**МЕЖГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ДАННЫХ**

**О ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТАХ И СВОЙСТВАХ**

**ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ**

**УДК 546.212; 536.71**

**ТАБЛИЦЫ**

**СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ**

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА 1-БУТАНОЛА В ШИРОКОМ ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР И ДАВЛЕНИЙ ДО 200 МПа

**СТД СНГ Х – 20ХХ**

(**ПЕРВАЯ РЕДАКЦИЯ, ШИФР ТЕМЫ: 3.9 )**

**БАКУ – 2025**

РАЗРАБОТАНЫ Межгосударственным техническим

комитетом по стандартизации МТК 180

«Межгосударственная служба стандартных

справочных данных»

ВНЕСЕНЫ Юридическим лицом публичного права «Азербайджанский Институт Метрологии» при Государственном Агентстве по Антимонополии и Контролю за Потребительским рынком при Президенте Азербайджанской Республики

АВТОР: д.т.н., проф.Талыбов М.А. Азербайджанский

Технический Университет

СОГЛАСОВАНЫ с национальными органами по

стандартизации стран СНГ

РЕКОМЕНДОВАНЫ Научно-технической комиссией по

метрологии Межгосударственного Совета

по стандартизации, метрологии и

сертификации

ПРИНЯТЫ Евразийским советом по стандартизации,

метрологии и сертификации

(протокол от 2025 г., № –2025)

УДК 546.212; 536.71

**МЕЖГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ДАННЫХ**

**О ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТАХ И СВОЙСТВАХ**

**ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ**

|  |  |
| --- | --- |
| **Таблицы стандартных справочных данных** |  |
| Теплофизические свойства 1-бутанола в широком  интервале температур и давлений до 200 МПа | **СТД СНГ**  **Х-20ХХ** |
| **Tables of Standard Reference Data** |  |
| Thermophysical properties of 1-butanol in a wide range of temperatures and pressures up to 200 МПа | **STD SNG**  **Х-20ХХ** |

**Содержание**

Введение.................................................................................................................5

Измерение теплофизических свойств бутанол-1 ...............................................9

Уравнения состояния............................................................................................18

Таблица 1. Значения коэффициентов *ai* , *bi* и *ci* из уравнений (28-29)............27

Приложение А. Термические свойства бутанола-1 ..........................................28

Приложение Б. Калорические свойства бутанола-1..........................................31

Таблица 2. Значение коэффициента *di* ,*еi*, *fi* из уравнения (46-48)……...........32

Таблица 3. Скорость звука бутанола-1 при атмосферном давлении................33

Таблица 4. Изобарная теплоемкость бутанола-1при атмосферном давлении.34

Таблица 5. Теплофизические и калорические свойств бутанола-1.................35

Таблица 6. Значения плотности бутанола-1......................................................46

Таблица 7. Значения плотности *ρ*(*p*0*,T*) бутанола-1 при давлении *p*0= 0.101

MПa, измеренные Anton-Paar DMA 5000M ...................................50

Таблица 8. Давление бутанола-1, вычисленные при помощи уравнения Клапейрона-Клаузиуса.....................................................................50

Список литературы...............................................................................................51

**Введение**

Под альтернативными моторными топливами следует понимать получаемые из нетрадиционных видов сырья жидкие и газообразные топлива, которые могут быть использованы в автотранспорте [6].

По химикотехнологическим аспектам производства и применения моторных топлив можно охарактеризовать следующими глобальными тенденциями:

- непрерывное ежегодное увеличение количества автотранспорта и потребление моторного топлива в мире;

- истощение извлекаемых запасов нефтяного сырья для производства моторных топлив;

- ожидаемое в перспективе снижение объемов добычи нефти в мире, в том числе и в Азербайджане, повышение цен на нефть и нефтепродукты, в частности, на моторные топлива;

- неуклонное ужесточение экологических требований по отношению как к выхлопным газам ДВС, так и к качеству моторных топлив;

- в соответствии с Киотским соглашением (1997г.) ограничение суммарных выбросов парниковых газов (прежде всего, диоксида углерода) в атмосферу всеми промышленными предприятиями для каждой из стран мира [22-25].

Как указывалось ранее, приоритетным (стратегическим) направлением развития топливной индустрии мира следует рассматривать производство и применение альтернативных моторных топлив, получаемых из ненефтяного сырья. Моторные топлива растительного происхождения, так называемые биотоплива, являются практически единственным видом альтернативного возобновляемого моторного топлива, удовлетворяющего как требованиям Киотского соглашения, так и требованиям экологической безопасности применения в автотракторном транспорте. Кроме того, для обеспечения всевозрастающей потребности в них транспортных средств мира, применению биотоплив возобновляемого растительного сырья не грозит истощение ресурсов. При использовании биотоплив не происходит накопления тепла и углекислого газа в атмосфере, ведущего к «парниковому эффекту» и изменению климата, поскольку столько же тепла и диоксида углерода расходуется на выращивание растительного сырья. Кроме того, что не менее важно, использование биотоплив существенно снижает эмиссию практически всех видов токсичных компонентов в выхлопных газах ДВС по сравнению с нефтяными топливами. Само биотопливо не токсично, не загрязняет грунтовые воды и водоемы, при утечках полностью разлагается в почве в течение нескольких недель [1,4,7,10].

Анализ многочисленных разработок в данном аспекте [16-20] показал, что биотоплива по сравнению с нефтяными топливами обладают рядом преимуществ, а именно превосходными экологическими характеристиками при их производстве, хранении, транспортировке и применении.

Достоинства биотоплив по сравнению с автобензинами [7]:

- возобновляемость биоресурсов;

- экологическая чистота; низкая эмиссия парникового газа (СО2);

- высокая детонационная стойкость;

- наличие кислорода в их молекулах, что обеспечивает более полное сгорание и уменьшает токсичность отработанных газов;

- быстрая биоразлагаемость при попадании в почву.

Биобутанол – биотопливо второго поколения. Бутанол, производимый из возобновляемых непищевых источников сырья (древесина, солома и т.д.), по аналогии с биоэтанолом называют биобутанолом. Биобутанол может добавляться к обычному бензину или бензину, содержащему этанол, он может быть использован в современных автомобильных двигателях [8].

Биобутанол обладает следующими преимуществами:

- более высокой удельной теплотой сгорания;

- низким давлением насыщенных паров;

- в присутствии воды смесь бензина и биобутанола в меньшей степени склонна к расслоению;

- значительно меньшей коррозионной активностью, что не требует специального адаптирования транспортных средств, позволяет использовать существующие инфраструктуры по снабжению, хранению и заправкам; кроме того, биобутанол может быть транспортирован по трубопроводам;

- менее привлекателен для пищевого применения потребителями топлив [7].

Биобутанол получают из того же сельскохозяйственного сырья, что и биоэтанол (т.е. из кукурузы, пшеницы, сахарной свеклы, сахарного тростника, отходов зерновых культур, а также из лигноцеллюлозного сырья и т.д.). На биобутанол как на непитьевой спирт акциз не распространяется.

Производство биобутанола по сравнению с биоэтанолом технологически значительно проще, требует незначительных изменений в процессах ферментации и дистилляции. Биобутанол может добавляться в бензин в более высоких концентрациях (например, до 12,5%), чем биоэтанол при использованием в стандартных автомобильных двигателях. Основным производителем бутанола являются США, где ежегодно производится 1,39 млрд. л бутанола [10].

