1415
340	1227	1252	1274	1296	1317	1337	1355	1374	1392
350	1202	1227	1251	1273	1293	1313	1332	1351	1370
360	1179	1205	1229	1252	1273	1293	1312	1331	1347
370	1157	1184	1208	1232	1253	1273	1293	1311	1327
380	1138	1165	1190	1213	1234	1254	1273	1291	1308

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
390	1117	1145	1171	1195	1216	1236	1255	1274	1290
400	1098	1127	1152	1179	1198	1219	1238	1255	1273
410	1080	1109	1135	1160	1182	1202	1222	1240	1257
420	1062	1092	1119	1144	1167	1188	1207	1226	1242
430	1044	1074	1102	1127	1151	1172	1192	1210	1227
440	1027	1057	1088	1114	1138	1159	1178	1197	1213
450	1010	1041	1070	1096	1122	1143	1163	1182	1199
460	991	1025	1055	1082	1107	1129	1149	1168	1184
470	975	1010	1040	1068	1094	1116	1136	1154	1170

Таблица 4.1

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
 фракции н.к.–60°C газового конденсата Вуктыльского
 месторождения при различных температурах и давлениях

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
220	1488	1495	1501	1508	1514	1521	1551	1579
230	1444	1451	1458	1465	1472	1478	1510	1540
240	1404	1411	1418	1425	1432	1438	1470	1499
250	1365	1371	1378	1385	1391	1398	1429	1459
260	1324	1332	1339	1346	1352	1359	1391	1422
270	1285	1292	1299	1306	1313	1320	1353	1384
280	1246	1254	1261	1267	1276	1283	1316	1348
290	1209	1217	1224	1231	1239	1246	1279	1311
300	—	—	—	1195	1202	1209	1245	1278
310	—	—	—	1158	1166	1174	1211	1246
320	—	—	—	—	1131	1139	1177	1212
330	—	—	—	—	—	1104	1143	1180
340	—	—	—	—	—	1070	1113	1152
350	—	—	—	—	—	1037	1079	1119
360	—	—	—	—	—	1005	1049	1090
370	—	—	—	—	—	973	1020	1062
380	—	—	—	—	—	941	990	1034
390	—	—	—	—	—	912	961	1008
400	—	—	—	—	—	881	932	980
410	—	—	—	—	—	852	904	952
420	—	—	—	—	—	824	878	928
430	—	—	—	—	—	794	849	901
440	—	—	—	—	—	765	823	877
450	—	—	—	—	—	737	797	850
460	—	—	—	—	—	—	771	826
470	—	—	—	—	—	—	745	801

Окончание таблицы 4.93

t, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	1604	1629	1652	1675	1698	1720	1740	1760	1778
230	1566	1592	1615	1639	1661	1683	1703	1724	1743
240	1526	1552	1577	1602	1625	1647	1668	1688	1708
250	1486	1513	1540	1565	1589	1613	1633	1654	1674
260	1450	1478	1505	1531	1555	1579	1600	1621	1641
270	1414	1443	1470	1496	1521	1545	1567	1588	1618
280	1378	1407	1435	1462	1487	1512	1534	1556	1577
290	1342	1372	1401	1430	1456	1481	1504	1527	1548
300	1309	1340	1369	1398	1425	1451	1475	1498	1520
310	1273	1310	1340	1369	1397	1423	1447	1471	1493
320	1246	1278	1309	1340	1368	1395	1419	1444	1467
330	1215	1248	1280	1311	1340	1367	1393	1418	1442
340	1188	1222	1254	1285	1314	1342	1367	1392	1417
350	1157	1192	1226	1259	1288	1317	1343	1369	1394
360	1128	1164	1199	1232	1262	1292	1319	1345	1370
370	1102	1139	1175	1208	1238	1268	1296	1322	1348
380	1074	1113	1149	1184	1215	1245	1273	1300	1321
390	1050	1090	1127	1161	1192	1222	1250	1277	1303
400	1024	1065	1103	1138	1170	1200	1228	1256	1282
410	999	1041	1080	1116	1149	1180	1208	1235	1261
420	975	1018	1058	1095	1128	1159	1187	1215	1241
430	949	992	1034	1071	1106	1138	1168	1195	1221
440	925	970	1013	1050	1086	1118	1148	1176	1202
450	900	947	990	1030	1066	1098	1127	1156	1183
460	877	924	958	1009	1047	1080	1110	1138	1164
470	852	899	946	988	1026	1060	1090	1119	1144

Таблица 4.94

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
 фракции 60–95°C газового конденсата Вуктыльского месторождения
 при различных температурах и давлениях

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
220	1604	1611	1617	1623	1629	1635	1665	1694
230	1554	1561	1567	1573	1579	1585	1614	1643
240	1506	1513	1519	1525	1532	1537	1568	1595
250	1480	1466	1473	1479	1485	1491	1520	1548
260	1414	1421	1427	1434	1440	1446	1475	1501
270	1370	1377	1384	1390	1397	1403	1432	1458
280	1326	1335	1341	1348	1354	1361	1391	1418
290	1287	1294	1301	1307	1314	1320	1349	1377

Продолжение таблицы 4.94

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
300	1248	1254	1260	1267	1273	1280	1309	1337
310	1211	1217	1224	1231	1237	1243	1273	1299
320	1172	1180	1187	1193	1200	1206	1236	1264
330	—	1142	1149	1156	1163	1170	1203	1231
340	—	—	1113	1121	1128	1135	1168	1197
350	—	—	1082	1089	1096	1103	1136	1166
360	—	—	—	1057	1064	1072	1105	1136
370	—	—	—	1023	1031	1038	1072	1113
380	—	—	—	—	998	1005	1042	1074
390	—	—	—	—	968	975	1013	1048
400	—	—	—	—	—	945	983	1019
410	—	—	—	—	—	916	957	993
420	—	—	—	—	—	886	928	968
430	—	—	—	—	—	—	903	943
440	—	—	—	—	—	—	877	917
450	—	—	—	—	—	—	852	896
460	—	—	—	—	—	—	829	875
470	—	—	—	—	—	—	804	850

Продолжение таблицы 4.94

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	1720	1746	1770	1793	1813	1833	1851	1868	1884
230	1669	1693	1716	1738	1759	1778	1796	1814	1830
240	1628	1644	1666	1687	1707	1727	1744	1762	1778
250	1573	1596	1618	1639	1659	1678	1695	1714	1729
260	1526	1550	1572	1593	1613	1631	1648	1665	1680
270	1483	1506	1527	1552	1566	1585	1602	1619	1636
280	1443	1465	1485	1505	1524	1543	1560	1577	1593
290	1401	1425	1446	1466	1485	1503	1520	1537	1553
300	0361	1385	1406	1427	1446	1465	1483	1501	1517
310	1323	1347	1368	1388	1408	1428	1446	1464	1481
320	1289	1313	1335	1355	1375	1393	1411	1428	1444
330	1256	1280	1301	1322	1342	1361	1379	1397	1414
340	1222	1246	1268	1290	1310	1330	1348	1366	1389
350	1191	1216	1238	1260	1280	1300	1318	1337	1354
360	1162	1187	1209	1231	1252	1272	1290	1309	1327
370	1132	1157	1181	1204	1225	1246	1264	1283	1300

Окончание таблицы 4.94

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	20	25	30	35	40	45	50	55
380	1103	1129	1153	1177	1199	1219	1238	1257
390	1077	1104	1128	1153	1175	1196	1215	1234
400	1050	1078	1104	1128	1151	1173	1192	1211
410	1026	1054	1081	1106	1130	1152	1172	1190
420	999	1031	1059	1085	1109	1131	1151	1171
430	977	1009	1037	1063	1088	1111	1131	1150
440	955	987	1016	1043	1068	1090	1110	1130
450	934	967	996	1023	1046	1071	1092	1111
460	913	947	977	1006	1031	1055	1075	1094
470	890	926	958	988	1013	1037	1058	1078

Таблица 4.95

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
 фракции 95–122°С газового конденсата Вуктыльского
 месторождения при различных температурах и давлениях

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
220	1511	1516	1521	1526	1531	1536	1561	1585
230	1472	1478	1483	1489	1494	1499	1526	1551
240	1437	1443	1448	1454	1459	1465	1492	1519
250	1399	1405	1411	1417	1423	1429	1458	1487
260	1362	1368	1375	1381	1387	1393	1424	1454
270	1325	1331	1338	1345	1351	1358	1389	1420
280	1288	1295	1302	1309	1316	1323	1357	1390
290	1251	1259	1266	1274	1281	1289	1324	1358
300	1213	1222	1231	1240	1249	1257	1295	1328
310	1183	1192	1200	1208	1217	1225	1263	1299
320	1151	1160	1168	1176	1185	1193	1232	1269
330	1121	1129	1138	1147	1155	1163	1202	1238
340	1090	1099	1108	1116	1125	1133	1172	1210
350	1060	1069	1078	1086	1094	1103	1143	1181
360	—	—	—	1057	1065	1073	1114	1154
370	—	—	—	1027	1036	1044	1086	1126
380	—	—	—	—	—	1013	1057	1099
390	—	—	—	—	—	986	1030	1072
400	—	—	—	—	—	958	1002	1045
410	—	—	—	—	—	930	977	1020
420	—	—	—	—	—	902	950	925

Продолжение таблицы 4.9б

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
430	—	—	—	—	—	874	925	971
440	—	—	—	—	—	845	900	946
450	—	—	—	—	—	819	874	921
460	—	—	—	—	—	—	849	897
470	—	—	—	—	—	—	827	874

Окончание таблицы 4.9б

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	1609	1632	1655	1677	1699	1720	1740	1761	1780
230	1577	1602	1626	1649	1671	1693	1714	1734	1755
240	1545	1570	1594	1619	1641	1664	1685	1707	1727
250	1514	1540	1565	1590	1613	1637	1658	1680	1702
260	1482	1510	1536	1562	1586	1610	1632	1654	1675
270	1450	1479	1506	1531	1556	1582	1604	1627	1649
280	1420	1450	1478	1505	1530	1555	1579	1602	1624
290	1389	1420	1449	1477	1503	1528	1551	1575	1598
300	1360	1390	1420	1448	1475	1504	1527	1551	1573
310	1331	1362	1392	1421	1449	1476	1501	1525	1548
320	1302	1334	1365	1394	1423	1450	1476	1501	1523
330	1273	1306	1337	1368	1397	1425	1450	1476	1499
340	1245	1279	1311	1342	1371	1400	1427	1452	1476
350	1217	1252	1285	1317	1346	1374	1401	1427	1452
360	1191	1227	1260	1292	1322	1350	1377	1403	1428
370	1164	1200	1234	1266	1296	1325	1353	1380	1405
380	1138	1175	1208	1241	1271	1301	1329	1357	1384
390	1111	1149	1183	1216	1247	1277	1305	1333	1360
400	1085	1123	1158	1192	1223	1254	1283	1312	1338
410	1060	1099	1134	1168	1200	1230	1259	1289	1315
420	1035	1073	1109	1143	1175	1206	1236	1265	1293
430	1012	1050	1085	1119	1151	1183	1213	1243	1272
440	987	1026	1061	1095	1127	1159	1190	1221	1251
450	964	1002	1038	1072	1104	1137	1168	1198	1228
460	940	980	1014	1049	1082	1115	1147	1178	1208
470	916	955	991	1026	1060	1093	1125	1157	1187

Таблица 4.96

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
 фракции 122–150°C газового конденсата Вуктыльского
 месторождения при различных температурах и давлениях

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
220	1470	1474	1479	1483	1487	1492	1510	1527
230	1435	1439	1443	1447	1452	1456	1475	1492
240	1400	1404	1408	1413	1417	1421	1440	1459
250	1366	1370	1374	1379	1383	1387	1407	1426
260	1334	1338	1343	1347	1352	1356	1376	1395
270	1300	1305	1310	1315	1319	1324	1345	1365
280	1270	1275	1280	1285	1290	1294	1316	1335
290	1239	1244	1248	1253	1258	1263	1285	1306
300	1209	1214	1219	1225	1230	1235	1259	1280
310	1179	1185	1190	1196	1201	1206	1230	1252
320	1150	1156	1165	1167	1173	1178	1204	1227
330	1123	1128	1134	1139	1145	1151	1177	1200
340	1093	1099	1105	1111	1117	1123	1150	1175
350	1065	1071	1077	1083	1089	1095	1123	1148
360	1037	1043	1050	1056	1062	1069	1097	1123
370	1010	1016	1023	1029	1035	1042	1071	1100
380	985	991	998	1005	1011	1017	1046	1073
390	—	—	—	—	985	991	1022	1050
400	—	—	—	—	—	967	997	1026
410	—	—	—	—	—	942	973	1003
420	—	—	—	—	—	918	950	981
430	—	—	—	—	—	895	928	959
440	—	—	—	—	—	871	905	938
450	—	—	—	—	—	848	877	914
460	—	—	—	—	—	828	861	892
470	—	—	—	—	—	805	838	869

Продолжение таблицы 4.96

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	1541	1555	1564	1574	1581	1588	1595	1601	1607
230	1507	1521	1532	1542	1551	1559	1566	1574	1580
240	1473	1488	1500	1512	1522	1532	1540	1548	1554
250	1442	1458	1471	1483	1493	1504	1513	1521	1528
260	1412	1427	1441	1454	1465	1475	1485	1495	1504
270	1383	1399	1414	1427	1439	1449	1460	1470	1480
280	1353	1370	1385	1399	1412	1424	1434	1445	1455

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
290	1325	1343	1359	1374	1387	1400	1411	1422	1433
300	1299	1316	1332	1347	1362	1375	1388	1399	1410
310	1272	1290	1307	1323	1338	1352	1364	1377	1388
320	1247	1265	1281	1298	1313	1327	1342	1354	1365
330	1221	1240	1258	1274	1290	1305	1319	1332	1344
340	1196	1216	1234	1251	1267	1283	1297	1310	1323
350	1171	1192	1211	1229	1246	1263	1277	1291	1303
360	1146	1167	1181	1205	1223	1239	1256	1270	1282
370	1121	1144	1164	1184	1202	1221	1236	1251	1264
380	1098	1122	1143	1164	1177	1200	1217	1232	1247
390	1075	1100	1122	1143	1162	1181	1198	1213	1228
400	1054	1079	1103	1124	1144	1163	1179	1196	1211
410	1031	1057	1081	1103	1124	1143	1162	1171	1195
420	1009	1035	1060	1081	1105	1125	1143	1161	1177
430	988	1016	1040	1060	1087	1108	1127	1145	1162
440	967	996	1021	1046	1069	1091	1110	1129	1147
450	944	972	1000	1028	1052	1074	1094	1114	1133
460	923	952	979	1008	1033	1056	1076	1097	1116
470	899	930	960	988	1014	1039	1060	1081	1102

Таблица 4.97

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
 фракции 150–175°C газового конденсата Вуктыльского
 месторождения при различных температурах и давлениях

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
220	1538	1543	1548	1553	1557	1562	1589	1606
230	1473	1478	1483	1487	1492	1496	1518	1540
240	1421	1425	1429	1433	1437	1441	1463	1483
250	1372	1376	1381	1383	1390	1394	1416	1437
260	1328	1335	1337	1342	1346	1351	1372	1394
270	1291	1296	1300	1305	1309	1314	1336	1357
280	1259	1264	1268	1273	1277	1282	1304	1326
290	1230	1234	1238	1243	1248	1253	1275	1297
300	1203	1208	1213	1218	1222	1226	1249	1271
310	1179	1184	1188	1193	1198	1202	1225	1247
320	1156	1161	1166	1170	1175	1180	1202	1225
330	1136	1141	1145	1150	1154	1159	1182	1204
340	1114	1119	1124	1129	1134	1138	1162	1184