Главной причиной, по которой до недавнего времени никто не рассматривал бутанол как альтернативное топливо, является то, что производство этого продукта никогда не считалось экономически целесообразным. Как было сказано выше, этот продукт используется в основном как промышленный растворитель, цена которого превышает примерно в 3 раза цену газа. Прогресс в области биотехнологий позволил превратить кукурузу и другую биомассу в достаточно экономичный источник биобутанола. В связи с разработкой новых высокоэкономичных технологий производства биобутанола в настоящее время получаемый из зерна.Применение биобутанольного топлива, отличающегося экологичностью и возобновляемостью, позволит уменьшить зависимость от ископаемых энергоносителей. В соответствии с назначением наиболее важным и определяющим показателем эксплуатационных свойств моторного топлива является горючесть, способность его сгорать в камерах горения ДВС с выделением максимальною количества тепла. Горючесть зависит от химического и фракционного составов, плотности и теплотворной способности (теплоты сгорания) топлива. Разумеется, чем больше будет выделяться тепла при сгорании единицы массы (объема) топлива, тем при меньших удельных его расходах можно будет получить требуемую мощность двигателя. Из элементов, входящих в состав нефтяных альтернативных топлив, наибольшей теплотой сгорания обладает водород 143,06 МДж/кг. Теплота сгорания углерода принята за 33,85 МДж/кг [18]. Кислород, входящий в состав спиртов и эфиров, наоборот, снижает теплотворную способность топлива. Отсюда следует, что углеводороды с одинаковой молярной массой, богатые водородом, например метан, имеют наибольшую массовую теплоту сгорания. Объемная теплота сгорания возрастает с увеличением плотности, т.е. от алканов к цикланам и далее к аренам. Различают высшую и низшую теплоту сгорания. Высшая теплота сгорания – тепло, выделяющееся при сгорании единицы топлива с учетом тепла, которое выделяется при конденсации паров воды, образовавшейся в результате горения водорода топлива. Температура выхлопных газов двигателей всегда выше 1000С, поэтому при оценке теплотворной способности топлив пользуются низшей теплотой сгорания (QH).

Для расчета QH (МДж/кг) пользуются известной формулой Д.И.Менделеева [18]:

 (1)

где  и - массовая доля элементов и воды в топливе.

Количество воздуха, необходимое для полного сгорания () 1кг топлива (*lваз,* кг/кг), можно рассчитать по следующей формуле, вытекающей из стехиометрии реакций горения элементов топлива [1]:

*lвоз*=(8/3mc+8mH-m0)/0,232 (2)

Для более полной оценки эксплуатационных свойств моторных топлив нами предлагаются дополнительно два химмотологических показателя: удельная энергоемкость (*ЭТ*) и относительный расход моторного топлива (gотн.).

Удельная энергоемкость (*ЭТ*), характеризующая количество тепловой энергии, выделяющееся при горении 1 кг стехиометрического количества воздуха (при)

*ЭТ*=QH/*l*воз, МДж/кг·воз. (3)

Поскольку мощности поршневых ДВС принято оценивать по суммарному литражу цилиндров, т.е. по объему расходуемого воздуха, то показатель *ЭТ* косвенно характеризует мощностные возможности моторного топлива применительно к двигателям с одинаковыми степенями сжатия.

Относительный расход моторного топлива (gотн.), рассчитываемый как отношение теплоты сгорания гептана (усредненного бензина) QH=45 МДж/кг к QH,ii-го топлива:

gотн=45/QH,i, кг/кг. (4)

Как видно, наибольшими значениями QH и *lвоз* обладают, как было отмечено выше, углеводородные газы и автобензина с более высоким содержанием водорода.

**Измерение теплофизическихсвойства бутанола-1**

(*P, ρ, Т*) данные бутанола-1 в широком диапазоне температур

[*Т*= (от 263.15 до 468.70) К] и давлений до *P*=140 МПа были измерены с помощью вибрационного трубчатого денсиметра Anton Paar DMA HPM. Погрешность экспериментальных измерений по плотности составляет Δρ/ρ = ± (0.01 до 0.03) %. Система была откалибрована дистиллированной водой, водным раствором NaCl, метанолом, толуолом и ацетоном. Принцип работы экспериментальной установки для определения (p,ρ,T) зависимости жидкостей методом денсиметра вибрационной трубки основан на зависимости периода вибрации направленной в одну сторону U-образ­ной трубки и массы трубки. Объем измерительной части составляет примерно 14-15 см3. При этом 11 см3 приходится на долю объема манометра давления. При этом система полностью заполняется измеряемым веществом. Эксперимент проводится в статическом режиме, где образец вводится в вибрирующую пробирку с усилителем давления, который остается без движения во время измерения при требуемом давлении. На основании полученных данных 1-бутанола были составлены уравнения состояния.

Экспериментально (*p, ρ, t*) данные успешно были экстраполированы до температур T = 253.15 К и давлений до Р=200 MПа, используя уравнения состояния.

Основ­ные соотношения, для вывода уравнения состояния является выражение периода колебания τ. Резонансная частота *f,* может быть описана простой физико-­ матема­ти­ческой моделью как показано в следующем уравнении:

 (5)

где: ω0 –угловая частота с-1; k – жесткость материала трубки, Н.м-1; m – масса вибрационной трубки в кг.

Масса вибрационной трубки m, равна сумме масс трубки в вакууме и исследуемой жидкости, содержащейся в трубке:

 (6)

где: m0 - масса вибрационной трубки в вакууме, в кг, ρ(р,Т) - плотность жидкости в вибрационной трубке кг.м-3; V(р,Т)-объем вибрационной трубки в м3.

Уравнение (6) можно написать в следующем виде,

 (7)

Жесткость трубки, к, зависит от размера и формы трубки и пропорциональна модулю Юнга материала трубки. Отсюда следует, что квадрат частоты возрастает с увеличением жесткости трубки и обратно пропорционален его массе. Частота также обычно уменьшается по мере увеличения длины трубки. Хорошо известно, что резонансная частота равна обратной величине периода вибрации, τ. Этот период может быть определен следующим образом:

 (8)

Из приведенного вышеуравнениявидно, чтоплотность жидкостиможет бытьнепосредственно связана спериодомколебания вибрационной трубкиследующим образом:

 (9)

 (10)

где:

 (11)  (12)

Параметры C1(P,T) и C2(P,T) не зависят от свойств измеряемой жидкости. Прибор должен быть от калиброван путем измерения периода колебания по крайней мере в двух веществах известной плотности и в качестве калибровочных растворов.

Продифференцировав уравнения (12) по отношению к периоду, получаем следующее выражение:

 (13)

Это уравнение имеет отношение к чувствительности прибора. Уменьшение значения этогой производной приводить к изменению периода колебания, что в свою очередь приводит к изменению плотности. Для заданного значения жесткости трубки, k, чувствительность возрастает с увеличением величины отношения массы заполненной жидкости к массе пустой трубки (ρV/m0).

Измерения плотности жидкостей проводилась при температуре T=(273.15 - 413.15) K и давлении P=140 MПa. Точность измерения плотности до 0,0001 г/см3, а температуры до 0,05°C.

Скорость звука при атмосферном давлении были измерены с помощью высокоточной установки DSA 5000М компании Anton Paar.

Для определения скорости звука измеряется распределение звука с вычислением периода вибрации акустической ячейки. Волны звука с определенными частотами передается от одно**го** ультразвукового передатчика, а на другой стороне принимается с помощью другого датчика. При наличии дистанции между обоими передатчиками, а также частоты звуковых волн, можно вычислить скорость звука с помощью уравнения, приведенного ниже:

 (14)

здесь: реальная длина – реальная длина звуковых волн (примерно 5000 μm), Δтемп – погрешность температуры при *T*=293.15 K, Ps – период принимающих звуковых волн, разделительный коэффициент – 512, TAU – постоянная установки, *f*3 – коэффициент коррекции температуры. Коэффициенты TAU и *f*3 секреты установки DSA 5000M фирмы Anton Paar.

С помощью установки DSA 5000M можно измерить скорость звука в веществе при температурах 273.15 – 413.15 K, в интервале скорости звука 1000 - 2000 m·s-1 и с погрешностью 0.1 m·s-1.

Изобарная теплоемкость бутанола была измерена при температурах *T*=(от 253.15 до 468.70)К и при атмосферном давлении, используя тепломер дифференциальной сканирования с погрешностью (2-3)%.

Давления паров бутанола-1 в интервале температур *T*=(323.15 - 468.67) K определялась при помощи статистической установки с измерительной ячейкой из нержавеющей стали. Температура во всем объеме резервуара измеряется с помощью платинового термометра РT-100 (6) с точностью ±0.01 K. Давление паров в измерительных ячейках измеряется с помощью высокоточных измерителей давлений KS Baratron, типа 615А (США) в статической части (23) с точностью *р* = ±(10 ÷ 30) Пa.