Продолжение таблицы 4.97

T, K	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
150	1094	1099	1104	1109	1114	1119	1142	1165
160	1076	1081	1085	1090	1095	1100	1124	1148
170	1058	1064	1068	1073	1078	1083	1107	1131
180	1041	1047	1052	1058	1063	1068	1093	1118
190	1025	1031	1036	1042	1047	1052	1078	1103
400	1010	1016	1022	1028	1034	1039	1067	1092
410	995	1001	1007	1014	1019	1026	1054	1081
420	—	987	993	1000	1006	1013	1043	1071
430	—	—	980	987	994	1001	1032	1060
440	—	—	—	974	982	989	1022	1049
450	—	—	—	—	969	977	1010	1041
460	—	—	—	—	958	966	1000	1032
470	—	—	—	—	—	954	990	1010

Продолжение таблицы 4.97

T, K	Коэффициент теплопроводности при P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
220	1626	1645	1662	1678	1693	1707	1721	1734	1747
230	1560	1579	1596	1613	1628	1641	1657	1669	1685
240	1504	1523	1541	1558	1573	1588	1602	1615	1627
250	1451	1476	1493	1509	1524	1538	1551	1565	1577
260	1414	1433	1450	1466	1481	1495	1507	1521	1532
270	1377	1397	1414	1430	1445	1459	1471	1483	1494
280	1346	1365	1382	1397	1412	1425	1438	1450	1461
290	1317	1336	1353	1369	1383	1397	1410	1423	1434
300	1291	1310	1328	1344	1359	1373	1385	1398	1410
310	1267	1286	1304	1320	1335	1349	1363	1377	1389
320	1245	1264	1282	1299	1319	1329	1343	1357	1370
330	1224	1244	1262	1279	1295	1310	1325	1340	1354
340	1205	1225	1243	1261	1278	1294	1309	1324	1338
350	1186	1207	1226	1245	1261	1278	1294	1309	1323
360	1170	1191	1211	1230	1248	1265	1281	1296	1310
370	1153	1175	1196	1216	1234	1251	1268	1283	1299
380	1140	1162	1182	1202	1221	1239	1256	1272	1288
390	1127	1150	1171	1191	1210	1229	1246	1262	1278
400	1116	1139	1161	1182	1201	1219	1236	1253	1269
410	1106	1130	1151	1172	1191	1210	1227	1244	1260
420	1096	1120	1141	1162	1182	1201	1219	1236	1253

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
430	1086	1111	1133	1154	1175	1194	1212	1229	1246
440	1078	1103	1125	1147	1167	1187	1206	1222	1239
450	1069	1095	1118	1140	1161	1179	1198	1216	1232
460	1060	1087	1110	1132	1153	1169	1190	1208	1226
470	1052	1079	1103	1125	1145	1165	1183	1201	1219

Таблица 4.98

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата Каневского месторождения
при различных температурах и давлениях

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа							
	0,098	4,9	9,8	14,7	19,6	24,5	29,4	34,3
233,2	1295	1313	1332	1351	1368	1380	1391	1402
243,2	1275	1295	1315	1336	1356	1369	1381	1394
253,2	1253	1274	1295	1316	1338	1352	1365	1378
263,2	1228	1250	1272	1295	1317	1332	1345	1358
273,2	1204	1226	1250	1273	1296	1310	1234	1338
283,2	1175	1202	1225	1249	1272	1287	1302	1317
293,2	1154	1177	1201	1225	1249	1264	1279	1294
303,2	1129	1152	1176	1199	1222	1239	1254	1270
313,2	1104	1127	1151	1174	1197	1213	1229	1246
323,2	1079	1102	1125	1148	1171	1187	1204	1221
333,2	1055	1078	1101	1125	1148	1165	1182	1199
343,2	1030	1053	1076	1099	1122	1140	1158	1176
353,2	1003	1028	1052	1075	1098	1116	1134	1153
363,2	980	1004	1027	1052	1075	1094	1112	1131
373,2	955	978	1002	1027	1051	1070	1089	1108
383,2	930	954	978	1002	1026	1046	1066	1085
393,2	906	930	954	976	1002	1023	1043	1063
403,2	881	906	931	955	979	1000	1020	1041
413,2	—	—	908	932	956	978	999	1021
423,2	—	—	886	910	935	957	978	1000
433,2	—	—	864	888	912	934	956	979
443,2	—	—	841	865	891	914	937	960
453,2	—	—	819	844	869	893	917	940
463,2	—	—	798	824	848	873	896	921
473,2	—	—	778	804	830	854	878	903

Окончание таблицы 4.98

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	39,2	44,1	49,0	58,8	68,6	78,4	88,2	98,0
233,2	1413	1421	1428	1443	1458	1474	1483	1492
243,2	1406	1414	1422	1439	1456	1473	1484	1496
253,2	1392	1401	1411	1431	1448	1466	1480	1494
263,2	1372	1383	1394	1417	1436	1456	1470	1484
273,2	1353	1365	1376	1401	1421	1441	1456	1471
283,2	1331	1344	1356	1381	1401	1422	1438	1453
293,2	1308	1322	1335	1361	1382	1403	1419	1436
303,2	1286	1300	1313	1340	1363	1385	1401	1417
313,2	1262	1276	1290	1319	1342	1363	1381	1398
323,2	1238	1253	1268	1297	1320	1344	1360	1387
333,2	1216	1231	1246	1275	1299	1323	1341	1359
343,2	1194	1209	1224	1255	1280	1305	1323	1341
353,2	1171	1187	1202	1234	1259	1284	1304	1323
363,2	1149	1165	1181	1213	1239	1265	1285	1304
373,2	1127	1144	1160	1194	1220	1247	1267	1287
383,2	1105	1122	1139	1172	1199	1226	1248	1268
393,2	1083	1100	1117	1153	1180	1208	1229	1251
403,2	1062	1079	1096	1132	1160	1188	1210	1232
413,2	1042	1059	1077	1111	1140	1169	1191	1215
423,2	1022	1040	1058	1094	1123	1152	1174	1198
433,2	1002	1020	1040	1077	1106	1135	1159	1182
443,2	982	1001	1021	1059	1089	1119	1143	1167
453,2	964	983	1002	1042	1072	1104	1128	1152
463,2	945	964	984	1024	1056	1087	1112	1136
473,2	927	947	967	1006	1038	1070	1096	1122

Таблица 4.99

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата Кушчевского месторождения
при различных температурах и давлениях**

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,098	4,9	9,8	14,7	19,6	24,5	29,4	34,3
243,2	1241	1255	1268	1282	1295	1305	1315	1325
253,2	1225	1241	1256	1272	1287	1298	1308	1319
263,2	1205	1222	1238	1255	1271	1283	1295	1306
273,2	1182	1200	1218	1236	1254	1266	1278	1290
283,2	1158	1176	1195	1214	1232	1245	1256	1269
293,2	1134	1153	1172	1191	1210	1222	1235	1248
303,2	1110	1128	1147	1166	1184	1197	1210	1224
313,2	1086	1104	1122	1141	1159	1173	1186	1200

Продолжение таблицы 4.99

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,098	4,9	9,8	14,7	19,6	24,5	29,4	34,3
323,2	1062	1080	1099	1117	1135	1149	1163	1176
333,2	1038	1056	1076	1094	1112	1126	1140	1154
343,2	1014	1033	1051	1070	1089	1103	1117	1132
353,2	990	1009	1027	1046	1065	1079	1094	1108
363,2	965	984	1004	1023	1042	1057	1072	1087
373,2	942	961	980	999	1018	1034	1049	1064
383,2	917	936	956	975	995	1011	1027	1043
393,2	893	912	932	952	972	988	1004	1019
403,2	—	—	910	929	948	964	980	996
413,2	—	—	888	907	926	943	960	977
423,2	—	—	866	886	904	922	939	957
433,2	—	—	842	862	882	900	918	936
443,2	—	—	821	842	862	880	899	917
453,2	—	—	799	820	842	861	879	897
463,2	—	—	778	799	821	840	859	877
473,2	—	—	758	779	800	819	837	856

Продолжение таблицы 4.99

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	39,2	44,1	49,0	58,8	68,6	78,4	88,2	98,0
243,2	1335	1343	1351	1366	1376	1386	1396	1406
253,2	1329	1339	1348	1366	1378	1389	1402	1413
263,2	1318	1328	1338	1358	1371	1385	1395	1405
273,2	1302	1312	1323	1344	1360	1376	1390	1403
283,2	1281	1292	1303	1326	1344	1362	1376	1392
293,2	1260	1271	1282	1304	1323	1341	1358	1374
303,2	1238	1248	1260	1282	1302	1322	1338	1354
313,2	1214	1225	1237	1260	1280	1300	1316	1332
323,2	1190	1202	1214	1238	1258	1278	1295	1311
333,2	1168	1181	1193	1218	1238	1258	1274	1290
343,2	1146	1159	1171	1196	1218	1239	1255	1271
353,2	1123	1136	1149	1175	1196	1218	1235	1251
363,2	1102	1115	1128	1155	1176	1197	1214	1231
373,2	1080	1094	1107	1134	1156	1178	1195	1211
383,2	1059	1072	1086	1114	1136	1158	1175	1192
393,2	1035	1050	1064	1092	1117	1138	1155	1173
403,2	1012	1027	1042	1072	1095	1118	1135	1152
413,2	994	1008	1023	1052	1075	1098	1116	1133

t, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	39,2	44,1	49,0	58,8	68,6	78,4	88,2	98,0
423,2	974	989	1003	1033	1056	1080	1097	1114
433,2	954	968	983	1013	1038	1062	1080	1037
443,2	935	950	965	995	1019	1043	1062	1081
453,2	915	930	945	975	1000	1025	1045	1064
463,2	896	911	926	957	981	1005	1026	1046
473,2	875	891	907	938	963	987	1008	1029

Таблица 4.100

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата Майкопского месторождения (I горизонт)
при различных температурах и давлениях [55]

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа							
	0,098	4,9	9,8	14,7	19,6	24,5	29,4	34,3
223,2	1254	1261	1269	1276	1284	—	—	—
233,2	1248	1258	1269	1280	1290	1300	1309	1319
243,2	1234	1246	1258	1270	1282	1294	1305	1316
253,2	1215	1228	1242	1256	1270	1283	1294	1306
263,2	1196	1210	1225	1240	1254	1266	1278	1290
273,2	1176	1191	1206	1221	1236	1248	1259	1271
283,2	1156	1171	1186	1201	1215	1228	1238	1250
293,2	1138	1152	1166	1181	1195	1207	1218	1230
303,2	1121	1134	1148	1162	1176	1187	1199	1210
313,2	1104	1116	1130	1143	1156	1168	1180	1192
323,2	1085	1098	1111	1125	1138	1150	1162	1173
333,2	1066	1080	1094	1108	1121	1132	1144	1155
343,2	1048	1061	1075	1089	1102	1114	1125	1136
353,2	1030	1044	1057	1071	1084	1096	1108	1119
363,2	1012	1026	1040	1054	1068	1080	1092	1103
373,2	993	1008	1022	1038	1052	1063	1074	1086
383,2	974	989	1004	1020	1034	1046	1058	1070
393,2	956	972	988	1004	1020	1031	1042	1054
403,2	940	956	972	988	1004	1016	1027	1039
413,2	921	937	953	970	987	1000	1012	1024
423,2	905	921	938	956	972	985	997	1009
433,2	888	905	922	940	957	968	980	992
443,2	—	—	906	924	942	954	966	978
453,2	—	—	890	908	926	938	950	964
463,2	—	—	876	894	912	925	937	950
473,2	—	—	860	878	897	910	921	933

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа							
	39,2	44,1	49,0	58,8	68,6	78,4	88,2	98,0
233,2	—	—	—	—	—	—	—	—
233,2	1329	1338	1345	1362	1376	1390	1402	1413
243,2	1327	1336	1345	1364	1380	1395	1408	1423
253,2	1317	1326	1335	1354	1371	1388	1403	1418
263,2	1301	1311	1320	1340	1356	1376	1390	1406
273,2	1283	1293	1302	1322	1338	1355	1372	1388
283,2	1262	1272	1282	1302	1318	1336	1352	1368
293,2	1242	1252	1262	1282	1299	1316	1332	1348
303,2	1221	1232	1242	1262	1278	1295	1311	1327
313,2	1204	1214	1223	1243	1259	1276	1292	1308
323,2	1184	1194	1204	1224	1240	1258	1273	1288
333,2	1167	1176	1186	1205	1222	1239	1255	1271
343,2	1147	1158	1168	1188	1205	1223	1238	1254
353,2	1130	1140	1150	1170	1187	1205	1221	1236
363,2	1115	1124	1133	1152	1170	1188	1203	1219
373,2	1097	1107	1117	1136	1153	1172	1187	1202
383,2	1072	1091	1101	1120	1137	1155	1170	1187
393,2	1065	1075	1084	1102	1120	1139	1154	1170
403,2	1050	1060	1070	1088	1106	1124	1140	1156
413,2	1036	1046	1054	1072	1090	1108	1125	1141
423,2	1020	1029	1038	1056	1074	1093	1109	1124
433,2	1004	1014	1022	1041	1059	1078	1094	1110
443,2	990	999	1008	1026	1044	1063	1079	1095
453,2	976	985	994	1012	1030	1048	1064	1080
463,2	962	970	979	998	1016	1034	1050	1065
473,2	944	954	962	981	1000	1019	1035	1050

Таблица 4.101

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата Майкопского месторождения (I горизонт)
и его фракций при различных температурах и давлениях [83]

Т, К	Наименование вещества				
	Конденсат	н.к. —60°С	60–90°С	95–122°С	122–150°С
223,2	1254	1188	1216	1246	1270
233,2	1248	1168	1196	1227	1255
243,2	1231	1147	1175	1208	1238
253,2	1212	1127	1155	1189	1220
263,2	1194	1107	1136	1170	1202
273,2	1175	1087	1117	1152	1184
283,2	1158	1067	1098	1133	1165

Продолжение таблицы 4.101

T, К	Наименование вещества				
	Конденсат	н.к.—60°C	60—90°C	95—122°	122—150°C
293,2	1140	1047	1079	1113	1147
313,2	1102	1008	1042	1075	1111
333,2	—	968	1005	1037	1074
353,2	—	—	968	1000	1038
373,2	—	—	—	962	1003
393,2	—	—	—	—	930
413,2	—	—	—	—	—
433,2	—	—	—	—	—
453,2	—	—	—	—	—
473,2	—	—	—	—	—

Окончание таблицы 4.101

T, К	Наименование вещества				
	150—175°C	175—200°C	200—225°C	225—250°C	250—к.к.
223,2	1298	1344	—	—	—
233,2	1282	1331	1353	—	—
243,2	1265	1316	1348	1373	—
253,2	1249	1299	1334	1363	—
263,2	1232	1281	1317	1346	1356
273,2	1215	1263	1298	1328	1352
283,2	1199	1244	1278	1311	1337
293,2	1181	1226	1259	1292	1303
313,2	1144	1188	1221	1254	1286
333,2	1109	1150	1184	1217	1249
353,2	1073	1113	1146	1180	1212
373,2	1037	1076	1109	1143	1176
393,2	1003	1039	1072	1106	1138
413,2	966	1001	1034	1069	1101
433,2	930	964	997	1033	1066
453,2	—	927	961	966	1029
473,2	—	889	924	958	992

Таблица 4.102

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата Майкопского месторождения (II горизонт)
и его фракций при различных температурах и давлениях [83]

T, К	Наименование вещества				
	Конденсат	н.к.—60°C	60—90°C	95—122°C	122—150°C
223,2	1178	1051	1095	1139	1173
233,2	1161	1026	1070	1115	1152
243,2	1143	1004	1049	1094	1134
253,2	1125	984	1029	1075	1116
263,2	1106	963	1009	1054	1097
273,2	1089	941	988	1034	1078
283,2	1070	919	967	1013	1058
293,2	1050	899	946	994	1038
313,2	1011	856	904	952	998
333,2	972	—	862	911	958
353,2	—	—	—	871	918
373,2	—	—	—	—	878
393,2	—	—	—	—	839
413,2	—	—	—	—	—
433,2	—	—	—	—	—
453,2	—	—	—	—	—
473,2	—	—	—	—	—