После тщательного анализа полученных данных и составления уравнения состояния, были рассчитаны различные теплофизические свойства, такие как: коэффициенты изотермической сжимаемости *κ*T(*p*,*T*)/MПa-1, изобарного термического расширения *α*p(*p*,*T*)/K-1, разность изобарных и изохорных теплоемкостей (*cp-cv*)/Дж⋅kг-1⋅K-1 при температурах [*Т* = (от 253.15 до 468.70) К] и давлениях до P= 200 МПа. Дополнительно была измерена теплоемкость бутанола при температурах *T* = (от 253.15 до 468.70)К и при атмосферном давлении, используя тепломер дифференциальной сканирования. Были также проведены измерения скорости звука *u* (*p,T*)/м⋅с-1 при температурах [*T* = (от 253.15 до 468.70) K] и давлениях до *P* 200 МПа.



Рис.1 − Зависимость разности скорости звука бутанола-1, измеренной в данной работе и литературными данными от температуры *T*/K при атмосферном давлении



Рис.2 − Зависимость разности изобарной теплоемкости бутанола-1, измеренной в данной работе и литературными данными от температуры *T*/K при атмосферном давлении



Рис.3 − Зависимость разности плотности бутанола-1, измеренной в данной работе и литературными данными от давлениия Р/МПа



Рис.4 − Зависимость давления паров Р/Пa бутанола-1 от температуры Т/К в сравнении с литературными данными в координатах *P-T*



Рис.5 − Зависимость плотности *ρ* бутанола-1 от давления Р/МПа:

⯁, 253.15 K; ■, 263.15 K; ▲, 273.15 K; ●, 283.15 K; ▼, 293.15 K;

🞬, 298.15 K; ◇, 313.15 K; □, 333.15 K; △, 353.15 K; ○, 373.15 K;

▽, 393.15 K; ⊕, 413.15 K; ★, 433.15 K; ✰, 453.16 K; 🞦, 468.67 K.

**Уравнения состояния**

Ахундов Т.С. и Иманов Ш.Ю. использовали следующее уравнение сос­тояния на основе уравнение [2]:

, (15)

где: *P* – давление опыта, *v* – удельный объем, *A* и *B* – коэффициенты, зависящие от температуры. Авторы оценивали погрешность описания экспериментальных данных с помощью уравнении состояния (15) ниже чем 0.1 %. Уравнение состояния (15) хорошо описывает экспериментальные (*p,V,T*) данные и с помощью этого уравнения можно вычислить многие термические параметры.

Графический анализ зависимости коэффициентов уравнения от темпе­ратуры показал, что при *Т→ТкрА→*0. Такое поведение *А*=*f*(*T*) может быть объяснено тем, что первое слагаемое правой части уравнения (15) *Аν*2 по Пу­тилову явля­ется силой притяжения (аттракторным давлением), второе и третье слагаемые - отталкивающей силой (репульсив­ным давлением). С увели­чением температуры расстояние между молекулами растет, что способствует уменьшению силы притяжения. По мере стремления силы притяжения к нулю (*А*→0) молекулы под действием отталкиваю­щей силы имеют возмож­ность перемещения. Степень перемещения молекул будет определяться только плот­ностью вещества, т.е. внешним давлением, в результате произойдет из­менение агрегатного состояния.

Уравнения со­стояния в большинстве своем представляют запись рав­новесия между четырьмя видами давления: термического*,* вызываемого движением молекул; репульсионного  вызываемого си­лами отталкивания, проявляющимися главным образом при столкновении молекул; аттракционного (или «когезиониого»)  вызываемого меж­молекулярным притяжением, и внешнего *P:*

*р* + *p*аттр=*р*терм + *р*реп. (16)

Чаще всего исследователи обращались к излучению аттракционного давления и пытались представить его в виде какой-либо простой функции объема и температуры. Что касается репульсионного давления, то многие находили достаточным учитывать его, основываясь на самой примитивной модели непроницаемых молекул, подправляя эту модель той или иной зависимостью «собственного объема молекул»  от температуры, а иног­да, по необходимости, и зависимостью «объемной поправки»  от плотности вещества. По схеме

, (17)

так как

*,*  (18)

где  то приближенно при) построены уравнения состо­яния Клаузиуса, Ван-дер-Ваальса, Бертло, Диетерици, Сарро, Бателли, Рамсея и Юнга, Кейеса и многих других. К этой схеме в известной мере примыкают и так называемые вириальные формы уравнения состояния. Однако возможен и, несомненно, представляет интерес и другой путь построения уравнения состояния жидкостей и сильно сжатых газов, а именно косвенное изучение аттракционного давления по формуле (15) на основе зависимости репульсионного давления от плотности и температуры, которая может быть получена из данных опыта. Ведь может оказаться, да так оно и есть на самом деле, что межмолекулярное отталкивание, про­исходящее от взаимодействия электронных оболочек атомов, явится более простой функцией расстояния между частицами, чем силы притяжения, объединяющие химическое (валентное, ковалентное, побочное), дипольное и дисперсионное взаимодействия. Раньше для изучения репульсион­ного давления не было достаточного экспериментального материала (для этой цели могли служить, в сущности, только опыты Амага); но в настоя­щее время обширные и замечательные по своей точности исследования Бриджмена предоставляют полную возможность сделать надежные заклю­чения о зависимости репульсионного Давления от степени сжатия, а так­же, хотя и в более узких пределах, и от температуры.

Проявление репульсионного давления в твердых телах уже было в не­которой мере изучено в связи с термодинамической теорией твердых тел. На основе теоремы о вириале, в этой теории репульсионное давление приближенно выражают величиной , где, *п*- показатель степени при в выражении потенциала сил отталкивания между частицами.

По многочисленным теоретическим расчетам показатель степени *п* для различных атомов должен был бы иметь значение от 5 до 10-12. По прямому сопоставлению упомянутого выражения репульсионного давления с величиной коэффициента сжимаемости ионных кристаллов получалось  и для некоторых тел несколько меньше 9 или не­сколько больше 10. Это сопоставление проводилось, однако, не безупреч­но, в частности, потому, что его приходилось экстраполировать к абсо­лютному нулю температуры.

В исследовании плотности ионных кристаллов, проведенном в 1929-1931 гг. Путиловым [12] на основе выражения репульсионного давления через для 50 веществ, обнаружено, что показатель степени *п* потенциала отталкивающих сил при нормальных расстояниях между частицами достаточно точно равен 9.

Такой итог изучения репульсионного давления в твердых телах дал возможность высказать догадку, что, подобно разложениюпотенциала сил молекулярного притяжения по степеням 1/*r*, потенциал сил молекулярногоотталкивания при больших степенях сжатия вещества может быть с достаточной точностью представлен разложением в ряд по степеням . Это означает, что если при малых степенях сжатия вещества репульсионное давление может быть выражено величиной*,* то придальнейшем сжатии должен сначала проявиться, а затем и преобладать второй член ре-пульсивнного давления .

. (19)

В этом уравнении, которое не претендовало на общность, по-видимому, впервые было учтено, что при достаточно больших степенях сжатия большую роль в репульсионном давлении играет та его часть, которая изменяется обратно пропорционально седьмой степени удельного объема.

А.И. Бачинский [3] исследовал репульсионное давление и сжимаемость жидкостей, основываясь на измерениях Бриджмена, сделанных для 20 жидкостей при давлениях от 500 до 12 500 *кГ*/*см2*и при температурах от 298°С. Считалось, что удельные объемы жидкостей в интервале, исследованном Бриджменом, являются весьма сложной функцией давления и температуры. Но оказалось, что это не так. А. И. Бачинскому удалось представить результаты опытов Бриджмена с помощью формулы, которая более сложна, чем формула Ван-дер-Ваальса, и вместе с тем является более точной. Бриджмен опубликовал свои измерения в виде таблиц с двойным входом: в первом столбце указаны значения давления, изменяющиеся сначала через 500 *кГ/см2,* потом через 1000 *кГ/см2,* в верхней строке указаны температуры, изменяющиеся через 10°С; на пересечении любой строки и любого столбца можно найти значение объема, соответствующее взятым давлению и температуре.

Представим себе, что в таблице размещены не значения самих объемов, а значения их логарифмов lg*V.* И, кроме того, в промежутках между каждыми двумя соседними логарифмами объема записана разность этих логарифмов. В качестве примера логарифмы объемов напечатаем более крупным шрифтом, разности - более мелким. Такую таблицу А. И. Бачинский называл абаком коэффициента расширения и коэффициента сжимаемости». Так как коэффициент расширения равен:

, (20)

а коэффициент сжимаемости:

., (21)

понятно, что, прослеживая разности , мы получаем приблизительное представление о зависимости коэффициента расширения  от температуры при давлении, которое соответствует данной горизонтали (что при сопоставлении сдругими горизонталями позволяет сделать заключение также и о зависимости  от давления); аналогично, прослеживая разности *,* описанные по вертикалям, мы получаем представление о зависимости: коэффициента сжимаемости  от давления (а при сопоставлении с другими вертикалями - и о зависимости  от температуры).

Вычислив указанным выше способом, по данным Бриджмена, значения коэффициента сжимаемости для ряда жидкостей при различных значениях давления и температуры, А. И. Бачинский обнаружил, что в интервале давлений, который был детально изучен Бриджменом (т. е. от 500 до 12 500 *кГ/смг), м*ежду величинойобратной коэффициенту сжимаемости, т. е. модулем всесторонней упругости  и давлением существует для каждой темпе­ратуры линейная зависимость

, (22)

здесь *К* и *С* при постоянной температуре являются константами.

Переписав предыдущее уравнение в виде

, (23)

и проинтегрировав его, находим

**,** (24)

Таким образом, *lgV* и *lg(p* + *К)* связаны линейной зависимостью.

, (25)

где *К* и *L —* постоянные (или, вернее, сказать, функции температуры).

Для окончательной проверки пра­вильности уравнения (25) и для возможно более точного определения по­стоянных *К* и *L* А. И. Бачинский применил следующий метод: для каждой температуры, по данным у Бриджмена значениям *V,* он вычислил значения (1/*V*)7. В первом столбце указаны значения давления *р* (в *кГ/см2)*;во втором столбце приведены значения(1/*V*)7, причем за единицу объема *V* принят объем при 0° и *р* = 1 *кГ/см2;* в третьем столбце показаны приращения величины (1/*V*)7, соот­ветствующиеизменению давления на 500 илина 1000 *кГ/см2.* Можно видеть, что, за исключением области относительно небольших давлений от 1 до 1500 *к Г/см2*зависимость (1/*V*) 7 от *р* действительно явля­ется линейной; небольшие отступления (в пределах изменения давления **от** 1500 до 12 000 *кГ/см2),* вероятно,вызваны погрешностью опыта. В част­ности, следует отметить, что найденное Бриджменом значение объема бромистого этила при *р***=**3000 *кГ/см2,* наверное,определено неточно; некоторая погрешность, по-видимому, была допущена также в измерении объема при *р* = 5000 *кГ/см2.*

По вычисленным из данных Бриджмена и Амага значениям величины (1/*V*)7 и значениям *р* А.И.Бачинский построил графики, которые в уменьшенном масштабе. Согласно (25)

. (26)

По тангенсам углов наклона прямых и отрезкам, которые эти прямые отсекают на оси ординат, оказалось возможным определить с достаточной точностью константы *К* и *L* для ряда жидкостей при температурах, охваченных измерениями Бриджмена. На диаграммах, которые были построены Бачинским, точки располагаются около прямой линии с отклонениями, соответствующими точности для определения давления по удельному объему порядка 0,7%.

Весьма знаменательно, что при относительно небольших давлениях до 1000-2000 *кГ/см2)* наклон линии меньше, чем во всей остальной исследованной Бриджменом области давлений. Так это и должно было оказаться, потому что при сравнительно небольших сжатиях сказывается первый член репульсионного - давления *B/v2,* и только при давлениях порядка 2000-3000 *к Г/см2*и выше он оказывается малым в сравнении со вторым членом *1/v7*(п. 1). По аналогичной причине при очень высоких давлениях, вероятно порядка 30 000-50 000 *кГ*/*см2,* возможно, также будет наблюдаться изменение наклона линий, так как при очень высоких сжатиях начинает сказываться третий член репульсионного давления *Q/V*10, который соответствует третьему члену разложения энергии оттал­кивания электронных оболочек по степеням 1/*r*9, где *r -* среднее расстоя­ние между молекулами жидкости.

Выполненные А. И. Бачинским вычисления дали значения констант *К* и *L,* приведенные ниже:

, (27)

еще остается непроанализированным с необходимой полнотой.

А. И. Бачинский считал необходимым для обоснования найденного им уравнения состояния сильно сжатых жидкостей выполнить поясненные выше расчеты для всех жидкостей, исследованных Бриджменом (он успел сделать только для одной трети изученных Бриджменом жидкостей: бромистого этила, диэтилового эфира, этилового спирта, метилового спирта, пропилового спирта и, в не вполне оконченной форме, для амилового спирта, ацетона и воды).

В связи со сказанным в конце предыдущего параграфа сделанные расчеты нужно было бы дополнить для области более высоких температур по всем прямым или косвенным экспериментальным данным, которые удалось собрать. Только таким путем можно уточнить температурные функции *К* и *L* так, чтобы уравнение (27) допустимо было экстраполировать на температуры, близкие к критической. А это необходимо, чтобы представить уравнение (27) в приведенных параметрах и таким образом в рациональном виде сопоставить величины *К* и *L* для разных жидкостей и в итоге выяснить их зависимость от химического строения жидкости. При подобном сопоставлении, наверное, удалось бы также установить связь этих констант ; другими величинами, характеризующими жидкость, и в первую очередь с критическими параметрами и поверхностным натяжением.

Характерные отступления от закона седьмой степени в области давлений от 0 до 1000-2000 кГ/см2 при должном анализе их, вероятно, позволят выяснить, действительно ли репульсионное давление в этой области выражается через . Аналогичное исследование отступлений от закона Бачинского для области самых больших сжатий, изученных экспериментально, могло бы уста­но­вить, выражается ли третий член репульсионного давления через . Полученные значения констант *К* и *L* приближенно могут быть представлены в виде линейных функций температуры: при повыше­нии температуры репульсионное давление *L/V7*линейно возрастает, а величина*К*(выражающая при большом сжатии сумму аттракционного давления, термического давления и первого члена репульсионного давле­ния) примерно линейно убывает. Однако исследованный температурный интервал слишком мал, чтобы можно было с уверенностью говорить о линейном изменении вели­чин*К*и *L* как о достаточно общей закономерности. На таком небольшом участке и многие другие функции тем­пературы имеют приблизительно линей­ный ход. Поэтому выражения** и *,* понятно, нельзя экстраполировать на темпера­туры, более низкие или более высокие, чем те, для которых они получены.

Применение уравнения состояния (27) в условиях, когда *ρ*≥2*ρ*кр, обусловлено тем, что в координатах *р/ρ*2−*ρ*6 изотермы с точностью эксперимента явля­ются строгими прямыми. Однако средняя погрешность (около 0.05 %) полученная во время применения уравнения состояния к полученным в данной работе экспериментальным данным, не позволила применить уравнение состояния (27), так как в данной работе было предусмотрено вычислить кажущийся молярный объем и в бесконечном разбавлении тоже, и следовательно при описании с помощью уравнения состояния (27) полученных данных кажущегося молярного объема имели бы существенную погрешность. Для устранения указанного недостатка использовался модифицированный вид урав­нения со­с­тояния (27):

. (28)

Было доказано что, с добавлением третьего члена в уравнение Ахундова-Има­нова погрешность описания экспериментальных данных уменьшается до Δ*ρ*/*ρ* = ±(0.001 – 0.003)%.

Коэффициенты *A*(*T*)*, B*(*T*) и *C*(*T*) зависят от температуры в полиномиальной форме:

 (29)

Таблица 1− Значения коэффициентов *ai, bi* и *ci* из уравнений (28,29).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***ai*** | ***bi*** | ***ci*** |
| *a*0 = -4.886161457  *a*1 = 0.020687242265  *a*2 = -0.298720387531·10-4  *a*3 = 0.1535381638·10-7 | *b*0 = -1830.3889178  *b*1 = 20.03830921126  *b*2 = -0.0453395379342  *b*3 = 0.3592737204258·10-4 | *c*0 = 1125.93580168849  *c*1 = -3.8039331455856  *c*2 = -0.786601560407352·10-2  *c*3 = 0.253279238298·10-4 |

**Приложение А**

**Термические свойства бутанола-1**

Изотермический коэффициент сжимаемости любой жидкости является мерой относительного изменения объемаэтой жидкости наизменение давленияпри постоянной температуре. Это свойство рассчитываетсяв соответствиисо следующим уравнением;

(30)

с помощью уравнение состояния (28) изотермический коэффициент сжимаемости рассчитывается следующим образом;

(31)

Расчетные значения изотермического коэффициента сжимаемости для бутанола-1 приведены в таблице (5).