Окончание таблицы 4.102

T, К	Наименование вещества				
	150—175°C	175—200°C	200—225°C	225—250°C	250—к.к.
223,2	1208	—	—	—	—
233,2	1191	1228	—	—	—
243,2	1174	1219	1253	1270	—
253,2	1158	1202	1243	1268	—
263,2	1141	1183	1225	1259	1281
273,2	1122	1164	1207	1244	1276
283,2	1103	1144	1188	1230	1265
293,2	1084	1126	1170	1212	1250
313,2	1045	1089	1133	1176	1215
333,2	1005	1050	1095	1138	1178
353,2	966	1012	1057	1099	1140
373,2	927	978	1018	1062	1102
393,2	888	934	981	1024	1065
413,2	849	896	943	986	1027
433,2	—	858	905	949	989
453,2	—	829	867	911	952
473,2	—	783	830	873	915

Таблица 4.103

Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата Майкопского месторождения (III горизонт)
и его фракций при различных температурах и давлениях [83]

Т, К	Наименование вещества				
	Конденсат	н.к. –60°C	60–90°C	95–122°C	122–150°C
223,2	1304	1192	1250	1292	1314
233,2	1284	1166	1225	1268	1295
243,2	1262	1141	1199	1243	1271
253,2	1238	1116	1174	1218	1246
263,2	1215	1090	1149	1193	1222
273,2	1191	1066	1124	1167	1198
283,2	1167	1040	1098	1142	1173
293,2	1142	1016	1073	1116	1148
313,2	1092	965	1022	1064	1099
333,2	—	915	972	1014	1050
353,2	—	—	922	963	1000
373,2	—	—	—	913	951
393,2	—	—	—	863	902
413,2	—	—	—	—	853
433,2	—	—	—	—	—
453,2	—	—	—	—	—
473,2	—	—	—	—	—

Окончание таблицы 4.103

Т, К	Наименование вещества				
	150–175°C	175–200°C	200–225°C	225–250°C	250–к.к.
223,2	1340	1368	—	—	—
233,2	1319	1348	1360	—	—
243,2	1297	1326	1352	1372	—
253,2	1274	1304	1333	1359	—
263,2	1250	1281	1311	1340	1350
273,2	1227	1258	1289	1320	1345
283,2	1203	1235	1267	1298	1327
293,2	1179	1212	1244	1276	1308
313,2	1131	1165	1199	1231	1266
333,2	1074	1118	1153	1187	1221
353,2	1036	1072	1108	1143	1178
373,2	989	1026	1062	1099	1134
393,2	942	980	1017	1055	1090
413,2	894	934	972	1011	1047
433,2	847	888	926	967	1004
453,2	—	843	881	923	962
473,2	—	—	835	880	919

Окончание таблицы 4.106

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа							
	39,2	44,1	49,0	58,8	68,6	78,4	88,2	98,0
333,2	1114	1120	1126	1138	1150	1162	1174	1185
343,2	1094	1100	1106	1118	1130	1142	1154	1166
353,2	1072	1078	1084	1097	1110	1122	1135	1148
363,2	1050	1056	1063	1076	1090	1104	1116	1130
373,2	1028	1035	1042	1056	1070	1084	1098	1112
383,2	1006	1013	1020	1035	1050	1065	1080	1094
393,2	986	999	1000	1016	1032	1046	1062	1077
403,2	966	974	982	998	1012	1028	1044	1060
413,2	944	953	961	978	994	1010	1026	1043
423,2	924	932	940	957	974	992	1009	1027
433,2	904	912	920	938	956	974	992	1010
443,2	885	893	902	919	937	956	975	994
453,2	866	875	884	902	920	938	957	976
463,2	845	854	863	882	900	920	939	960
473,2	827	836	845	864	884	904	924	944

Таблица 4.107

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата Солоховского месторождения
при различных температурах и давлениях [55]**

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа							
	0,098	4,9	9,8	14,7	19,6	24,5	29,4	34,3
273,2	1172	1178	1185	1192	1198	—	—	—
283,2	1167	1175	1182	1189	1196	1202	1209	1216
293,2	1154	1162	1169	1176	1184	1191	1198	1206
303,2	1134	1142	1150	1157	1164	1173	1181	1189
313,2	1112	1120	1128	1135	1143	1151	1159	1166
323,2	1087	1095	1103	1111	1119	1126	1134	1142
333,2	1061	1069	1078	1086	1094	1102	1110	1119
343,2	1036	1044	1052	1060	1068	1076	1084	1096
353,2	1012	1021	1028	1037	1046	1054	1062	1070
363,2	988	997	1005	1014	1023	1032	1040	1049
373,2	964	974	983	992	1001	1010	1019	1028
383,2	940	950	960	970	980	990	1000	1009
393,2	919	928	938	948	959	969	979	990
403,2	897	908	918	930	940	951	962	973

Продолжение таблицы 4.107

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа							
	0,098	4,9	9,8	14,7	19,6	24,5	29,4	34,3
413,2	875	887	899	911	923	934	945	956
423,2	854	867	879	892	904	916	927	939
433,2	—	—	863	876	888	900	912	924
443,2	—	—	847	860	873	886	898	910
453,2	—	—	833	846	858	872	885	898
463,2	—	—	816	830	844	857	871	885
473,2	—	—	804	818	833	847	861	876

Окончание таблицы 4.107

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа							
	39,2	44,1	49,0	58,8	68,6	78,4	88,2	98,0
273,2	—	—	—	—	—	—	—	—
283,2	1222	1227	1232	1241	1250	1257	1262	1266
293,2	1214	1219	1224	1235	1244	1252	1258	1263
303,2	1197	1203	1210	1222	1231	1240	1247	1254
313,2	1175	1182	1190	1204	1214	1224	1232	1239
323,2	1150	1159	1168	1185	1194	1203	1212	1220
333,2	1127	1136	1144	1160	1172	1184	1192	1201
343,2	1101	1110	1118	1135	1149	1162	1171	1179
353,2	1078	1088	1096	1113	1128	1141	1150	1159
363,2	1058	1066	1075	1093	1107	1121	1130	1138
373,2	1037	1046	1056	1074	1088	1104	1112	1121
383,2	1019	1027	1036	1054	1070	1086	1096	1104
393,2	1000	1010	1019	1037	1054	1072	1080	1089
403,2	984	993	1002	1021	1038	1055	1065	1075
413,2	967	976	987	1008	1025	1041	1052	1062
423,2	950	961	973	995	1012	1030	1040	1050
433,2	935	947	959	983	1000	1018	1028	1038
443,2	922	935	947	972	990	1008	1019	1030
453,2	911	924	936	962	981	1000	1011	1022
463,2	898	912	926	954	974	994	1005	1015
473,2	889	904	918	946	966	988	999	1010

Таблица 4.108

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата Опошнянского месторождения
при различных температурах и давлениях [55]**

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа							
	0,098	4,9	9,8	14,7	19,6	24,5	29,4	34,3
283,2	1203	1213	1222	1232	1241	1250	1258	1267
293,2	1192	1202	1212	1223	1233	1241	1249	1258
303,2	1174	1185	1196	1207	1218	1227	1236	1244
313,2	1152	1162	1174	1185	1197	1206	1215	1224
323,2	1126	1138	1150	1161	1172	1183	1193	1202
333,2	1100	1112	1124	1136	1148	1158	1169	1179
343,2	1075	1087	1099	1111	1122	1133	1143	1153
353,2	1050	1062	1074	1086	1098	1108	1119	1130
363,2	1026	1038	1058	1062	1074	1084	1096	1106
373,2	1002	1014	1026	1038	1050	1061	1072	1083
383,2	980	992	1003	1015	1026	1038	1050	1061
393,2	958	969	982	993	1005	1016	1028	1039
403,2	934	946	958	971	984	996	1007	1018
413,2	912	924	937	949	962	974	986	998
423,2	888	901	915	928	942	954	965	976
433,2	—	—	895	908	920	932	943	954
443,2	—	—	876	888	900	912	923	934
453,2	—	—	856	868	880	892	904	916
463,2	—	—	835	848	860	872	884	896
473,2	—	—	816	828	840	851	862	874

Продолжение таблицы 4.108

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа							
	39,2	44,1	49,0	58,8	68,6	78,4	88,2	98,0
283,2	1275	1284	1292	1309	1326	1343	1356	1368
293,2	1266	1275	1284	1301	1319	1337	1350	1363
303,2	1253	1262	1271	1288	1306	1323	1336	1350
313,2	1234	1242	1250	1268	1286	1302	1318	1332
323,2	1212	1221	1229	1246	1263	1281	1296	1310
333,2	1190	1198	1206	1223	1240	1257	1272	1286
343,2	1164	1172	1181	1198	1215	1232	1246	1261
353,2	1140	1148	1157	1174	1192	1208	1226	1237
363,2	1116	1125	1134	1151	1167	1184	1198	1212
373,2	1094	1103	1111	1128	1144	1161	1175	1188
383,2	1072	1081	1089	1107	1123	1139	1152	1166

Окончание таблицы 4.108

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа							
	39,2	44,1	49,0	58,8	68,6	78,4	88,2	98,0
393,2	1050	1059	1067	1084	1101	1117	1131	1144
403,2	1030	1038	1048	1066	1082	1098	1111	1125
413,2	1010	1019	1028	1046	1063	1080	1092	1106
423,2	988	998	1008	1026	1042	1059	1074	1088
433,2	966	976	986	1006	1022	1040	1056	1071
443,2	946	955	966	986	1003	1021	1036	1052
453,2	928	938	948	968	986	1003	1018	1034
463,2	908	917	928	948	966	984	1001	1018
473,2	886	897	908	930	947	964	981	999

Таблица 4.109

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата месторождения Шатлык
при различных температурах и давлениях [82]**

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа						
	0,1	5,0	10	15	20	30	40
313	0,121	0,123	0,124	0,126	0,128	0,131	0,134
333	0,116	0,118	0,119	0,121	0,123	0,126	0,130
353	0,111	0,113	0,115	0,116	0,118	0,122	0,126
373	0,107	0,109	0,111	0,112	0,114	0,118	0,122
393	0,103	0,105	0,107	0,109	0,111	0,115	0,118
413	0,099	0,101	0,103	0,106	0,108	0,112	0,115
433	0,095	0,097	0,100	0,102	0,105	0,109	0,112
453	—	0,094	0,097	0,099	0,102	0,106	0,109
473	—	0,091	0,094	0,096	0,099	0,103	0,107
493	—	0,088	0,091	0,093	0,096	0,101	0,105
513	—	0,085	0,088	0,090	0,094	0,098	0,103
533	—	0,082	0,086	0,089	0,091	0,096	0,101

Таблица 4.110

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата месторождения Шахпакты
при различных температурах и давлениях [82]**

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа						
	0,1	5,0	10	15	20	30	40
313	0,117	0,119	0,121	0,126	0,124	0,128	0,130
333	0,113	0,115	0,117	0,118	0,120	0,124	0,127
353	0,108	0,111	0,113	0,115	0,116	0,120	0,123
373	0,104	0,107	0,109	0,111	0,113	0,117	0,120
393	0,101	0,103	0,105	0,108	0,110	0,114	0,117
413	—	0,099	0,102	0,104	0,107	0,111	0,114
433	—	0,096	0,099	0,101	0,104	0,108	0,111

Окончание таблицы 4.110

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,1	5,0	10	15	20	30	40
453	—	0,093	0,096	0,098	0,101	0,105	0,109
473	—	0,090	0,093	0,096	0,098	0,103	0,106
493	—	0,088	0,090	0,093	0,096	0,100	0,104
513	—	0,085	0,088	0,091	0,094	0,098	0,102
533	—	0,083	0,086	0,089	0,092	0,097	0,101

Таблица 4.111

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата месторождения Гугуртли
при различных температурах и давлениях [82]**

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,1	5,0	10	15	20	30	40
313	0,116	0,117	0,119	0,121	0,122	0,126	0,129
333	0,111	0,113	0,114	0,116	0,118	0,121	0,125
353	0,106	0,108	0,110	0,112	0,114	0,118	0,121
373	0,102	0,104	0,106	0,108	0,110	0,115	0,117
393	0,098	0,101	0,103	0,105	0,107	0,111	0,113
413	0,094	0,097	0,100	0,102	0,104	0,108	0,110
433	0,091	0,094	0,097	0,099	0,101	0,105	0,107
453	—	0,091	0,094	0,096	0,098	0,102	0,105
473	—	0,088	0,091	0,094	0,096	0,100	0,103
493	—	0,086	0,089	0,091	0,094	0,098	0,101
513	—	0,083	0,086	0,089	0,091	0,096	0,099
533	—	0,081	0,084	0,087	0,089	0,094	0,098

Таблица 4.112

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата месторождения Северный Мубарек
при различных температурах и давлениях [82]**

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,1	5,0	10	15	20	30	40
313	0,114	0,116	0,118	0,120	0,121	0,125	0,129
333	0,109	0,111	0,113	0,115	0,117	0,120	0,124
353	0,105	0,107	0,109	0,111	0,112	0,116	0,120
373	0,101	0,103	0,105	0,107	0,108	0,112	0,116
393	0,097	0,099	0,101	0,103	0,105	0,102	0,113
413	0,093	0,095	0,098	0,100	0,102	0,106	0,110
433	0,090	0,092	0,094	0,097	0,099	0,103	0,107
453	—	0,089	0,091	0,094	0,096	0,101	0,104
473	—	0,086	0,088	0,091	0,094	0,098	0,102
493	—	0,084	0,086	0,089	0,091	0,096	0,100
513	—	0,081	0,083	0,087	0,089	0,094	0,098
533	—	0,079	0,081	0,085	0,087	0,092	0,096

Таблица 4.113

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата месторождения Наип
при различных температурах и давлениях [82]**

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,1	5,0	10	15	20	30	40
313	0,114	0,116	0,119	0,121	0,122	0,125	0,127
333	0,109	0,111	0,114	0,116	0,118	0,121	0,123
353	0,104	0,107	0,109	0,111	0,113	0,116	0,119
373	0,100	0,103	0,105	0,107	0,109	0,113	0,115
393	0,097	0,099	0,101	0,103	0,105	0,109	0,112
413	0,093	0,095	0,098	0,100	0,102	0,106	0,109
433	—	0,092	0,095	0,097	0,099	0,103	0,106
453	—	0,089	0,092	0,094	0,096	0,100	0,104
473	—	0,086	0,089	0,092	0,093	0,098	0,101
493	—	0,084	0,087	0,089	0,092	0,096	0,100
513	—	0,082	0,085	0,087	0,090	0,094	0,098
533	—	0,079	0,083	0,085	0,088	0,092	0,096

Таблица 4.114

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата месторождения Ачак
при различных температурах и давлениях [82]**

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,1	5,0	10	15	20	30	40
313	0,110	0,112	0,114	0,117	0,119	0,123	0,126
333	0,106	0,108	0,110	0,113	0,115	0,119	0,122
353	0,101	0,104	0,106	0,109	0,111	0,115	0,118
373	0,097	0,100	0,102	0,105	0,107	0,111	0,115
393	—	0,096	0,099	0,102	0,104	0,108	0,112
413	—	0,093	0,096	0,098	0,101	0,105	0,108
433	—	0,090	0,093	0,095	0,098	0,102	0,106
453	—	0,087	0,090	0,092	0,095	0,100	0,103
473	—	0,084	0,087	0,090	0,092	0,097	0,101
513	—	0,079	0,082	0,085	0,088	0,093	0,097
533	—	0,077	0,080	0,083	0,086	0,091	0,095

Таблица 4.115

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата месторождения Газли
при различных температурах и давлениях [82]**

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,1	5,0	10	15	20	30	40
313	0,114	0,115	0,117	0,119	0,121	0,125	0,128
333	0,109	0,111	0,113	0,115	0,117	0,120	0,124
353	0,105	0,107	0,109	0,111	0,113	0,116	0,120
373	0,100	0,102	0,105	0,107	0,109	0,113	0,116
393	0,097	0,099	0,101	0,104	0,106	0,110	0,113
413	0,093	0,095	0,098	0,101	0,103	0,107	0,110
433	—	0,092	0,095	0,097	0,100	0,104	0,107
453	—	0,089	0,092	0,095	0,097	0,102	0,105
473	—	0,087	0,090	0,092	0,095	0,099	0,103
493	—	0,084	0,087	0,090	0,092	0,097	0,100
513	—	0,082	0,085	0,088	0,090	0,095	0,098
533	—	0,079	0,082	0,086	0,088	0,092	0,096

Таблица 4.116

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата месторождения Учкыр
при различных температурах и давлениях [82]**

T, К	Коэффициент теплопроводности при P, МПа						
	0,1	5,0	10	15	20	30	40
313	0,110	0,113	0,115	0,117	0,120	0,125	0,126
333	0,106	0,108	0,111	0,113	0,115	0,119	0,122
353	0,102	0,105	0,107	0,109	0,111	0,115	0,118
373	0,098	0,101	0,103	0,105	0,108	0,111	0,114
393	0,095	0,097	0,100	0,102	0,104	0,108	0,112
413	—	0,094	0,097	0,099	0,101	0,105	0,109
433	—	0,091	0,094	0,096	0,098	0,102	0,106
453	—	0,088	0,091	0,093	0,095	0,099	0,103
473	—	0,085	0,088	0,090	0,092	0,097	0,101
493	—	0,082	0,085	0,088	0,090	0,095	0,099
513	—	0,080	0,083	0,085	0,088	0,093	0,097
533	—	0,077	0,080	0,083	0,086	0,091	0,095

Таблица 4.117

**Значения коэффициента теплопроводности $\lambda \cdot 10^4$, Вт/(м·К)
газового конденсата месторождения Харьковцы
при различных температурах и давлениях [82]**

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа							
	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10	15
270	1278	1281	1284	1286	1289	1292	1305	1318
280	1217	1220	1222	1225	1228	1230	1243	1256
290	1163	1167	1169	1172	1175	1178	1191	1203
300	—	—	1119	1122	1125	1127	1140	1153
310	—	—	—	1073	1075	1028	1091	1103
320	—	—	—	—	1030	1032	1046	1059
330	—	—	—	—	—	982	1003	1016
340	—	—	—	—	—	945	960	974
350	—	—	—	—	—	903	919	935
360	—	—	—	—	—	863	880	896
370	—	—	—	—	—	826	844	860
380	—	—	—	—	—	791	810	828
390	—	—	—	—	—	757	778	796
400	—	—	—	—	—	726	746	765
410	—	—	—	—	—	695	716	736
420	—	—	—	—	—	664	685	706
430	—	—	—	—	—	633	655	677
440	—	—	—	—	—	606	628	651
450	—	—	—	—	—	577	601	625
460	—	—	—	—	—	—	577	601
470	—	—	—	—	—	—	553	578

Продолжение таблицы 4.117

Т, К	Коэффициент теплопроводности при Р, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
270	1330	1341	1353	1363	1373	1383	1393	1403	1413
280	1268	1280	1291	1302	1312	1324	1333	1343	1352
290	1215	1226	1236	1246	1256	1266	1277	1287	1297
300	1164	1176	1186	1197	1207	1217	1227	1237	1246
310	1116	1124	1137	1148	1157	1169	1179	1189	1199
320	1071	1084	1094	1105	1115	1125	1135	1144	1154
330	1028	1040	1053	1064	1075	1085	1095	1105	1114
340	988	1001	1013	1024	1035	1045	1056	1065	1076
350	949	963	975	987	999	1009	1021	1031	1040
360	910	925	938	953	964	976	988	999	1009

T, K	Коэффициент теплопроводности при P, МПа								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
370	876	891	904	918	930	943	956	969	981
380	843	859	875	890	904	917	930	942	954
390	813	830	846	861	875	889	904	918	932
400	783	801	817	834	850	865	880	895	908
410	755	773	790	808	824	840	857	872	888
420	726	745	763	782	800	817	835	852	867
430	698	719	739	758	777	795	813	832	849
440	672	694	714	735	755	775	793	812	830
450	648	670	692	713	733	754	774	793	811
460	625	648	671	692	714	736	755	774	792
470	602	627	650	672	694	716	737	757	778

ЛИТЕРАТУРА

К предисловию

1. *Варгафтик Н. Б.* Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М.: Физматгиз, 1972. — 723 с.
2. *Цедерберг Н. В.* Теплопроводность газов и жидкостей. — М.: Изд-во МГУ, 1970. — 239 с.
3. *Варгафтик Н. Б., Тарзиманов А. А., Филиппов Л. П., Юрчак Р. П.* Теплопроводность газов и жидкостей. — М.: Изд-во стандартов, 1973. — 212 с.
4. *Варгафтик Н. Б., Тарзиманов А. А., Филиппов Л. П., Тоцкий Е. Е.* Теплопроводность газов и жидкостей. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 152 с.
5. *Мухамедзянов Г. Х., Усманов А. Г.* Теплопроводность органических жидкостей. — М.: Химия, 1971. — 97 с.
6. *Голубев И. Ф.* Вязкость газов и газовых смесей. — М.: Физматгиз, 1959. — 375 с.
7. *Голубев И. Ф., Агаев Н. А.* Вязкость предельных углеводородов. Баку: Азернешр, 1964. — 158 с.
8. *Голубев И. Ф., Гнездилов Н. Е.* Вязкость газовых смесей. — М.: Изд-во стандартов, 1971. — 327 с.
9. *Мустафаев Р. А.* Теплофизические свойства углеводородов при высоких параметрах состояния. — М.: Энергия, 1980. — 295 с.

К главе 1

1. *Гриценко А. И., Гриценко И. А., Юшкин В. В., Островская Т. Д.* Научные основы прогноза фазового поведения пластовых газоконденсатных систем. — М.: Недра, 1995. — 432 с.
2. *Варгафтик Н. Б.* Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М.: Физматгиз, 1963. — 708 с.
3. *Физико-химические свойства индивидуальных углеводородов.* Под редакцией Татевского В. М. — М.: Гостоптехиздат, 1960. — 412 с.
4. *Рудаков Г. Я.* Исследование теплофизических свойств газовых конденсатов Майкопского, Наипского, Ставропольского и Бухарского месторождений // Дис.... канд. техн. наук. — Краснодар: Краснодарский политехнический ин-т, 1972.
5. *Махмудов Г. Н.* Исследование теплопроводности и изоборной теплоемкости газовых конденсатов месторождений Средней Азии //

Дис. канд. техн. наук. — Ташкент: Ташкентский автомобильно-дорожный ин-т, 1979.

6. Магомадов А. С. Исследование вязкости газовых конденсатов и их фракций при различных температурах и давлениях. Дис. канд. техн. наук. — Краснодар: Краснодарский политехнический ин-т, 1978.

7. Рудаков Г. Я., Демичев А. И. Теплопроводность газовых конденсатов. Научно-технический обзор. — М.: ВНИИЭГазпром, 1974. — 70 с.

К главе 2

1. Гиришфельдер Д., Кертисс Ч., Берд Р. Молекулярная теория газов и жидкостей. — М., ИЛ, 1961. — 929 с.

2. Бретшнайдер С. Свойства газов и жидкостей. М. — Л.: Химия, 1966. — 534 с.

3. Миснар А. Теплопроводность твердых тел, жидкостей, газов и их композиции. — М.: Мир, 1968. — 464 с.

4. Рид Р., Праусниц Д., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. — Л.: Химия, 1982. — 702 с.

5. Кириллин В. А., Шейнцлин А. Е. Исследование термодинамических свойств веществ. — М.: Госэнергоиздат, 1963. — 560 с.

6. Ахундов Т. С. Исследование теплофизических свойств углеводородов ароматического ряда // Автореф. дис. доктора техн. наук. — Баку: АзНефтехим, 1974.

7. Мамедов А. М., Ахундов Т. С., Абдуллаев Ф. Г., Джабиев Ю. А. Исследование плотности бинарной смеси бензол-этилбензол // Теплофизические свойства газов. — М.: Наука, 1976. — С. 80–81.

8. Ахундов Т. С., Иманов Ш. Ф. Экспериментальное исследование о-и п-ксилолов вблизи критической области параметров состояния // Теплофизические свойства жидкостей. — М.: Наука, 1970. — С. 48–55.

9. Ахундов Т. С., Абдуллаев Ф. Г. Экспериментальное исследование удельных объемов толуола при высоких давлениях и температурах // Теплофизические свойства жидкостей. — М.: Наука, 1970. — С. 55–58.

10. Мамедов А. М., Ахундов Т. С., Иманов М. Ю. Таблицы термических свойств ортоксиллола // Теплофизические свойства веществ и материалов. — М.: Из-во Стандартов, 1972. Вып. 5. — С. 47–66.

11. Григорьев Б. А., Расторгуев Ю. Л., Мурдаев Р. М. Экспериментальное исследование P-V-T зависимости циклогексана // Теплофизические свойства жидкостей. — М.: Наука, 1976. — С. 8–13.

12. Головский Е. А., Елема В. А., Загорученко В. А., Цымарный В. А. Экспериментальное исследование P-V-T зависимости жидкого этилена // Теплофизические свойства жидкостей. — М.: Наука, 1970. — С. 15–18.

13. *Тривус Н. А.* Объемные и фазовые соотношения в газонефтяных системах для нефтей Апшеронского полуострова // Дис. доктора техн. наук. — М., 1959.

14. *Циклис Д. С.* Техника физико-химических исследований при высоких давлениях. — М.: Госхимиздат, 1958. — 301 с.

15. ГСССД 48–83. Этан жидкий и газообразный. Плотность, энтальпия, энтропия и изобарная теплоемкость при температурах 100–500 К и давлениях 0,1–70 МПа. Таблицы стандартных справочных данных/Госстандарт, ГСССД. — М.: Изд-во стандартов, 1983.

16. *Варгафтик Н. Б.* Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М.: Физматгиз, 1963. — 708 с.

17. ГСССД P127–85. Пропан, *n*-бутан и *n*-пентан как компоненты природного газа. Плотность, фактор сжимаемости, энтальпия, энтропия, изобарная теплоемкость, показатель адиабаты и изобарный коэффициент расширения при температурах 270–700 К и давлениях 0,1–30 МПа. Таблицы рекомендуемых справочных данных. Госстандарт; ГСССД. — М.: Изд-во стандартов, 1985.

18. Сжиженные углеводородные газы. Под редакцией Рябцева Н. И. — М.: Недра, 1967. — 184 с.

19. ГСССД P162–86. *n*-Гексан. Показатель преломления, удельная рефракция, плотность жидкости и пара на линии насыщения в интервале температур от 293,15 К до критической. Критическая температура. Плотность, показатель преломления и удельная рефракция вещества в критической точке. Таблицы рекомендуемых справочных данных. Госстандарт, ГСССД, — М.: Изд-во стандартов, 1986.

20. *Гусейнов С. О.* Результаты комплексного исследования теплофизических свойств технически важных органических соединений (нитрилы, олефины и толуидины) в жидком состоянии // Автореферат дис. доктора техн. наук. — М.: МЭИ, 1990.

21. *Ващенко Ю. Ф., Лабинов С. Д., Недужий И. А.* и др. Термодинамические и транспортные свойства этилена и пропилена. — М.: Изд-во стандартов, 1971. — 183 с.

22. *Апаев Т. А.* Экспериментальные исследования *P-V-T* зависимости некоторых олефинов и нафтенов в широком интервале изменения параметров состояния // Автореферат дис. канд. физико-математических наук. — Баку: Азербайджанский государственный университет, 1971.

23. *Керимов А. М., Апаев Т. А.* Экспериментальные значения плотности гексена-1, октена-1, циклогексена, циклогексана и метилциклогексана в зависимости от температуры и давления // Теплофизические свойства веществ и материалов. Вып. 5. — М.: Изд-во стандартов, 1972. — С. 26–46.

24. Абас-заде А. К., Керимов А. М., Агаев Н. А., Апаев Т. А. Экспериментальное определение плотности углеводородов // Теплофизические свойства жидкостей. — М.: Наука, 1970. — С. 34–38.

25. Абдурахманов А. А. Исследование вязкости и плотности газовых конденсатов месторождений Средней Азии // Автореферат дис. канд. техн. наук. — Ташкент: Ташкентский автомобильно-дорожный ин-т, 1975.

26. Рудаков Г. Я. Физико-технические и термодинамические свойства газовых конденсатов и их фракций. — М.: ВНИИЭгазпром. Научно-технический обзор, 1974. — 52 с.

27. Физико-химические свойства индивидуальных углеводородов. Под редакцией Татевского В. М. — М.: Гостоптехиздат, 1960. — 412 с.

28. Мамедов А. М. Уравнение состояния жидкого нормального гексана // Изв. вузов «Нефть и газ». — № 5. — 1961. — С. 103–109.

29. Казавчинский Я. З., Катхе О. И. Уравнение состояния и термодинамические свойства неопентана и изобутана // ЖФХ. — 1955. — 29. — № 12. — С. 2230–2235.

30. Загорученко В. А. Уравнение состояния и термодинамические свойства этилена // Изв. вузов «Нефть и газ». — 1959. — № 2. — С. 77–81.

31. Кусаков М. М. Методы определения физико-химических характеристик нефтепродуктов. — М.: ОНТИ, 1936. — 572 с.

32. Гусейнов С. О. Исследование вязкости олефиновых, нафтенowych и парафиновых углеводородов и бензина при различных температурах и давлениях. Автореферат дис. канд. техн. наук. — Баку, 1972.

33. Мамедов А. М. Определение калорических величин жидких нормальных алканов по данным P - V - T // Изв. выс. уч. зав. «Нефть и газ». — 1958. — № 7. — С. 77–82.

34. Вукалович М. П., Новиков И. И. Уравнения состояния реальных газов. — М.: Госэнергоиздат, 1948. — 340 с.

35. Бачинский А. И. Избранные труды. — М.: АН СССР, 1960. — 276 с.

36. Кричевский И. Р. Понятия и основы термодинамики. — М.: Госхимиздат, 1962. — 432 с.

37. Краткий справочник физико-химических величин. — М.—Л.: Химия, 1965. — 158 с.

38. Вукалович И. П., Новиков И. И. Техническая термодинамика. — М.: Энергия. 1968. — 495 с.

39. Кириллин В. А., Сычев В. В., Шейндлин А. Е. Техническая термодинамика. — М.: Энергия, 1968. — 471 с.

40. Рид Р., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. — Л.: Химия, 1971. — 701 с.

41. Шпильрайн Э. Э., Кессельман М. Н. Основы теории теплофизических свойств веществ. — М.: Энергия, 1972. — 248 с.

42. Мейсон Э., Смергенз Т. Вириальные уравнения состояния. — М.: Мир, 1972. — 280 с.
43. Румер Ю. В. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. — М.: Наука, 1972. — 400 с.
44. Гельфер Я. М. История и методология термодинамики и статистической физики. — М.: Высшая школа, 1973. — 279 с.
45. Френкель Я. И. Кинетическая теория жидкостей. — Л.: Наука, 1975. — 592 с.
46. Уравнения состояния газов и жидкостей. К столетию уравнения Ван-дер-Ваальса // Сб. статей. Отв. ред. чл.-корр. АН СССР И. И. Нонинов. — М.: Наука, 1975. — 262 с.
47. Теплотехнический справочник. — М.: Энергия, 1975. — 742 с.
48. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. — М.: Наука, 1976. — 583 с.
49. Гыске Д. Н. Исследование термических свойств и разработка обобщенных уравнений состояния жидких н. алканов. Дис. канд. техн. наук. — Баку: АзНефтехим, 1976. — 190 с.
50. Голик З. А., Адаменко И. И., Сысоев В. М. и др. Уравнения состояния жидких н-парафинов в интервале давлений до 2500 атм и температур 20–140°C // Теплофизические свойства жидкостей, 1976. — С. 5–8.
51. Рейф Ф. Статистическая физика. — М.: Наука, 1977. — 350 с.
52. Румер Ю. Б., Рывкин М. III. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. — М.: Наука, 1977. — 551 с.
53. Кростан К. Физика жидкого состояния. — М.: Мир, 1978. — 400 с.
54. Григорьев Б. А. Исследование теплофизических свойств нефтей, нефтепродуктов и углеводородов. Автореферат дис. доктора техн. наук. — Баку: АзНефтехим, 1979. — 38 с.
55. VIII Всесоюзная конференция по теплофизическим свойствам веществ. Тезисы основных докладов. — Ташкент: Фан, 1982. — 295 с.
56. Расторгуев Ю. Л. О температурных поправках плотности нефтепродуктов // Химия и технология топлив и масел. — 1971. — № 9. — С. 56–60.
57. Григорьев Б. А., Расторгуев Ю. Л., Ковальский Е. В., Шевченко Н. В. Плотность (удельный объем) жидких нефтей и нефтепродуктов. — Грозный: 1979. — 26 с.
58. Шеломенцев А. М. Расчет теплофизических свойств нефтепродуктов: Обзор. информ. — М.: Изд-во стандартов, 1985. — 76 с.
59. Абросимов В. Ф., Безуглый В. К., Болотин Н. К. и др. Методы расчета теплофизических свойств газов и жидкостей. — М.: Химия, 1974. — 248 с.
60. Магомадов А. С. Исследование вязкости газовых конденсатов и их фракций при различных температурах и давлениях. Дис. канд. техн. наук. — Краснодар: Краснодарский политех. ин-т, 1978.