Изоэнтропический коэффициент расширения (табл. 5) вычисляется по формуле;

(32)

Второе свойство, которое можно вычислить из ФУС (29) это коэффициент изобарического теплового расширения, αр. Она характеризует зависимость изменения объема от изменения температуры при постоянном давлении. Это свойство может быть рассчитана в соответствиисо следующим уравнением:

(33)

С помощью уравнения состояния (28) для бутанола-1 коэффициент изобарического теплового расширения, рассчитывается следующим образом.

(34)

где *A΄, B΄* и*C΄*-производныепараметры и вычисляются следующим образом;

(35)

Вычисленные значения коэффициента изобарического теплового расширения для бутанола-1 приведены в таблице (5).

Термический коэффициент давление рассчитывается как отношение коэффициента изобарного теплового расширения αр к коэффициенту изотермической сжимаемости *kТ* при тех же параметрах состояния *Т* и *P* следующим образом.

(36)

Рассчитанные значения термического коэффициента давления бутанола-1 в таблицах 8. Внутреннее давление *рint* является мерой того, насколько внутренняя энергия системы меняется, когда она расширяется или сжимаетсяпри постоянной температуре. Она определяется как частная производнаявнутреннейэнергии п ообъемупри постоянной температуреисвязана с термическим коэффициентом давления γ. Внутреннее давление определя­ется следующим соотношением;

(37)

Расчетные значения внутреннего давления для бутанола-1 приведены в таблице 5.

Для вычисления скорости звука можно применить формулу:

(38)

где -коэффициент адиабатической сжимаемости которая определяется следующим образом:

(39)

где v=1/ρ-удельный объем, тогда скорость звука (39) можно связать с уравнением состояния воспользовавшись соотношением между адиабатической и изотермической сжимаемостями и заменив удельный объем плотностью ρ и поставив в формулу (15) получим:

 (40)

Расчетные значения скорости звука для бутанола-1 приведены в таблицах (3 и 5).

**Приложение Б**

**Калорические свойства бутанола-1**

Измеряяизобарную теплоемкостьс помощьюматематических соотношений, вычисляетсяизохорная теплоемкость, полученная из основных законовтермодинамики:

(41)

где *ср* и *cv*- изобарическая и изохорная теплоемкость соответственно. Уравнение (41) можно переписать следующим образом:

(42)

Расчетные значения изобарического теплового расширения для бутанола-1 приведены в таблице (5). Следующим из важных параметров считаются теплоемкости при постоянном ср давлении и постоянном объеме *c*v при высоких давлениях и температурах, которые могут быть вычислены с помощью основного закона термодинамики.

(43)

(,T) (44)

Изоэнтропический коэффициент расширения вычисляется по формуле;

. (45)

Для сравнения полученных значений теплоемкости при постоянном давлении *c*p(*p*,*T*)/ДЖ∙kг-1∙K-1, постоянном объеме *c*v(*p*,*T*)/ДЖ∙kг-1∙K-1 скорость звука *u*(*p,T*)/m∙s–1 использовался двойной полином:

 (46)

 (47)

 (48)

где: *dij*, *eij* и *fij* коэффициенты уравнений (46-48) и даны в таблицах (2)

Таблица 2 − Значение коэффициента *di* из уравнения (46)

*d*00 = 0.1868549357·105 *d*14 = -0.3302235360·10-6 *d*33 = 0.1530267357·10-8

*d*01 = -0.1197602415·103 *d*20 = 0.7600169267 *d*34 = -0.3300125673·10-11

*d*02 = 1.888413591 *d*21 = -0.7341111556·10-2 *d*40 = 0.6878336438·10-6

*d*03 = -0.01203000307 *d*22 = 0.1142093711·10-3 *d*41 = -0.1219533901·10-7

*d*04 = 0.2594922141·10-4 *d*23 = -0.7269048281·10-6 *d*42 = 0.1912626871·10-9

*d*10 = -0.1911131795·10+3 *d*24 = 0.1567972858·10-8 *d*43 = -0.1213340017·10-11

*d*11 = 1.539949938 *d*30 = -0.1218921298·10-2 *d*44 = 0.2613320093·10-14

*d*12 = -0.02403746519 *d*31 = 0.1540065574·10-4

*d*13 = 0.1530807107·10-3 *d*32 = -0.2405980283·10-6

Значение коэффициента *еi* из уравнения (47)

*e*00 = 0.1478814597·105 *e*30 = -0.8693811317·10-3

*e*01 = 9.817478265 *e*31 = -0.1050650658·10-5

*e*02 = -0.2538154345 *e*32 = 0.2989734714·10-7

*e*03 = 0.1746279087·10-2 *e*33 = -0.2052425888·10-9

*e*04 = -0.3935587013·10-5 *e*34 = 0.4578342635·10-12

*e*10 = -0.1480617377·103  *e*40 = 0.4335952762·10-6

*e*11 = -0.1074775021 *e*41 = 0.9093867121·10-9

*e*12 = 0.3137908478·10-2 *e*42 = -0.2349260195·10-10

*e*13 = -0.2158586699·10-4 *e*43 = 0.1593617724·10-12

*e*14 = 0.4852979375·10-7 *e*44 = -0.3525944423·10-15

*e*20 = 0.5737172756

*e*21 = 0.4813407052·10-3

*e*22 = -0.1448447651·10-4

*e*23 = 0.9973122657·10-7

*e*24 = -0.2235770210·10-9

Значение коэффициента *fi* из уравнения (48)

*f*00 = 0.2212926542·10+4 *f*30 = 0.4030101931·10-5

*f*01 = 0.1706679065·10+2 *f*31 = -0.1524490848·10-5

*f*02 = -0.2153272758*f*32 = 0.2863782211·10-7

*f*03 = 0.1420027417·10-2 *f*33 = -0.1901117487·10-9

*f*04 = -0.3172141794·10-5 *f*34 = 0.4210971060·10-12

*f*10 = -3.094454782 *f*40 = -0.8156520546·10-8

*f*11 = -0.1609357148 *f*41 = 0.1332420636·10-8

*f*12 = 0.2697557883·10-2  *f*42 = -0.2441589316·10-10

*f*13 = -0.1809570051·10-4 *f*43 = 0.1592925925·10-12

*f*14 = 0.4046818769·10-7 *f*44 = -0.3490917298·10-15

*f*20 = -0.6242057808·10-3

*f*21 = 0.7367003277·10-3

*f*22 = -0.1313514429·10-4

*f*23 = 0.8766677049·10-7

*f*24 = -0.1951996770·10-9

Таблица 3 − Скорость звука бутанола-1 при атмосферном давлении

|  |  |
| --- | --- |
| *T*/K | *u*/m⋅s-1 |
| 278.15 | 1308.70 |
| 283.15 | 1290.76 |
| 293.15 | 1256.80 |
| 303.15 | 1222.58 |
| 313.15 | 1189.05 |
| 323.15 | 1156.68 |
| 333.15 | 1123.28 |
| 343.15 | 1090.48 |

Таблица 4 − Изобарная теплоемкость бутанола-1 при атмосферном давлении

|  |  |
| --- | --- |
| *T*/K | *cp*(*p*0*,T*)/Дж⋅kг-1⋅K-1 |
| 253.15 | 2054.45 |
| 263.15 | 2113.28 |
| 273.15 | 2181.86 |
| 283.15 | 2260.13 |
| 293.15 | 2347.60 |
| 298.15 | 2394.51 |
| 313.15 | 2546.04 |
| 333.15 | 2765.69 |
| 353.15 | 2991.25 |
| 373.15 | 3205.90 |
| 393.15 | 3394.00 |
| 413.15 | 3544.18 |
| 433.15 | 3652.76 |
| 453.16 | 3727.61 |
| 468.67 | 3776.68 |

Таблица 5 − Значения давления *P*/MПa, плотности *ρ*/kг⋅m-3, температуры *T*/K, коэффициента изотермической сжимаемости *κ*T⋅106/МПа-1, коэффициента изобарического расширения *α*p⋅106/K-1, разности изобарной и изохорной теплоемкости (*cp-cv*)/ДЖ⋅kг-1⋅K-1, термического коэффициента давления γ/МПа⋅K-1, внутреннего давления *p*int/МПа, изобарной теплоемкости *cp*/ДЖ⋅kг-1⋅K-1, изохорной теплоемкости *cv*/ДЖ⋅kг-1⋅K-1, скорости звука *u*/m⋅s-1 и коэффициента изоэнтропического расширения *κ*s для бутанола-1