61. Мамедов А. М., Ахундов Т. С., Абдуллаев Ф. Г. Термические свойства жидкого бензола // Теплофизические свойства веществ. — М.: Изд-во ГСССД, 1973. — Вып. 7. — С. 71–84.

62. Мамедов А. М., Ахундов Т. С. Об уравнении состояния К. А. Путилова // Теплофизические свойства веществ. — М.: Изд-во ГСССД, 1973. — Вып. 7. — С. 104–109.

63. Connolly I. F., Kandalic G. A. Saturation properties and liquid compressibilities for benzene and *n*-octane // I. Chem. And Eng. Data 7. — 1962. — 1. — P. 137–139.

64. Амирханов Х. И., Керимов А. М. Экспериментальное исследование теплоемкости воды и водяного пара при сверхкритических параметрах состояния // Теплоэнергетика. — № 9. — 1963. — С. 61–65.

65. Керимов А. М. Исследование изохорной теплоемкости воды и водяного пара в окрестности критической точки // Теплоэнергетика. — № 1. — 1968. — С. 60–65.

66. Мамедов А. М., Ахундов Т. С., Иманов Ш. Ю., Абдуллаев Ф. Г., Асадуллаева Н. Н. Термические свойства толуола. // Теплофизические свойства веществ. — М.: Изд-во ГСССД, 1973. — Вып. 6. — С. 110–118.

К главе 3

1. Голубев И. Ф. Вязкость газов и газовых смесей. — М.: Физматгиз, 1959. — 375 с.

2. Голубев И. Ф., Агаев Н. А. Вязкость предельных углеводородов. — Баку: Азернешр, 1964. — 158 с.

3. Голубев И. Ф., Гнездилов Н. Е. Вязкость газовых смесей. — М.: Изд-во стандартов, 1971. — 327 с.

4. Гатчек Э. Вязкость жидкостей. — М.: ОНТИ, 1935. — 312 с.

5. Барр Г. Вискозиметрия. — М. -Л.: Главредхимдлит, 1938. — 274 с.

6. Соловьев А. Н., Каплун А. Б. Вибрационный метод измерения вязкости жидкостей. — Новосибирск: Наука, 1970. — 140 с.

7. Кусаков М. М. Методы определения физико-химических характеристик нефтяных продуктов. — М.: ОНТИ, 1936. — 743 с.

8. Белкин И. М., Виноградов Г. В., Леонов А. И. и др. Ротоционные приборы. Измерение вязкости и физико-механические характеристики материалов. — М.: Машиностроение, 1968. — 272 с.

9. Фукс Г. И. Вязкость и пластичность нефтепродуктов. — М.: Гостоптехиздат, 1951. — 271 с.

10. Гусейнов С. О. Исследование вязкости олефиновых, нафтеновых и парафиновых углеводородов и бензина при различных температурах и давлениях. Дис. канд. техн. наук. — Баку, 1972.

11. *Абдурахманов А. А.* Исследование вязкости и плотности газовых конденсатов месторождений Средней Азии. Дис. канд. техн. наук. — Ташкент: Ташкентский автомобильно-дорожный институт, 1975.
12. *Магомадов А. С.* Исследование вязкости газовых конденсатов и их фракций при различных температурах и давлениях. Дис. канд. техн. наук. Краснодар: Краснодарский политех. ин-т, 1978.
13. *Гусейнов С. О.* Результаты комплексного исследования теплофизических свойств технически важных органических соединений (нитрины, олефины и толуидины) в жидком состоянии. Дис. доктора техн. наук. — М.: МЭИ, 1990.
14. *Ахундов Т. С.* Исследование теплофизических свойств углеводородов ароматического ряда. Дис. доктора техн. наук. — Баку: Азербайджанский институт нефти и химии, 1974.
15. *Рудаков Г. Я.* Исследование теплофизических свойств газовых конденсатов Майкопского, Наипского, Ставропольского и бухарского месторождений. Дис. канд. техн. наук. — Краснодар: Краснодарский политех. ин-т, 1972.
16. *Керамиди А. С., Расторгуев Ю. Л., Григорьев Б. А.* Экспериментальное исследование коэффициента динамической вязкости высших нормальных парафиновых углеводородов // Теплофизические свойства жидкостей. — М.: Наука, 1976. — С. 90–96.
17. Физико-химические свойства индивидуальных углеводородов. Под редакцией Татевского В. М. — М.: Гостоптехиздат, 1960. — 412 с.
18. *Варгафтик И. Б.* Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М.: Изд-во физматлитературы, 1963. — 708 с.
19. *Казарян В. А.* Вязкость газовых конденсатов и их фракций Оренбургского и Вуктыльского месторождений. — М.: ИРЦ «Газпром», 1994. — 63 с.
20. *Рудаков Г. Я., Магомадов А. С.* Вязкость газовых конденсатов и их фракций. — М.: ВНИИЭгазпром, 1975. — 64 с.
21. *Гирифельдер Д., Кертис Г., Берд Р.* Молекулярная теория газов и жидкостей. — М.: ИЛ, 1961. — 929 с.
22. *Рид Р., Праусниц Д., Шервуд Т.* Свойства газов и жидкостей. — Л.: Химия, 1982. — 702 с.
23. *Панченков Г. М.* Теория вязкости жидкостей. — М.: Гостоптехиздат, 1947. — 156 с.
24. *Бретинайдер С.* Свойства газов и жидкостей. — М.-Л.: Химия, 1966. — 534 с.
25. *Бачинский А. И.* Избранные труды. — М.: Издательство АН СССР, 1960. — 276 с.
26. *Рыбак Б. М.* Анализ нефти и нефтепродуктов. — М.: Гостоптехиздат, 1962. — 888 с.
27. *Геллер З. И.* Мазут как топливо. — М.: Недра, 1965. — 495 с.

28. *Варгафтик Н. Б.* Зависимость вязкости водяного пара от давления // Изв. ВТИ. — 1952. — № 1 — С. 13–17.
29. *Smith A. S., Brown G. G.* Correlating fluid viscosity // Ind. Eng. Chem. Ind. Ed. — 1943. — Vol. 35. — № 6. — 705.
30. *Bicher L. B., Katz D. L.* Viscosities of the methane-propane system // Ind. Eng. Chem. Ind. Ed. — 1943. — Vol. 35. — № 7. — 754.
31. *Uychara O. A. Watson K. M.* Universal viscosity correlation // Nat. Petroleum News. — 1944. — 36. — № 40. — P. 714–722.
32. *Усманов А. Г.* Об одном дополнительном условии подобия молекулярных процессов // Теплопередача и тепловое моделирование. Сб. статей. — М.: Изд-во АН СССР, 1959. — С. 298–312.

К главе 4

1. *Казарян В. А.* Исследование теплопроводности легких углеводородов и конденсата некоторых газовых месторождений. Дис. канд. техн. наук. — М.: МИНХиГП, 1970.
2. *Расторгуев Ю. Л.* Исследование теплопроводности воды, индивидуальных углеводородов, нетей, нефтепродуктов, кремнийорганических соединений и жидких растворов в широкой области параметров состояния, Автореферат дис.... доктора техн. наук. — Баку: АзНефтехим, 1972.
3. *Гасанова Н. Э.* Экспериментальное исследование теплопроводности ароматических углеводородов при различных температурах и давлениях. Дис. канд. техн. наук. — Баку: АзНефтехим, 1970.
4. *Назиев Я. М.* Исследование теплопроводности углеводородов при высоких давлениях и некоторые особенности методов ее измерения. Автореферат дис.... доктора техн. наук. — М.: ЭНИН, 1970.
5. *Филиппов Л. П.* Исследование теплопроводности жидкостей. — М.: Изд-во МГУ, 1970. — 239 с.
6. *Аббас-заде А. К.* Исследование теплопроводности жидкостей и их паров в зависимости от температуры и давления, включая критическую область. Автореферат дис. доктора физ-мат. наук. — М.: МГУ, 1951.
7. *Ахундов Т. С.* Исследование теплофизических свойств углеводородов ароматического ряда. Дис. доктора техн. наук. — Баку: АзНефтехим, 1974.
8. *Мустафаев Р. А.* Теплофизические свойства углеводородов при высоких параметрах состояния. — М.: Энергия, 1980. — 295 с.
9. *Требин Ф. А., Рябцев Н. И., Казарян В. А., Задора Г. И.* Теплопроводность газа и конденсата Ленинградского и Староминского месторождений // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. — 1970. — № 4. — С. 5–7.

10. Лыков А. В. Теория теплопроводности. — М.: Высшая школа, 1967. — 599 с.
11. Кондратьев Г. М. Регулярный тепловой режим. — М.: ГИТТЛ, 1954. — 408 с.
12. Кондратьев Г. М. Тепловые измерения. — М.: Машгиз, 1957. — 244 с.
13. Цедерберг Н. В. Теплопроводность газов и жидкостей. — М.: Госэнергоиздат, 1963. — 408 с.
14. Чудновский А. Ф. Теплообмен в дисперсных средах. — М.: Гостехиздат, 1954. — 444 с.
15. Чудновский А. Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. — М.: Физматгиз, 1962. — 456 с.
16. Осипова В. А. Экспериментальные исследования процессов теплообмена. — М.: Энергия, 1979. — 319 с.
17. Филиппов П. И., Тимофеев А. М. Методы определения теплофизических свойств твердых тел. — Новосибирск: Наука, 1976. — 103 с.
18. Голубев И. Ф. Бикалориметр для определения теплопроводности газов и жидкостей при высоких давлениях и различных температурах // Теплоэнергетика. — 1963. — № 12. — С. 78–82.
19. Riedel I, Forschung, Messung der Wärmeleitfähigkeit von organischen Flüssigkeiten-Geb // Ingenieurwesens. — 1940. — Bd. 11. — № 6. — S. 340–347.
20. Боровик Е. Формула для теплопроводности жидкостей // ЖЭТФ. — 1948. — Т. 18. — С. 48.
21. Michels A., Botzen A. A method for the determination of thermal conductivity of gases at high pressures // Physics. — 1952. — Vol. 18. — P. 605–612.
22. Амирханов Х. Н., Адамов А. П. Теплопроводность водяного пара в околокритическом и сверхкритическом состояниях // Теплоэнергетика. — 1963. — № 10. — С. 69–72.
23. Амирханов Х. Н., Адамов А. П., Магомедов У. Б. Экспериментальные исследования теплопроводности воды при температурах 25–350°C и давлениях 0,1–245,3 мн/м² // ТВТ. — 1975. — Т. 13. — № 1. — С. 89–94.
24. Филиппов Л. П. К вопросу об измерении теплопроводности жидкостей и газов // Вестник МГУ. Физика. — 1953. — № 9. — С. 48–53.
25. Капустинский А. Ф., Рузавин И. И. Теплопроводность водных растворов электролитов // ЖФХ. — 1955. — Т. 29. — № 12. — С. 48–53.
26. Winkelmann A. Über den absoluten Werth der Wärmeleitung des luftes // Ann. Phys. Chem. — 1893. — Bd. 48. — S. 187.
27. Бриджмен П. В. Физика высоких давлений. — М.-Л.: ОНТИ, 1935. — 402 с.
28. Варлафтик Н. Б., Смирнова Е. В. О зависимости теплопроводности водяного пара от температуры // ЖТФ. — 1956. — Т. 26. — № 6. — С. 148–152.

29. *Ziebland H.* Thermal conductivity of kerosene between 15 and 325 at pressures up to 400 atm // *J. Chem. Engng.* — 1961. — Vol. 31. — P. 845–848.

30. *Филиппов Л. П.* К вопросу об измерении теплопроводности жидкостей. Измерение теплопроводности электролитов относительным методом цилиндрического слоя // *Вестник МГУ. Физика.* — 1954. — № 6. — С. 65–71.

31. *Schleirmacher A.* Über die Wärmeleitung der Gase // *Annalen der Physik Chemie.* — 1888. — Bd. 34. — S. 623–646.

32. *Eucken A.* Über das Wärmeleitvermögen, die spezifische Wärme und die Innere Reibung der Gase // *Phys. Z. tschrift.* — 1913. — Bd. 5. — № 14. — S. 324–332.

33. *Kaidos A.* Theorie der Wärmeleitung von Flüssigkeiten // *Geb. Ingenieurwesens.* — 1934. — Bd. 5. — № 1. — S. 14.

34. *Тимрот Д. Л., Варгафтик Н. Б.* Определение зависимости теплопроводности водяного пара от температуры // *Изв. ВТИ.* — 1935. — № 9. — С. 2–12.

35. *Варгафтик Н. Б., Тимрот Д. Л.* Теплопроводность водяного пара при высоких давлениях и температурах // *ЖТФ.* — 1939. — Т. 9. — Вып. 1. — С. 63–70.

36. *Варгафтик Н. Б., Филиппов Л. П., Тарзиманов А. А., Тоцкий Е. Е.* Теплопроводность жидкостей и газов. — М.: Изд-во стандартов, 1978. — 471 с.

37. *Цедерберг Н. Б.* Теплопроводность масел // *Теплоэнергетика.* — 1957. — № 2. — С. 52–53.

38. *Мухамедзянов И. Х., Тарзиманов А. А., Усманов А. Г.* Экспериментальное исследование теплопроводности нормальных спиртов // *Изв. вузов. Нефть и газ.* — 1964. — № 1. — С. 73–76.

39. *Беркенгейм А. А.* Исследование естественной конвекции в цилиндрических слоях жидкости // *ИФЖ.* — 1966. — 10. — № 4. — С. 459–464.

40. *Данилова Г. Н.* Теплопроводность жидких фреонов // *Холодильная техника.* — 1951. — № 2. — С. 22–27.

41. *Геллер З. И., Расторгуев Ю. Л.* Применение регулярного режима для исследования теплопроводности нефтепродуктов // *Химия и технология топлив и масел.* — 1958. — № 10. — С. 40–43.

42. *Аббас-заде А. К., Мустафаев Р. А.* Исследование теплопроводности нефтяных масел методом регулярного режима // *ДАН АзССР.* — 1960. — Т. 16. — № 3. — С. 227–233.

43. *Левин Г. М.* Определение теплопроводности газов универсальным плоским бикалориметром // *Приборы и техника эксперимента.* 1958, № 1. — С. 102–105.

44. *Бегункова А. Ф.* Плоский бикалориметр для определения коэффициента теплопроводности изоляционных материалов // *Труды ЛИТМО.* — 1954. — № 12. — С. 13–21.

45. Голубев И. Ф., Назиев Я. М. Теплопроводность газообразных предельных углеводородов при атмосферном давлении и различных температурах // Изв. АН АзССР, Сер. физ.-мат. и техн. наук. — 1961. — № 5. — С. 97–103.

46. Шингарев Р. В. Экспериментальное исследование теплопроводности сжатых природных газов и углекислоты. Автореферат дис. канд. техн. наук. — М.: ВТИ, 1952.

47. Варгафтик Н. Б. Экспериментальное исследование теплопроводности тяжелой воды // Атомная энергетика. — 1959. — Т. 6. — № 5. — 465 с.

48. Варгафтик Н. Б., Олещук О. Н. Зависимость теплопроводности газов от температуры // Известия ВТИ. — 1946. — № 6. — С. 96–99.

49. Варгафтик Н. Б., Зими́на Н. Х. Теплопроводность водяного пара при высоких температурах // Теплоэнергетика. — 1964. — № 12. — С. 84–86.

50. Тарзиманов А. А., Маширов В. Е. Экспериментальное исследование теплопроводности паров нормальных предельных углеводородов при температурах до 450°C // Теплоэнергетика. — 1967. — № 12. — С. 67–69.

51. Мухамедзянов Г. Х., Усманов А. Г. Теплопроводность органических жидкостей. — М.: Химия, 1971. — 97 с.

52. Абасов А. А. Теплопроводность олефиновых углеводородов при различных температурах и давлениях. Дис. канд. техн. наук. — Баку: АзНефтехим, 1970.

53. Богатов Г. Ф. Теплопроводность жидких парафиновых углеводородов. Автореферат дис. канд. техн. наук. — Казань: КХТИ, 1969.

54. Мухамедзянов Г. Х. Экспериментальные исследования теплопроводности органических соединений при давлении до 2500 бар. Автореферат дис. канд. техн. наук. — Казань: КХТИ, 1972.

55. Рудаков Г. Я., Демичев А. И. Теплопроводность газовых конденсатов. Научно-технический обзор. — М.: ВНИИЭГазпром, 1974. — 70 с.

56. Шушпанов П. И. Теплопроводность газов при высоких температурах // ЖТЭФ. — 1935. — Т. 5. — Вып. 9. — С. 870–889.

57. Миснар А. Теплопроводность твердых тел, жидкостей, газов и их композиций. — М.: Мир, 1968. — 464 с.

58. Гиршфельдер Д., Картисс Ч., Берд Р. Молекулярная теория газов и жидкостей. — М.: ИЛ, 1961. — 929 с.

59. Карслоу Г. С., Егер Д. К. Теплопроводность твердых тел. — М.: Наука, 1964. — 467.

60. Чепмен С., Каулинг Т. Математическая теория неоднородных газов. — М.: ИЛ, 1960. — 510 с.

61. Ноздрев В. Д. Применение ультразвуки в молекулярной физике. — М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1958. — 456 с.

62. Вукалович М. П., Литунин В. В. Теплофизические свойства двуокиси углерода. — М.: Атомиздат, 1965. — 455 с.
63. Жданов А. Г., Люстерник В. Е. Вязкость газообразных алкенов // ИФЖ. — 1972. — Т. 23. — № 5. — С. 923–924.
64. Люстерник В. Е., Жданов А. Г. Вязкость и эффективные газокинетические диаметры молекул углеводородов // ТВТ. — 1972. — Т. 10. — С. 273–278.
65. Люстерник В. Е., Мустафаев Р. А. Фактор Эйкена и роль внутренних степеней свободы в явлениях переноса многоатомных молекул углеводородов // ИФЖ. — 1976. — Т. 31. — № 4. — С. 704–710.
66. Маслов П. Г. Общая формула зависимости теплоемкости нормальных алканов и алкенов от температуры // ЖФХ. — 1953. — Т. 27. — Вып. 1. — С. 69–75.
67. Назиев Я. М. Теплопроводность предельных углеводородов при различных температурах и высоких давлениях. Автореферат дис. канд. техн. наук. — М.: ГИАП, 1962.
68. Рябцев Н. И., Казарян В. А. Исследование теплопроводности углеводородных газов. — М.: ВНИИЭГазпром, 1972. — 63 с.
69. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплопроводности жидкостей и газов. — М.: Энергоиздат, 1990. — 349 с.
70. Геллер З. И., Расторгуев Ю. Л. О расчетном уравнении для теплопроводных тяжелых нефтепродуктов // Теплоэнергетика. — 1962. — № 2. — С. 93–95.
71. Varshni J. P., Srivastava E. L. Van der Waals and ionization potential on inert gases // J. Chem. Phys. — 1953. — Vol. 21. — P. 1119.
72. Mita S. A. An additive function of critical constraints // J. Chem. Phys. — 1954. — Vol. 21. — P. 2234.
73. Бретинайдер С. Свойства газов и жидкостей. — М.: Химия, 1966. — 534 с.
74. Рид Р., Праусниц Д., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. — Л.: Химия, 1982. — 702 с.
75. Comings E. W., Natham M. E. Thermal conductivity of gases at high pressures // Ind. and Engng Chem. — 1947. — Vol. 39. — № 8. — P. 964–970.
76. Leng D. E., Comings E. W. Thermal conductivity of propane // Ind. and Engng Chem. — 1957. — Vol. 49. — № 12. — P. 2042–2045.
77. Lenoir J. M., Comings E. W. Thermal conductivity of gases measurement at high pressure // Chem. Engng Progr. — 1951. — Vol. 47. — № 5. — P. 223–231.
78. Lenoir J. M., Junk W. A., Comings E. W. Measurement and correlation of thermal conductivity of gases at high pressure // Chem. Engng Progr. — 1953. — Vol. 49. — № 10. — P. 539–542.
79. Franck E. U. Temperature dependence of the thermal conductivity of gases // Chem. Eng. Techn. — 1953. — Vol. 25. — P. 238.

80. *Варгафтик Н. Б.* Теплопроводность сжатых газов и водяного пара при высоких давлениях // Изв. ВТИ. — 1951. — № 7. — С. 13–19.

81. *Гусейнов С. О.* Результаты комплексного исследования теплофизических свойств технически важных органических соединений (нитрилы, олефины и толуидины) в жидком состоянии. Автореферат дис. доктора техн. наук. — М.: МЭИ, 1990.

82. *Махмудов Г.-Н.* Исследование теплопроводности и изобарной теплоемкости газовых конденсатов месторождений Средней Азии. Дис. канд. техн. наук. — Грозный: ГНИ, 1979.

83. *Рудаков Г. Я.* Исследование теплофизических свойств газовых конденсатов Майкопского, Наипского, Ставропольского и Бухарского месторождений. Дис. канд. техн. наук. — Краснодар: Краснодарский политехн. ин-т, 1972.

84. *Григорьев Б. А.* Исследование теплофизических свойств нефтей, нефтепродуктов и углеводородов. Автореферат дис. доктора техн. наук. — Баку: АзНефтехим, 1979.

85. *Назиев Я. М.* Теплопроводность предельных углеводородов при различных температурах и высоких давлениях. Автореферат дис. канд. техн. наук. — Баку, 1962.

86. *Тиракьян А. С.* Исследование теплопроводности легких углеводородов и их смесей. Автореферат дис. канд. техн. наук. — М.: ГИАП, 1973.

87. *Недужий И. А., Коломиец А. Я.* Теплопроводность этилена и пропилена // Термодинамические и транспортные свойства этилена и пропилена. — М.: Изд. стандартов, 1971. — С. 104.

88. *Гусейнов С. О.* Исследование вязкости олефиновых, нафтановых и парафиновых углеводородов и бензина при различных температурах и давлениях. Автореферат дис. канд. техн. наук. — Баку, 1972.

89. *Smith I. E.* Thermal conductivity of liquids // Ind. Engng Chem. — 1930. — Vol. 22. — № 11. — P. 242.

90. *Smith I. E.* Dimensional analysis applied to the thermal conductivity of liquid's // Trans. Am. Soc. Mech. Eng. — 1936. — Vol. 58. — № 11. — P. 2613.

91. *Предводителев А. С.* О некоторых инвариантных количествах в теории теплопроводности // ЖФХ. — 1948. — Т. XXII. — Вып. 3. — С. 339–348.

92. *Рудаков Г. Я.* Обобщение экспериментальных данных по теплопроводности фракций газовых конденсатов Майкопского месторождения // Переработка газа и газового конденсата. — М.: ВНИИЭгазпром, 1973. — № 4. — С. 14–20.

93. *Варгафтик Н. Б., Тарзиманов А. А., Филиппов Л. П., Юрчак Р. П.* Теплопроводность газов и жидкостей. — М.: Изд-во стандартов, 1973. — 212 с.

94. *Варгафтик Н. Б., Филиппов Л. П., Тарзиманов А. А., Тоцкий Е. Е.* Теплопроводность жидкостей и газов. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 352 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Индивидуальные углеводороды

Бензол

— молекулярная масса	13
— температура кипения	13
— температура критическая	13
— температура кристаллизации	13
— критическая плотность	13
— критическое давление	13
— показатель преломления	13
— давление насыщенного пара	17
— плотность	98
— плотность на линии насыщения	99
— вязкость	206
— вязкость жидкости на линии насыщения	206
— теплопроводность	362
— теплопроводность жидкости	363
— теплопроводность газа	364
— теплопроводность на линии насыщения	364

n-Бутан

— молекулярная масса	12
— температура кипения	12
— температура критическая	12
— температура кристаллизации	12
— критическая плотность	12
— критическое давление	12
— давление насыщенного пара	15
— плотность	66
— плотность на линии насыщения	67
— вязкость	186
— вязкость на линии насыщения	187
— теплопроводность	323
— теплопроводность на линии насыщения	323

Бутен-1

— молекулярная масса	13
— температура кипения	13
— температура критическая	13

— температура кристаллизации	13
— критическая плотность	13
— критическое давление	13
— давление насыщенного пара	15
— плотность жидкости	92
— вязкость газа	201
— вязкость жидкости	202
— теплопроводность	349

n-Гексадекан

— молекулярная масса	12
— температура кипения	12
— температура критическая	12
— температура кристаллизации	12
— критическая плотность	12
— критическое давление	12
— показатель преломления	12
— давление насыщенного пара	26
— плотность жидкости	81
— вязкость жидкости	198
— теплопроводность	337

Гексадецен-1

— молекулярная масса	13
— температура кипения	13
— температура кристаллизации	13
— показатель преломления	13
— давление насыщенного пара	26
— теплопроводность	361

n-Гексан

— молекулярная масса	12
— температура кипения	12
— температура критическая	12
— температура кристаллизации	12
— критическая плотность	12
— критическое давление	12
— показатель преломления	12
— давление насыщенного пара	17
— плотность	73
— плотность насыщенного пара	74
— плотность на линии насыщения	74
— вязкость	190
— вязкость на линии насыщения	191
— теплопроводность	327

Гексен-1

— молекулярная масса	13
— температура кипения	13
— температура кристаллизации	13
— показатель преломления	13
— давление насыщенного пара	17
— плотность	92, 94
— вязкость	203
— теплопроводность	350

н-Гептэкозан

— молекулярная масса	13
— температура кипения	13
— температура критическая	13
— температура кристаллизации	13
— критическое давление	13
— показатель преломления	13
— давление насыщенного пара	27
— плотность жидкости	83
— вязкость	200
— теплопроводность	341

н-Гепталекан

— молекулярная масса	12
— температура кипения	12
— температура критическая	12
— температура кристаллизации	12
— критическая плотность	12
— критическое давление	12
— показатель преломления	12
— давление насыщенного пара	26
— плотность	82
— вязкость	199
— теплопроводность	338

н-Гептан

— молекулярная масса	12
— температура кипения	12
— температура критическая	12
— температура кристаллизации	12
— критическая плотность	12
— критическое давление	12
— показатель преломления	12
— давление насыщенного пара	18
— плотность	75
— плотность на линии насыщения	76
— вязкость	192
— вязкость на линии насыщения	193

— теплопроводность	327

Гептен-1

— молекулярная масса	13
— температура кипения	13
— температура кристаллизации	13
— показатель преломления	13
— давление насыщенных паров	18
— плотность	94
— вязкость	204
— теплопроводность жидкости	351
— теплопроводность пара	351
— теплопроводность	351

н-Декан

— молекулярная масса	12
— температура кипения	12
— температура критическая	12
— температура кристаллизации	12
— критическая плотность	12
— критическое давление	12
— показатель преломления	12
— давление насыщенного пара	23
— плотность жидкости	78
— вязкость жидкости	196
— теплопроводность	331
— теплопроводность жидкости на линии насыщения	331

Децен-1

— молекулярная масса	13
— температура кипения	13
— температура кристаллизации	13
— показатель преломления	13
— давление насыщенного пара	23
— плотность	97
— вязкость	205
— теплопроводность	354

1-,2-Диметилциклогексан, транс

— молекулярная масса	14
— температура кипения	14
— температура кристаллизации	14
— показатель преломления	14
— теплопроводность	377

1-,3-Диметилциклогексан, цис

— молекулярная масса	14
— температура кипения	14

– температура кристаллизации	14
– показатель преломления	14
– теплопроводность	377

1-,4-Диметилциклогексан, транс

– молекулярная масса	14
– температура кипения	14
– температура кристаллизации	14
– показатель преломления	14
– теплопроводность	377

1-,1-Диметилциклопентан

– молекулярная масса	13
– температура кипения	13
– температура кристаллизации	13
– показатель преломления	13
– плотность	110

1-,2-Диметилциклопентан цис

– молекулярная масса	13
– температура кипения	13
– температура кристаллизации	13
– показатель преломления	13
– плотность	110

1-,2-Диметилциклопентан, транс

– молекулярная масса	14
– температура кипения	14
– температура кристаллизации	14
– показатель преломления	14
– плотность	110

1-,3-Диметилциклопентан, цис

– молекулярная масса	14
– температура кипения	14
– температура кристаллизации	14
– показатель преломления	14
– плотность	110

1-,3-Диметилциклопентан, транс

– молекулярная масса	14
– температура кипения	14
– температура кристаллизации	14
– показатель преломления	14
– плотность	110

н-Додекан

– молекулярная масса	12
– температура кипения	12
– температура критическая	12

– температура кристаллизации	12
– критическая плотность	12
– критическое давление	12
– показатель преломления	12
– давление насыщенного пара	24
– плотность жидкости	80
– вязкость жидкости	197
– теплопроводность	332

Додецен-1

– молекулярная масса	13
– температура кипения	13
– температура кристаллизации	13
– показатель преломления	13
– давление насыщенного пара	24
– теплопроводность	357

н-Докозан

– молекулярная масса	12
– температура кипения	12
– температура критическая	12
– температура кристаллизации	12
– критическое давление	12
– показатель преломления	12
– давление насыщенного пара	27
– плотность жидкости	83
– вязкость	200
– теплопроводность	341

Изобутан

– молекулярная масса	12
– температура кипения	12
– температура критическая	12
– температура кристаллизации	12
– критическая плотность	12
– критическое давление	12
– давление насыщенного пара	15
– плотность	67
– плотность на линии насыщения	69
– вязкость	187
– теплопроводность	324
– теплопроводность на линии насыщения	325

Изобутилен

– молекулярная масса	13
– температура кипения	13
– температура критическая	13
– температура кристаллизации	13

– критическая плотность	13
– критическое давление	13
– давление насыщенного пара	16
– плотность жидкости	92
– теплопроводность	347
– теплопроводность на линии насыщения	349

Изооктан

– молекулярная масса	12
– температура кипения	12
– температура критическая	12
– температура кристаллизации	12
– критическая плотность	12
– критическое давление	12
– показатель преломления	12
– давление насыщенного пара	20
– плотность жидкости	77
– теплопроводность	328
– теплопроводность на линии насыщения	329

Изопентан

– молекулярная масса	12
– температура кипения	12
– температура критическая	12
– температура кристаллизации	12
– критическая плотность	12
– критическое давление	12
– показатель преломления	12
– давление насыщенного пара	16
– плотность жидкости	72
– плотность на линии насыщения	72
– плотность насыщенного пара	73

Ксилол, мета

– молекулярная масса	13
– температура кипения	13
– температура критическая	13
– температура кристаллизации	13
– критическая плотность	13
– критическое давление	13
– показатель преломления	13
– давление насыщенного пара	21
– плотность	104
– вязкость	208
– теплопроводность	368
– теплопроводность жидкости	369