*p ρ T κ*T *α*p *cp-cv* γ *p*int *cp cv u κ*s

0.101 839.07 253.15 694.3 845.0 310.29 1.2171 308.0 2054.30 1744.01 1421.98 16797.47

0.324 839.22 253.15 693.2 844.2 310.13 1.2178 308.0 2054.17 1744.04 1422.93 5244.116

5.002 841.88 253.15 671.0 827.4 306.79 1.2331 307.1 2051.45 1744.67 1442.77 350.338

10.025 844.78 253.15 648.8 810.4 303.38 1.2491 306.2 2048.78 1745.40 1463.57 180.475

19.985 849.97 253.15 609.0 779.4 297.07 1.2798 304.0 2044.11 1747.04 1503.47 96.135

29.968 854.93 253.15 574.1 751.5 291.30 1.3091 301.4 2040.17 1748.87 1541.64 67.806

40.005 859.70 253.15 543.0 726.2 285.92 1.3373 298.5 2036.80 1750.88 1578.49 53.550

49.975 864.22 253.15 515.5 703.2 280.94 1.3641 295.3 2033.96 1753.02 1613.72 45.038

60.005 868.59 253.15 490.6 682.0 276.24 1.3900 291.9 2031.52 1755.28 1647.91 39.314

70.003 872.77 253.15 468.2 662.4 271.80 1.4148 288.2 2029.45 1757.64 1680.85 35.228

79.985 876.78 253.15 447.9 644.3 267.60 1.4386 284.2 2027.68 1760.08 1712.69 32.158

89.924 880.64 253.15 429.4 627.5 263.60 1.4614 280.0 2026.18 1762.58 1743.45 29.770

99.967 884.41 253.15 412.3 611.7 259.73 1.4835 275.6 2024.89 1765.16 1773.64 27.832

109.975 888.06 253.15 396.6 596.8 256.01 1.5048 271.0 2023.80 1767.78 1802.90 26.246

119.968 891.62 253.15 382.2 582.9 252.44 1.5252 266.1 2022.88 1770.44 1831.35 24.922

129.968 894.83 253.15 368.7 569.7 248.97 1.5449 261.1 2022.11 1773.14 1859.10 23.796

139.986 898.22 253.15 356.2 557.1 245.60 1.5639 255.9 2021.47 1775.87 1886.22 22.825

150.000 901.23 253.15 344.6 545.3 242.33 1.5822 250.5 2020.94 1778.61 1912.70 21.981

160.000 904.23 253.15 333.8 534.0 239.14 1.5998 245.0 2020.51 1781.37 1938.55 21.240

170.000 907.13 253.15 323.6 523.2 236.03 1.6168 239.3 2020.17 1784.15 1963.84 20.583

180.000 910.16 253.15 314.1 512.9 232.98 1.6332 233.4 2019.91 1786.93 1988.60 19.996

190.000 912.98 253.15 305.1 503.1 230.00 1.6489 227.4 2019.71 1789.71 2012.86 19.469

200.000 915.73 253.15 296.6 493.6 227.07 1.6641 221.3 2019.58 1792.50 2036.63 18.992

0.101 831.93 263.15 732.9 860.1 319.28 1.1735 308.7 2113.46 1794.18 1389.95 15913.27

0.325 832.07 263.15 731.7 859.2 319.09 1.1743 308.7 2113.29 1794.20 1390.93 4953.133

5.006 834.97 263.15 707.2 841.0 315.25 1.1892 307.9 2109.81 1794.56 1411.11 332.081

10.057 837.82 263.15 682.7 822.6 311.32 1.2049 307.0 2106.34 1795.02 1432.34 170.909

19.968 843.23 263.15 639.5 789.6 304.22 1.2347 304.9 2100.30 1796.08 1472.52 91.573

*Продолжение табицы 5*

*p ρ T κ*T *α*p *cp-cv* γ *p*int *cp cv u κ*s

29.986 848.44 263.15 601.3 759.8 297.68 1.2634 302.5 2095.04 1797.36 1511.39 64.643

39.974 853.41 263.15 567.9 733.0 291.72 1.2908 299.7 2090.51 1798.79 1548.45 51.196

50.004 858.17 263.15 538.0 708.7 286.19 1.3171 296.6 2086.55 1800.37 1584.23 43.078

59.957 862.70 263.15 511.5 686.6 281.07 1.3422 293.2 2083.11 1802.04 1618.45 37.692

69.945 867.05 263.15 487.5 666.2 276.25 1.3664 289.6 2080.06 1803.81 1651.62 33.816

79.947 871.23 263.15 465.8 647.3 271.69 1.3897 285.7 2077.36 1805.67 1683.76 30.895

90.004 875.28 263.15 445.9 629.7 267.35 1.4122 281.6 2074.95 1807.60 1715.08 28.604

99.986 879.16 263.15 427.8 613.4 263.24 1.4337 277.3 2072.81 1809.56 1745.25 26.779

109.975 882.73 263.15 411.2 598.1 259.31 1.4544 272.8 2070.88 1811.57 1774.61 25.278

119.975 886.30 263.15 395.9 583.7 255.53 1.4744 268.0 2069.15 1813.62 1803.21 24.020

129.938 889.74 263.15 381.8 570.2 251.91 1.4936 263.1 2067.59 1815.69 1830.97 22.956

139.978 893.10 263.15 368.6 557.4 248.38 1.5123 258.0 2066.17 1817.79 1858.26 22.032

150.000 896.35 263.15 356.3 545.2 244.97 1.5303 252.7 2064.87 1819.91 1884.85 21.229

160.000 899.50 263.15 344.9 533.7 241.66 1.5476 247.3 2063.69 1822.03 1910.78 20.526

170.000 902.67 263.15 334.2 522.8 238.45 1.5643 241.7 2062.61 1824.16 1936.15 19.902

180.000 905.57 263.15 324.2 512.4 235.32 1.5804 235.9 2061.61 1826.29 1960.97 19.345

190.000 908.39 263.15 314.8 502.4 232.26 1.5960 230.0 2060.68 1828.42 1985.28 18.844

200.000 911.12 263.15 305.9 492.8 229.27 1.6110 223.9 2059.82 1830.55 2009.10 18.391

0.101 824.59 273.15 774.8 879.3 330.47 1.1348 309.9 2182.01 1851.54 1358.01 15058.82

1.678 825.71 273.16 765.5 872.5 328.96 1.1397 309.7 2180.59 1851.63 1364.98 916.829

5.202 827.82 273.14 745.3 857.7 325.66 1.1509 309.1 2177.25 1851.60 1380.46 303.298

10.179 830.85 273.14 718.7 838.1 321.26 1.1661 308.3 2173.04 1851.78 1401.75 160.401

19.690 836.38 273.14 673.2 804.0 313.55 1.1943 306.5 2165.83 1852.28 1440.96 88.207

29.981 842.03 273.15 630.5 771.3 306.05 1.2233 304.2 2159.12 1853.07 1481.41 61.640

39.266 846.88 273.15 596.5 744.7 299.87 1.2485 301.7 2153.75 1853.88 1516.46 49.599

50.020 852.18 273.15 561.8 717.0 293.33 1.2763 298.6 2148.28 1854.95 1555.34 41.214

59.118 856.46 273.15 535.6 695.7 288.21 1.2989 295.7 2144.16 1855.95 1587.01 36.487

70.024 861.38 273.15 507.4 672.3 282.50 1.3250 291.9 2139.74 1857.24 1623.64 32.427

79.544 865.48 273.16 485.2 653.5 277.84 1.3468 288.4 2136.34 1858.50 1654.51 29.781

89.971 869.81 273.15 463.2 634.5 273.02 1.3700 284.2 2132.83 1859.81 1687.31 27.520

99.912 873.79 273.13 444.0 617.7 268.67 1.3912 280.1 2129.71 1861.04 1717.66 25.798

109.984 877.46 273.15 426.2 601.8 264.50 1.4119 275.7 2127.05 1862.55 1747.42 24.361

120.586 881.36 273.14 409.1 586.1 260.30 1.4329 270.8 2124.30 1864.00 1777.95 23.104

*Продолжение табицы 5*

*p ρ T κ*T *α*p *cp-cv* γ *p*int *cp cv u κ*s

130.024 884.70 273.15 395.0 573.1 256.73 1.4510 266.3 2122.14 1865.41 1804.38 22.153

139.855 888.07 273.17 381.3 560.2 253.15 1.4691 261.5 2120.09 1866.94 1831.21 21.293

150.000 891.59 273.15 368.2 547.6 249.57 1.4873 256.3 2117.88 1868.31 1858.34 20.524

160.000 894.79 273.15 356.2 535.9 246.17 1.5046 251.0 2115.94 1869.76 1884.41 19.857

170.000 897.89 273.15 345.0 524.8 242.88 1.5213 245.5 2114.10 1871.22 1909.90 19.265

180.000 900.92 273.15 334.5 514.2 239.69 1.5374 239.9 2112.36 1872.67 1934.84 18.737

190.000 903.89 273.15 324.6 504.1 236.59 1.5530 234.2 2110.70 1874.11 1959.27 18.261

200.000 906.81 273.15 315.3 494.4 233.56 1.5681 228.3 2109.10 1875.54 1983.20 17.832

0.101 817.41 283.14 820.6 902.4 343.73 1.0997 311.3 2260.05 1916.32 1326.02 14230.46

2.077 818.74 283.14 807.5 893.1 341.56 1.1059 311.1 2257.81 1916.25 1334.98 702.506

4.864 820.55 283.15 789.9 880.4 338.62 1.1146 310.7 2254.86 1916.24 1347.41 306.271

10.047 823.83 283.15 759.2 858.2 333.40 1.1304 310.0 2249.56 1916.16 1370.07 153.920

20.032 829.90 283.14 706.6 819.5 324.28 1.1598 308.4 2240.36 1916.09 1412.05 82.603

29.984 835.44 283.14 661.5 785.6 316.19 1.1877 306.3 2232.46 1916.26 1451.85 58.740

40.145 840.97 283.15 621.3 754.9 308.78 1.2150 303.9 2225.44 1916.66 1490.65 46.551

50.014 846.05 283.14 586.9 728.0 302.21 1.2404 301.2 2219.24 1917.02 1526.89 39.439

59.909 850.89 283.14 556.3 703.7 296.19 1.2649 298.2 2213.74 1917.55 1561.75 34.640

69.979 855.58 283.14 528.4 681.1 290.53 1.2889 294.9 2208.68 1918.15 1595.94 31.138

79.952 860.00 283.14 503.6 660.6 285.31 1.3117 291.4 2204.11 1918.80 1628.66 28.529

90.011 864.28 283.14 480.9 641.5 280.39 1.3340 287.7 2199.90 1919.51 1660.60 26.475

95.757 866.64 283.14 468.9 631.3 277.71 1.3463 285.4 2197.64 1919.92 1678.40 25.492

109.980 872.29 283.14 441.7 607.8 271.46 1.3759 279.6 2192.44 1920.99 1721.17 23.493

120.143 876.01 283.15 424.3 592.3 267.27 1.3961 275.2 2189.10 1921.83 1750.68 22.347

130.017 879.62 283.15 408.6 578.2 263.40 1.4151 270.7 2185.99 1922.60 1778.60 21.402

139.155 882.85 283.15 395.2 565.9 259.96 1.4322 266.4 2183.26 1923.31 1803.83 20.643

150.000 886.67 283.15 380.4 552.2 256.05 1.4518 261.1 2180.19 1924.15 1833.03 19.859

160.000 889.94 283.15 367.7 540.3 252.58 1.4693 256.0 2177.50 1924.91 1859.30 19.227

170.000 893.12 283.15 355.9 529.0 249.24 1.4862 250.8 2174.92 1925.67 1884.98 18.667

180.000 896.22 283.15 344.9 518.2 246.02 1.5027 245.5 2172.43 1926.41 1910.10 18.167

190.000 899.25 283.15 334.5 508.0 242.89 1.5186 240.0 2170.03 1927.14 1934.70 17.716

200.000 902.24 283.15 324.8 498.3 239.86 1.5340 234.4 2167.70 1927.84 1958.79 17.309

0.101 809.64 293.15 870.8 929.4 359.02 1.0673 312.8 2347.44 1988.42 1293.76 13422.93

1.948 811.19 293.15 857.1 919.8 356.70 1.0731 312.6 2344.97 1988.27 1302.35 706.355

*Продолжение табицы 5*

*p ρ T κ*T *α*p *cp-cv* γ *p*int *cp cv u κ*s

4.800 813.14 293.15 836.9 905.6 353.24 1.0821 312.4 2341.30 1988.06 1315.43 293.157

10.105 816.69 293.15 801.9 880.8 347.20 1.0983 311.9 2334.90 1987.71 1339.19 144.957

19.979 822.99 293.15 744.5 839.4 337.07 1.1274 310.5 2324.28 1987.21 1381.59 78.630

29.989 828.99 293.15 694.7 802.7 328.03 1.1556 308.8 2314.89 1986.86 1422.44 55.929

40.057 834.66 293.15 651.2 770.1 319.94 1.1827 306.6 2306.58 1986.64 1461.63 44.511

50.004 839.95 293.15 613.6 741.4 312.74 1.2084 304.2 2299.26 1986.53 1498.70 37.724

60.037 844.99 293.15 580.0 715.4 306.13 1.2334 301.5 2292.61 1986.48 1534.66 33.144

69.991 849.73 293.15 550.4 691.9 300.14 1.2572 298.6 2286.63 1986.49 1568.95 29.882

80.102 854.31 293.15 523.4 670.2 294.52 1.2806 295.3 2281.06 1986.55 1602.56 27.390

89.985 858.59 293.15 499.6 650.7 289.42 1.3026 291.9 2276.05 1986.63 1634.35 25.486

99.340 862.49 293.14 479.0 633.7 284.89 1.3229 288.5 2271.54 1986.65 1663.56 24.029

110.021 866.79 293.14 457.6 615.6 280.05 1.3452 284.3 2266.81 1986.76 1695.89 22.661

120.944 871.07 293.14 437.8 598.6 275.41 1.3673 279.9 2262.29 1986.88 1727.95 21.506

130.016 874.56 293.14 422.6 585.3 271.76 1.3851 276.0 2258.73 1986.97 1753.86 20.690

139.697 878.03 293.14 407.6 572.0 268.05 1.4036 271.7 2255.10 1987.06 1780.85 19.933

150.000 881.52 293.15 392.8 558.7 264.29 1.4226 267.0 2251.49 1987.20 1808.83 19.231

160.000 884.92 293.15 379.4 546.6 260.79 1.4405 262.3 2248.05 1987.26 1835.37 18.634

170.000 888.25 293.15 367.0 535.1 257.44 1.4580 257.4 2244.73 1987.29 1861.30 18.104

180.000 891.54 293.15 355.4 524.2 254.22 1.4750 252.4 2241.52 1987.30 1886.66 17.631

190.000 894.81 293.15 344.5 513.9 251.11 1.4914 247.2 2238.39 1987.28 1911.48 17.206

200.000 897.80 293.15 334.4 504.0 248.11 1.5075 241.9 2235.34 1987.23 1935.79 16.821

0.101 805.77 298.15 897.8 944.3 367.38 1.0519 313.5 2394.29 2026.92 1277.55 13027.46

0.354 806.44 298.15 895.7 943.0 367.03 1.0527 313.5 2393.92 2026.89 1278.75 3724.703

5.002 809.74 298.15 860.4 918.4 360.95 1.0673 313.2 2387.38 2026.42 1300.45 273.742

10.200 813.28 298.15 824.3 893.0 354.66 1.0833 312.8 2380.62 2025.96 1324.01 139.759

19.968 819.39 298.15 764.5 850.3 344.06 1.1122 311.6 2369.29 2025.23 1366.45 76.633

29.945 825.56 298.15 712.3 812.4 334.57 1.1404 310.1 2359.21 2024.64 1407.62 54.627

40.008 831.41 298.16 666.9 778.7 326.10 1.1676 308.1 2350.33 2024.23 1447.16 43.517

49.927 836.82 298.15 627.7 749.2 318.60 1.1934 305.9 2342.37 2023.77 1484.51 36.931

59.938 841.81 298.14 592.8 722.3 311.74 1.2186 303.4 2335.10 2023.36 1520.75 32.481