– теплопроводность на линии насыщения	370

Ксилол, орто

– молекулярная масса	13
– температура кипения	13
– температура критическая	13
– температура кристаллизации	13
– критическая плотность	13
– критическое давление	13
– показатель преломления	13
– давление насыщенного пара	20
– плотность	102
– вязкость	208
– теплопроводность	367
– теплопроводность жидкости	367
– теплопроводность на линии насыщения	368

Ксилол, пара

– молекулярная масса	13
– температура кипения	13
– температура критическая	13
– температура кристаллизации	13
– критическая плотность	13
– критическое давление	13
– показатель преломления	13
– давление насыщенного пара	21
– плотность	106
– вязкость	209
– теплопроводность	370
– теплопроводность жидкости	371
– теплопроводность на линии насыщения	372

Кумол

– молекулярная масса	13
– температура кипения	13
– температура критическая	13
– температура кристаллизации	13
– критическая плотность	13
– критическое давление	13
– показатель преломления	13
– плотность жидкости	110
– теплопроводность	374

Метилциклогексан

– молекулярная масса	13
– температура кипения	13

— температура кристаллизации	13
— показатель преломления	13
— давление насыщенного пара	18
— плотность	112
— плотность на линии насыщения	113
— вязкость жидкости	211
— теплопроводность	376

Метилциклопентан

— молекулярная масса	13
— температура кипения	13
— температура критическая	13
— температура кристаллизации	13
— критическая плотность	13
— критическое давление	13
— показатель преломления	13
— давление насыщенного пара	18
— плотность	110
— вязкость	210

n-Нонадекан

— молекулярная масса	12
— температура кипения	12
— температура критическая	12
— температура кристаллизации	12
— критическая плотность	12
— критическое давление	12
— показатель преломления	12
— давление насыщенного пара	26
— плотность	82
— вязкость	199
— теплопроводность	340

n-Нонан

— молекулярная масса	12
— температура кипения	12
— температура критическая	12
— температура кристаллизации	12
— критическая плотность	12
— критическое давление	12
— показатель преломления	12
— давление насыщенного пара	22
— плотность жидкости	78
— вязкость	196
— теплопроводность	329
— теплопроводность жидкости на линии насыщения	330

Нонен-1

— молекулярная масса	13
— температура кипения	13
— температура кристаллизации	13
— показатель преломления	13
— давление насыщенного пара	22
— плотность	96
— вязкость	205
— теплопроводность	353

n-Октадекан

— молекулярная масса	12
— температура кипения	12
— температура критическая	12
— температура кристаллизации	12
— критическая плотность	12
— критическое давление	12
— показатель преломления	12
— давление насыщенного пара	26
— плотность	82
— вязкость	199
— теплопроводность	339

n-Октан

— молекулярная масса	12
— температура кипения	12
— температура критическая	12
— температура кристаллизации	12
— критическая плотность	12
— критическое давление	12
— показатель преломления	12
— давление насыщенного пара	20
— плотность	76
— плотность на линии насыщения	77
— вязкость	194
— вязкость на линии насыщения	195
— теплопроводность	328

Октен-1

— молекулярная масса	13
— температура кипения	13
— температура кристаллизации	13
— показатель преломления	13
— давление насыщенного пара	20
— плотность	95
— вязкость	204
— теплопроводность	353
— теплопроводность жидкости	352

— теплопроводность пара 352

n-Пентадекан

— молекулярная масса 12
— температура кипения 12
— температура критическая 12
— температура кристаллизации 12
— критическая плотность 12
— критическое давление 12
— показатель преломления 12
— давление насыщенного пара 25
— плотность жидкости 81
— вязкость жидкости 198
— теплопроводность 335

Пентадецен-1

— молекулярная масса 13
— температура кипения 13
— температура кристаллизации 13
— показатель преломления 13
— давление насыщенного пара 25
— теплопроводность 360

n-Пентан

— молекулярная масса 12
— температура кипения 12
— температура критическая 12
— температура кристаллизации 12
— критическая плотность 12
— критическое давление 12
— показатель преломления 12
— давление насыщенного пара 16
— плотность 70
— плотность на линии насыщения 71
— плотность насыщенного пара 71
— вязкость 188
— вязкость на линии насыщения 189
— теплопроводность 326

Пентен-1

— молекулярная масса 13
— температура кипения 13
— температура критическая 13
— температура кристаллизации 13
— критическое давление 13
— показатель преломления 13
— давление насыщенного пара 16
— плотность жидкости 92
— вязкость газа 202

— вязкость жидкости 203
— теплопроводность 349

n-Пентакозан

— молекулярная масса 12
— температура кипения 12
— температура кристаллизации 12
— давление насыщенного пара 27
— плотность 84

Пропан

— молекулярная масса 12
— температура кипения 12
— температура критическая 12
— температура кристаллизации 12
— критическая плотность 12
— критическое давление 12
— давление насыщенного пара 14
— плотность 65
— плотность на линии насыщения 65
— вязкость 184
— вязкость на линии насыщения 185
— теплопроводность 321
— теплопроводность на линии насыщения 322

Пропилен

— молекулярная масса 13
— температура кипения 13
— температура критическая 13
— температура кристаллизации 13
— критическая плотность 13
— критическое давление 13
— давление насыщенного пара 15
— плотность 89
— плотность на линии насыщения 91
— вязкость 201
— теплопроводность 346
— теплопроводность жидкости 347
— теплопроводность на линии насыщения 347

n-Тетрадекан

— молекулярная масса 12
— температура кипения 12
— температура критическая 12
— температура кристаллизации 12
— критическая плотность 12

— критическое давление	12	— критическая плотность	12
— показатель преломления	12	— критическое давление	12
— давление насыщенного пара	25	— показатель преломления	12
— плотность жидкости	81	— давление насыщенного пара	25
— вязкость жидкости	198	— плотность жидкости	80
— теплопроводность	334	— вязкость жидкости	198
Тетрадецен-1		— теплопроводность	333
— молекулярная масса	13	Тридецен-1	
— температура кипения	13	— молекулярная масса	13
— температура кристаллизации	13	— температура кипения	13
— показатель преломления	13	— температура кристаллизации	13
— давление насыщенного пара	25	— показатель преломления	13
— теплопроводность	359	— давление насыщенного пара	25
— теплопроводность жидкости вблизи линии насыщения	360	— теплопроводность	358
n-Тетракозан		n-Трикозан	
— молекулярная масса	12	— молекулярная масса	12
— температура кипения	12	— температура кипения	12
— температура критическая	12	— температура критическая	12
— температура кристаллизации	12	— температура кристаллизации	12
— критическое давление	12	— критическое давление	12
— показатель преломления	12	— показатель преломления	12
— давление насыщенного пара	27	— давление насыщенного пара	27
— плотность	84	— плотность	84
— теплопроводность	342	— теплопроводность	342
Толуол		n-Ундекан	
— молекулярная масса	13	— молекулярная масса	12
— температура кипения	13	— температура кипения	12
— температура критическая	13	— температура критическая	12
— температура кристаллизации	13	— температура кристаллизации	12
— критическая плотность	13	— критическая плотность	12
— критическое давление	13	— критическое давление	12
— показатель преломления	13	— показатель преломления	12
— давление насыщенного пара	19	— давление насыщенного пара	24
— плотность	100	— плотность	79
— вязкость	207	— вязкость	197
— теплопроводность	364	— теплопроводность	332
— теплопроводность на линии насыщения	366	Ундецен-1	
n-Тридекан		— молекулярная масса	13
— молекулярная масса	12	— температура кипения	13
— температура кипения	12	— температура кристаллизации	13
— температура критическая	12	— коэффициент преломления	13
— температура кристаллизации	12	— давление насыщенного пара	24
		— теплопроводность	355

Циклогексан

— молекулярная масса	13
— температура кипения	13
— температура критическая	13
— температура кристаллизации	13
— критическое давление	13
— показатель преломления	13
— давление насыщенного пара	18
— плотность	110
— вязкость газа	210
— вязкость жидкости	211
— теплопроводность газа	375
— теплопроводность жидкости	375

Циклопентан

— молекулярная масса	13
— температура кипения	13
— температура критическая	13
— температура кристаллизации	13
— критическая плотность	13
— критическое давление	13
— показатель преломления	13
— давление насыщенного пара	17
— плотность	110
— теплопроводность	375

n-Эйкозан

— молекулярная масса	12
— температура кипения	12
— температура критическая	12
— температура кристаллизации	12
— критическая плотность	12
— критическое давление	12
— показатель преломления	12
— давление насыщенного пара	26
— плотность жидкости	83
— вязкость	200
— теплопроводность	341

Этан

— молекулярная масса	12
— температура кипения	12
— температура критическая	12
— температура кристаллизации	12
— критическая плотность	12
— критическое давление	12
— давление насыщенного пара	14
— плотность	63

— плотность на линии насыщения по температуре	64
— плотность на линии насыщения по давлению	64
— вязкость	183
— вязкость на линии насыщения	184
— теплопроводность	320

Этилбензол

— молекулярная масса	13
— температура кипения	13
— температура критическая	13
— температура кристаллизации	13
— критическая плотность	13
— критическое давление	13
— показатель преломления	13
— давление насыщенного пара	13
— плотность	108
— вязкость	207
— теплопроводность	372
— теплопроводность жидкости	373
— теплопроводность на линии насыщения	373

Этилен

— молекулярная масса	13
— температура кипения	13
— температура критическая	13
— температура кристаллизации	13
— критическая плотность	13
— критическое давление	13
— давление насыщенного пара	14
— плотность	85
— плотность на линии насыщения по температуре	88
— плотность на линии насыщения по давлению	88
— вязкость	200
— теплопроводность	343
— теплопроводность на линии насыщения	345
— теплопроводность газа	346

Этилциклогексан

— молекулярная масса	14
— температура кипения	14
— температура кристаллизации	14
— показатель преломления	14

— теплопроводность 376

Этилциклопентан

— молекулярная масса 13

— температура кипения 13

— температура критическая 13

— температура кристаллизации 13

— критическая плотность 13

— критическое давление 13

— показатель преломления 13

— давление насыщенного пара 19

— плотность 110

— вязкость 210

Газовые конденсаты

Астраханское месторождение

Газовый конденсат

— фракционный состав 28

— молекулярная масса 32

— показатель преломления 32

— плотность 32, 130

— вязкость 236

— теплопроводность 378

Ачакское месторождение

Газовый конденсат

— фракционный состав 29

— молекулярная масса 32

— температура застывания 32

— показатель преломления 32

— групповой углеводородный состав 34

— плотность 32, 127

— вязкость 239

— теплопроводность 411

Березанское месторождение

Газовый конденсат

— молекулярная масса 32

— показатель преломления 32

— теплопроводность 402

Бухарское месторождение

Газовый конденсат

— фракционный состав 30

— молекулярная масса 32

— температура помутнения 32

— температура застывания 32

— показатель преломления 32

Вуктыльское месторождение

Газовый конденсат

— фракционный состав 28

— молекулярная масса 31

— температура помутнения 31

— температура застывания 31

— показатель преломления 31

— групповой углеводородный состав 34

— плотность 31, 114

— вязкость 211

— теплопроводность 384

Фракция н.к.—60°C

— молекулярная масса 31

— температура помутнения 31

— температура застывания 31

— показатель преломления 31

— плотность 31, 115

— вязкость 213

— теплопроводность 386

Фракция 60—95°C

— молекулярная масса 31

— температура помутнения 31

— температура застывания 31

— показатель преломления 31

— плотность 31, 115

— вязкость 214

— теплопроводность 387

Фракция 95—122°C

— молекулярная масса 31

— температура помутнения 31

— температура застывания 31

— показатель преломления 31

— плотность 31, 116

— вязкость 216

— теплопроводность 389

Фракция 122—150°C

— молекулярная масса 31

— температура помутнения 31

— температура застывания 31

— показатель преломления 31

— плотность	31, 117
— вязкость	217
— теплопроводность	391

Фракция 150–175°C

— молекулярная масса	31
— температура помутнения	31
— температура застывания	31
— показатель преломления	31
— плотность	31, 118
— вязкость	219
— теплопроводность	392

Фракция 175–200°C

— молекулярная масса	31
— температура помутнения	31
— температура застывания	31
— показатель преломления	31
— плотность	31, 119
— вязкость	220

Фракция 200—к.к.

— молекулярная масса	31
— температура помутнения	31
— температура застывания	31
— показатель преломления	31
— плотность	31, 120
— вязкость	221

Газли месторождение

Газовый конденсат	
— фракционный состав	29
— молекулярная масса	32
— температура застывания	32
— показатель преломления	32
— групповой углеводородный состав	34
— плотность	32, 128
— вязкость	240
— теплопроводность	412

Гугуртли месторождение

Газовый конденсат	
— фракционный состав	29
— молекулярная масса	32
— температура застывания	32
— показатель преломления	32
— групповой углеводородный состав	34

— плотность	32, 128
— вязкость	238
— теплопроводность	410

Каневское месторождение

Газовый конденсат	
— молекулярная масса	32
— показатель преломления	32
— теплопроводность	394

Карачаганакское месторождение

Газовый конденсат	
— фракционный состав	28
— молекулярная масса	32
— показатель преломления	32
— плотность	32, 130
— вязкость	235

Кушевское месторождение

Газовый конденсат	
— молекулярная масса	32
— показатель преломления	32
— теплопроводность	395

Ленинградское месторождение

Газовый конденсат	
— фракционный состав	28
— молекулярная масса	32
— показатель преломления	32
— теплопроводность	384

Майкопское месторождение

I горизонт

Газовый конденсат	
— фракционный состав	30
— молекулярная масса	31
— температура помутнения	31
— температура застывания	31
— показатель преломления	31
— групповой углеводородный состав	34
— плотность	31, 132
— вязкость	240
— теплопроводность	397

Фракция н.к.—60°C

— молекулярная масса	31
— температура помутнения	31
— температура застывания	31

– показатель преломления	31	– теплопроводность	399
– групповой углеводородный состав	34	Фракция 175–200°C	
– плотность	31, 132	– молекулярная масса	31
– вязкость	240	– температура помутнения	31
– теплопроводность	398	– температура застывания	31
Фракция 60–95°C		– показатель преломления	31
– молекулярная масса	31	– групповой углеводородный состав	35
– температура помутнения	31	– плотность	31, 132
– температура застывания	31	– вязкость	240
– показатель преломления	31	– теплопроводность	399
– групповой углеводородный состав	34	Фракция 200–225°C	
– плотность	31, 132	– молекулярная масса	31
– вязкость	240	– температура помутнения	31
– теплопроводность	398	– температура застывания	31
Фракция 95–122°C		– показатель преломления	31
– молекулярная масса	31	– групповой углеводородный состав	35
– температура помутнения	31	– плотность	31, 132
– показатель преломления	31	– вязкость	240
– групповой углеводородный состав	34	– теплопроводность	399
– плотность	31, 132	Фракция 225–250°C	
– вязкость	240	– молекулярная масса	31
– теплопроводность	398	– температура помутнения	31
Фракция 122–150°C		– температура застывания	31
– молекулярная масса	31	– показатель преломления	31
– температура помутнения	31	– групповой углеводородный состав	35
– температура застывания	31	– плотность	31, 132
– показатель преломления	31	– вязкость	240
– групповой углеводородный состав	34	– теплопроводность	399
– плотность	31, 132	Фракция 250–к.к	
– вязкость	240	– теплопроводность	399
– теплопроводность	398	Майкопское месторождение	
Фракция 150–175°C		II горизонт	
– молекулярная масса	31	Газовый конденсат	
– температура помутнения	31	– фракционный состав	30
– температура застывания	31	– молекулярная масса	31
– показатель преломления	31	– температура помутнения	31
– групповой углеводородный состав	34	– температура застывания	31
– плотность	31, 132	– показатель преломления	31
– вязкость	240	– групповой углеводородный состав	35
		– плотность	31, 133

– вязкость	241
– теплопроводность	400

Фракция н.к. – 60°C

– молекулярная масса	31
– температура помутнения	31
– температура застывания	31
– показатель преломления	31
– групповой углеводородный состав	35
– плотность	31, 133
– вязкость	241
– теплопроводность	400

Фракция 60–95°C

– молекулярная масса	31
– температура помутнения	31
– температура застывания	31
– показатель преломления	31
– групповой углеводородный состав	35
– плотность	31, 133
– теплопроводность	400

Фракция 95–122°C

– молекулярная масса	31
– температура помутнения	31
– температура застывания	31
– показатель преломления	31
– групповой углеводородный состав	35
– плотность	31, 133
– теплопроводность	400

Фракция 122–150°C

– молекулярная масса	31
– температура помутнения	31
– температура застывания	31
– показатель преломления	31
– групповой углеводородный состав	35
– плотность	31, 133
– теплопроводность	400

Фракция 150–175°C

– молекулярная масса	31
– температура помутнения	31
– температура застывания	31
– показатель преломления	31

– групповой углеводородный состав	35
– плотность	31, 134
– теплопроводность	400

Фракция 175–200°C

– молекулярная масса	31
– температура помутнения	31
– температура застывания	31
– показатель преломления	31
– групповой углеводородный состав	35
– плотность	31, 134
– вязкость	241
– теплопроводность	400

Фракция 200–225°C

– молекулярная масса	31
– температура помутнения	31
– температура застывания	31
– показатель преломления	31
– групповой углеводородный состав	35
– плотность	31, 134
– вязкость	241
– теплопроводность	400

Фракция 225–250°C

– молекулярная масса	31
– температура помутнения	31
– температура застывания	31
– показатель преломления	31
– групповой углеводородный состав	35
– плотность	31, 134
– вязкость	241
– теплопроводность	400

Фракция 250–к.к.

– вязкость	241
– теплопроводность	400

Майкопское месторождение III горизонт

Газовый конденсат	
– фракционный состав	30
– молекулярная масса	32
– температура помутнения	32
– температура застывания	32

— показатель преломления	32
— групповой углеводородный состав	35
— плотность	32, 135
— вязкость	241
— теплопроводность	401

Фракция н.к.—60°C

— молекулярная масса	32
— температура помутнения	32
— температура застывания	32
— показатель преломления	32
— групповой углеводородный состав	35
— плотность	32, 135
— вязкость	242
— теплопроводность	401

Фракция 60—95°C

— молекулярная масса	32
— температура помутнения	32
— температура застывания	32
— показатель преломления	32
— групповой углеводородный состав	35
— плотность	32, 135
— вязкость	241
— теплопроводность	401

Фракция 95—122°C

— молекулярная масса	32
— температура помутнения	32
— температура застывания	32
— показатель преломления	32
— групповой углеводородный состав	35
— плотность	32, 135
— вязкость	241
— теплопроводность	401

Фракция 122—150°C

— молекулярная масса	32
— температура помутнения	32
— температура застывания	32
— показатель преломления	32
— групповой углеводородный состав	35
— плотность	32, 135

— вязкость	241
— теплопроводность	401

Фракция 150—175°C

— молекулярная масса	32
— температура помутнения	32
— температура застывания	32
— показатель преломления	32
— групповой углеводородный состав	35
— плотность	32, 135
— вязкость	241
— теплопроводность	401

Фракция 175—200°C

— молекулярная масса	32
— температура помутнения	32
— температура застывания	32
— показатель преломления	32
— групповой углеводородный состав	35
— плотность	32, 135
— вязкость	241
— теплопроводность	401

Фракция 200—225°C

— молекулярная масса	32
— температура помутнения	32
— температура застывания	32
— показатель преломления	32
— групповой углеводородный состав	35
— плотность	32, 135
— вязкость	241
— теплопроводность	401

Фракция 225—250°C

— молекулярная масса	32
— температура помутнения	32
— температура застывания	32
— показатель преломления	32
— групповой углеводородный состав	35
— плотность	32, 135
— вязкость	241
— теплопроводность	401

Фракция 250—к.к

— теплопроводность	401

Пашское месторождение**Газовый конденсат**

— фракционный состав	29
— молекулярная масса	32
— показатель преломления	32
— групповой углеводородный состав	34
— плотность	32, 128
— вязкость	239
— теплопроводность	411

Пекрасовское месторождение**Газовый конденсат**

— фракционный состав	30
— молекулярная масса	32
— показатель преломления	32
— групповой углеводородный состав	34
— плотность	32, 142

Опошнянское месторождение**Газовый конденсат**

— фракционный состав	29
— молекулярная масса	33
— показатель преломления	33
— групповой углеводородный состав	33
— плотность	33, 136
— вязкость	244
— теплопроводность	408

Фракция н.к.—95°C

— молекулярная масса	33
— показатель преломления	33
— групповой углеводородный состав	33
— плотность	33, 136, 138
— вязкость	245

Фракция 95—122°C

— молекулярная масса	33
— показатель преломления	33
— групповой углеводородный состав	33
— плотность	33, 136
— вязкость	245

Фракция 122—150°C

— молекулярная масса	33

— показатель преломления	33
— групповой углеводородный состав	33
— плотность	33, 136
— вязкость	246

Фракция 150—175°C

— молекулярная масса	33
— показатель преломления	33
— групповой углеводородный состав	33
— плотность	33, 136
— вязкость	247

Фракция 175—200°C

— молекулярная масса	33
— показатель преломления	33
— групповой углеводородный состав	33
— плотность	33, 136
— вязкость	247

Фракция 200—225°C

— молекулярная масса	33
— показатель преломления	33
— групповой углеводородный состав	34
— плотность	33, 137
— вязкость	248

Фракция 225—250°C

— молекулярная масса	33
— показатель преломления	33
— групповой углеводородный состав	34
— плотность	33, 137
— вязкость	249

Фракция 250—275°C

— молекулярная масса	33
— показатель преломления	33
— групповой углеводородный состав	34
— плотность	33, 137
— вязкость	249

Фракция 275—300°C

— молекулярная масса	33
— показатель преломления	33

– групповой углеводородный состав	34
– плотность	33, 137
– вязкость	250

Фракция 300–325°C

– показатель преломления	33
– плотность	33, 137
– вязкость	250

Фракция 325–к.к

– показатель преломления	33
– плотность	33, 139
– вязкость	251

Оренбургское месторождение

Газовый конденсат

– фракционный состав	28
– молекулярная масса	31
– температура помутнения	31
– температура застывания	31
– показатель преломления	31
– плотность	31, 120
– вязкость	224

Фракция н.к.–60°C

– молекулярная масса	31
– температура помутнения	31
– температура застывания	31
– показатель преломления	31
– плотность	31, 121
– вязкость	225

Фракция 60–95°C

– молекулярная масса	31
– температура помутнения	31
– температура застывания	31
– показатель преломления	31
– плотность	31, 122
– вязкость	227

Фракция 95–122°C

– молекулярная масса	31
– температура помутнения	31
– температура застывания	31
– показатель преломления	31
– плотность	31, 123
– вязкость	228

Фракция 122–150°C

– молекулярная масса	31

– температура помутнения	31
– температура застывания	31
– показатель преломления	31
– плотность	31, 124
– вязкость	230

Фракция 150–к.к.

– молекулярная масса	31
– температура помутнения	31
– температура застывания	31
– показатель преломления	31
– плотность	31, 125
– вязкость	232

Перещепинское месторождение

Газовый конденсат

– фракционный состав	30
– молекулярная масса	32
– показатель преломления	32
– групповой углеводородный состав	34
– плотность	32, 142
– вязкость	242

Рыбальское месторождение

Газовый конденсат

– фракционный состав	30
– молекулярная масса	32
– показатель преломления	32
– групповой углеводородный состав	34
– плотность	32, 142
– вязкость	243
– теплопроводность	405

Северное Мубарекское месторождение

Газовый конденсат

– фракционный состав	29
– молекулярная масса	32
– температура застывания	32
– показатель преломления	32
– групповой углеводородный состав	34
– плотность	32, 127
– вязкость	239
– теплопроводность	410

Совхозное месторождение

Газовый конденсат

– фракционный состав	28

теплопроводность 379

Солоховское месторождение

Газовый конденсат

— фракционный состав 29

— молекулярная масса 33

— показатель преломления 33

— групповой углеводородный состав 34

— плотность 33, 139

— вязкость 251

— теплопроводность 406

Фракция н.к.—60°C

— показатель преломления 33

— групповой углеводородный состав 34

— плотность 33, 139

Фракция 60—95°C

— молекулярная масса 33

— показатель преломления 33

— групповой углеводородный состав 34

— плотность 33, 139

— вязкость 252

Фракция 95—122°C

— молекулярная масса 33

— показатель преломления 33

— групповой углеводородный состав 34

— плотность 33, 139, 141

— вязкость 253

Фракция 122—150°C

— молекулярная масса 33

— показатель преломления 33

— групповой углеводородный состав 34

— плотность 33, 139

— вязкость 254

Фракция 150—175°C

— молекулярная масса 33

— показатель преломления 33

— групповой углеводородный состав 34

— плотность 33, 139

— вязкость 254

Фракция 175—200°C

— молекулярная масса 33

— показатель преломления 33

— групповой углеводородный состав 34

— плотность 33, 140

— вязкость 255

Фракция 200—225°C

— молекулярная масса 33

— показатель преломления 33

— групповой углеводородный состав 34

— плотность 33, 140

— вязкость 256

Фракция 225—250°C

— молекулярная масса 33

— показатель преломления 33

— групповой углеводородный состав 34

— плотность 33, 140

— вязкость 256

Фракция 250—275°C

— показатель преломления 33

— групповой углеводородный состав 34

— плотность 33, 140

— вязкость 257

Фракция 275—300°C

— показатель преломления 33

— групповой углеводородный состав 34

— плотность 33, 140

— вязкость 258

Фракция 300—325°C

— плотность 33, 140

— вязкость 258

Фракция 325—к.к.

— плотность 33, 140

— вязкость 259

Ставропольское месторождение

Газовый конденсат

— фракционный состав 30

— молекулярная масса 32

– температура помутнения	32	– молекулярная масса	32
– температура застывания	32	– температура застывания	32
– показатель преломления	32	– показатель преломления	32
Староминское месторождение		– групповой углеводородный состав	34
Газовый конденсат		– плотность	32, 126
– фракционный состав	28	– вязкость	238
– молекулярная масса	32	– теплопроводность	409
– показатель преломления	32	Шахпахты месторождение	
– теплопроводность	383	Газовый конденсат	
Учкырское месторождение		– фракционный состав	29
Газовый конденсат		– молекулярная масса	32
– фракционный состав	29	– температура застывания	32
– молекулярная масса	32	– показатель преломления	32
– температура застывания	32	– групповой углеводородный состав	34
– показатель преломления	32	– плотность	32, 127
– групповой углеводородный состав	34	– вязкость	238
– плотность	32, 129	– теплопроводность	409
– вязкость	240	Шебелинское месторождение	
– теплопроводность	412	Газовый конденсат	
Харасовэйское месторождение		– фракционный состав	30
Газовый конденсат		– молекулярная масса	33
– фракционный состав	28	– показатель преломления	33
– молекулярная масса	32	– групповой углеводородный состав	34
– показатель преломления	32	– плотность	33, 141
– плотность	32, 125	– вязкость	243
– вязкость	233	Юбилейное месторождение	
– теплопроводность	380	Газовый конденсат	
Харьковцы месторождение		– фракционный состав	30
Газовый конденсат		– молекулярная масса	32
– фракционный состав	28	– показатель преломления	32
– молекулярная масса	32	– групповой углеводородный состав	34
– показатель преломления	32	– плотность	32, 142
– плотность	32, 129	Ямбургское месторождение	
– вязкость	259	Газовый конденсат	
– теплопроводность	413	– фракционный состав	28
Челбасское месторождение		– молекулярная масса	32
Газовый конденсат		– показатель преломления	32
– молекулярная масса	32	– плотность	32, 131
– показатель преломления	32	– вязкость	261
– теплопроводность	403	– теплопроводность	382
Шатлыкское месторождение			
Газовый конденсат			
– фракционный состав	29		

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ И ГАЗОВЫХ КОНДЕНСАТОВ	7
1.1 ПЛОТНОСТЬ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ И ГАЗОВЫХ КОНДЕНСАТОВ	36
1.1.1. Методы экспериментального определения плотности газов и жидкостей	36
1.1.2. Экспериментальная установка по определению плотности газов и жидкостей методом гидростатического взвешивания	43
1.1.3. Результаты экспериментальных измерений плотности углеводородов и газовых конденсатов	47
1.1.4. Методы расчета плотности углеводородов и газовых конденсатов при различных температурах и давлениях	57
1.1.5. Плотность парафиновых углеводородов при различных температурах и давлениях	63
1.1.6. Плотность олефиновых углеводородов при различных температурах и давлениях	85
1.1.7. Плотность ароматических углеводородов при различных температурах и давлениях	98
1.1.8. Плотность наftenовых углеводородов при различных температурах и давлениях	110
1.1.9. Плотность газовых конденсатов и их фракций при различных температурах и давлениях	114
1.2 ВЯЗКОСТЬ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ И ГАЗОВЫХ КОНДЕНСАТОВ	143
1.2.1. Методы экспериментального определения вязкости углеводородов и газовых конденсатов	143
1.2.2. Экспериментальная установка и методика проведения измерений вязкости	147

3.3. Результаты экспериментальных измерений вязкости углеводородов и газовых конденсатов	154
3.4. Вязкость углеводородов и газовых конденсатов при атмосферном давлении	158
3.5. Вязкость углеводородов и газовых конденсатов при различных температурах и давлениях	171
3.6. Коэффициенты динамической вязкости парафиновых углеводородов при различных температурах и давлениях	183
3.7. Коэффициенты динамической вязкости олефиновых углеводородов при различных температурах и давлениях	200
3.8. Коэффициенты динамической вязкости ароматических углеводородов при различных температурах и давлениях	206
3.9. Коэффициенты динамической вязкости нефтяных углеводородов	210
3.10. Коэффициенты динамической вязкости газовых конденсатов и их фракций при различных температурах и давлениях	211
4. ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ И ГАЗОВЫХ КОНДЕНСАТОВ	263
4.1. Экспериментальные методы определения теплопроводности газов и жидкостей	264
4.2. Метод регулярного теплового режима	268
4.3. Описание экспериментальной установки	274
4.4. Методика измерения теплопроводности газов и жидкостей	282
4.5. Расчетное уравнение для цилиндрического бикалориметра	284
4.6. Экспериментальные значения коэффициента теплопроводности углеводородов и газовых конденсатов	293
4.7. Температурная зависимость теплопроводности углеводородов и газовых конденсатов	293
4.8. Теплопроводность углеводородов и газовых конденсатов при различных температурах и давлениях	314
4.9. Коэффициенты теплопроводности парафиновых углеводородов	320

§ 10 Коэффициенты теплопроводности жидких углеводородов	343
§ 10 Коэффициенты теплопроводности кристаллических углеводородов	362
§ 10 Коэффициенты теплопроводности газовых углеводородов	375
§ 10 Коэффициенты теплопроводности газовых смесей и их фракций при различных температурах и давлениях	378
ЛИТЕРАТУРА	415
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	429

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕВОДОРОДОВ И ИХ СМЕСЕЙ

Содержит данные о теплотехнических свойствах углеводородов и их смесей, необходимые для расчета тепловых процессов в нефтегазовом производстве. Включены данные о теплотехнических свойствах углеводородов и их смесей, необходимые для расчета тепловых процессов в нефтегазовом производстве.

Составил: А. А. Сидоров

Рецензент: В. П. Сидоров

Издательство: «Нефтегаз»

Содержит данные о теплотехнических свойствах углеводородов и их смесей, необходимые для расчета тепловых процессов в нефтегазовом производстве.

Научное издание

Казарян Вараздат Амаякович

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ И ГАЗОВЫХ КОНДЕНСАТОВ

*Все права защищены. Никакая часть данного издания
не может быть воспроизведена в любой форме
или любыми средствами, электронными,
механическими, включая фотографирование,
ксерокопирование или иные средства копирования
или сохранения информации,
без письменного разрешения издательства.*

Верстка В. В. Земсков

Подготовка материалов Ю. Д. Шведова

Формат 60×90 $1/16$. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии «Луч»

E-mail: String_25@mail.ru

151 722 c.