70.007 846.87 298.15 561.7 698.1 305.48 1.2428 300.5 2328.64 2023.16 1555.69 29.271

79.984 851.47 298.17 534.1 676.2 299.80 1.2660 297.5 2322.86 2023.06 1589.07 26.877

90.006 855.86 298.15 509.1 656.0 294.48 1.2886 294.2 2317.16 2022.68 1621.59 25.003

*Продолжение табицы 5*

*p ρ T κ*T *α*p *cp-cv* γ *p*int *cp cv u κ*s

99.984 860.04 298.13 486.5 637.5 289.55 1.3104 290.7 2311.86 2022.31 1652.96 23.503

109.957 864.05 298.15 466.0 620.4 284.98 1.3314 287.0 2307.22 2022.24 1683.27 22.268

119.986 867.96 298.16 447.1 604.4 280.66 1.3519 283.1 2302.74 2022.08 1712.92 21.229

129.987 871.94 298.15 429.8 589.6 276.57 1.3719 279.0 2298.34 2021.77 1741.72 20.349

139.957 875.46 298.15 413.9 575.7 272.72 1.3911 274.8 2294.24 2021.51 1769.68 19.593

150.000 879.20 298.15 399.0 562.7 269.04 1.4100 270.4 2290.27 2021.23 1797.14 18.930

160.000 882.65 298.15 385.4 550.4 265.54 1.4283 265.8 2286.47 2020.92 1823.82 18.350

170.000 886.00 298.15 372.6 538.8 262.20 1.4461 261.1 2282.79 2020.59 1849.90 17.835

180.000 889.27 298.15 360.7 527.9 258.99 1.4634 256.3 2279.21 2020.22 1875.40 17.376

190.000 892.37 298.15 349.6 517.5 255.91 1.4802 251.3 2275.73 2019.82 1900.36 16.962

200.000 895.53 298.15 339.2 507.6 252.94 1.4966 246.2 2272.32 2019.38 1924.80 16.588

0.101 794.35 313.18 987.5 995.1 395.25 1.0077 315.5 2546.07 2150.83 1228.33 11868.87

1.032 795.38 313.18 978.6 989.1 393.71 1.0107 315.5 2544.38 2150.67 1232.94 1171.402

5.094 798.49 313.16 941.8 964.3 387.25 1.0238 315.5 2537.10 2149.85 1252.80 245.985

10.017 802.12 313.16 901.1 936.5 380.08 1.0393 315.5 2529.17 2149.10 1276.10 130.378

19.494 808.71 313.16 832.5 889.2 367.81 1.0681 315.0 2515.57 2147.75 1319.03 72.168

29.996 815.52 313.15 768.5 844.2 356.12 1.0985 314.0 2502.42 2146.30 1364.05 50.580

39.610 821.34 313.15 718.4 808.4 346.83 1.1252 312.7 2491.94 2145.11 1403.17 40.823

49.985 827.26 313.16 671.7 774.4 337.99 1.1529 311.1 2481.96 2143.97 1443.44 34.480

59.583 832.43 313.16 633.8 746.4 330.69 1.1776 309.2 2473.56 2142.86 1479.15 30.566

70.016 837.77 313.16 597.4 719.1 323.55 1.2037 306.9 2465.22 2141.67 1516.51 27.518

79.987 842.63 313.16 566.6 695.6 317.39 1.2277 304.5 2457.92 2140.52 1550.79 25.336

90.005 847.29 313.15 538.9 674.2 311.73 1.2511 301.8 2451.01 2139.28 1584.09 23.623

99.447 851.40 313.15 515.2 655.6 306.82 1.2726 299.1 2445.00 2138.17 1614.46 22.319

109.990 856.00 313.15 491.2 636.6 301.77 1.2959 295.8 2438.67 2136.90 1647.33 21.121

118.776 859.70 313.14 473.0 621.9 297.84 1.3148 293.0 2433.57 2135.73 1673.98 20.283

129.984 864.00 313.14 451.7 604.5 293.17 1.3384 289.1 2427.48 2134.31 1707.00 19.372

139.334 867.74 313.14 435.4 591.1 289.54 1.3575 285.8 2422.61 2133.07 1733.80 18.722

150.000 871.70 313.15 418.3 576.7 285.66 1.3788 281.8 2417.35 2131.69 1763.58 18.075

160.000 875.29 313.15 403.4 564.1 282.22 1.3983 277.9 2412.50 2130.28 1790.82 17.545

170.000 878.78 313.15 389.7 552.3 278.96 1.4174 273.9 2407.77 2128.81 1817.42 17.074

180.000 882.16 313.15 376.8 541.2 275.87 1.4361 269.7 2403.17 2127.29 1843.44 16.654

190.000 885.45 313.15 364.9 530.6 272.93 1.4543 265.4 2398.65 2125.72 1868.89 16.277

*Продолжение табицы 5*

*p ρ T κ*T *α*p *cp-cv* γ *p*int *cp cv u κ*s

200.000 888.64 313.15 353.7 520.7 270.13 1.4722 261.0 2394.22 2124.09 1893.82 15.935

0.101 778.27 333.18 1131.8 1076.5 438.33 0.9511 316.8 2765.83 2327.51 1161.52 10395.63

1.960 779.88 333.18 1108.9 1061.8 434.34 0.9575 317.1 2761.43 2327.09 1171.39 545.972

5.199 782.81 333.16 1071.2 1037.5 427.72 0.9685 317.5 2753.92 2326.20 1188.33 212.576

9.969 786.69 333.16 1020.6 1004.6 418.82 0.9843 318.0 2743.98 2325.16 1212.45 115.986

19.538 794.03 333.15 933.2 947.0 403.28 1.0148 318.6 2726.29 2323.02 1258.60 64.369

29.934 801.39 333.15 854.7 894.5 389.18 1.0465 318.7 2710.00 2320.82 1305.71 45.640

39.431 807.65 333.16 794.4 853.5 378.25 1.0743 318.5 2697.14 2318.89 1346.42 37.131

49.980 814.18 333.15 737.2 814.0 367.76 1.1042 317.9 2684.29 2316.53 1389.47 31.450

59.671 819.83 333.14 691.8 782.2 359.37 1.1307 317.0 2673.70 2314.32 1427.23 27.987

69.975 825.49 333.15 649.7 752.3 351.55 1.1580 315.8 2663.65 2312.10 1465.66 25.342

79.949 830.70 333.15 613.7 726.4 344.83 1.1837 314.4 2654.64 2309.80 1501.43 23.424

90.021 835.83 333.15 581.4 702.9 338.76 1.2090 312.8 2646.17 2307.41 1536.30 21.912

99.377 840.18 333.16 554.5 683.1 333.69 1.2319 311.1 2638.91 2305.22 1567.54 20.775

109.976 844.89 333.15 527.0 662.6 328.46 1.2574 308.9 2630.93 2302.47 1601.87 19.716

119.936 849.33 333.15 503.6 645.0 324.01 1.2807 306.7 2623.90 2299.89 1633.11 18.888

129.979 853.55 333.15 482.2 628.7 319.92 1.3038 304.4 2617.11 2297.20 1663.71 18.177

139.864 857.54 333.16 462.9 613.8 316.23 1.3261 301.9 2610.78 2294.55 1693.01 17.574

150.000 861.50 333.15 444.7 599.7 312.72 1.3485 299.3 2604.31 2291.59 1722.31 17.037

160.000 865.28 333.15 428.2 586.7 309.54 1.3703 296.5 2598.20 2288.67 1750.49 16.572

170.200 869.00 333.15 412.6 574.3 306.53 1.3921 293.6 2592.12 2285.59 1778.55 16.151

180.600 872.61 333.15 397.8 562.6 303.68 1.4140 290.5 2586.05 2282.37 1806.50 15.769

190.000 875.91 333.15 385.5 552.6 301.28 1.4335 287.6 2580.65 2279.37 1831.22 15.459

200.000 879.25 333.15 373.1 542.5 298.89 1.4540 284.4 2574.99 2276.10 1856.99 15.160

0.101 760.92 353.17 1314.3 1175.2 487.68 0.8942 315.7 2991.37 2503.69 1093.01 9000.962

1.853 762.73 353.17 1285.2 1157.5 482.71 0.9006 316.2 2985.96 2503.25 1103.13 500.872

4.989 765.75 353.17 1236.6 1127.7 474.35 0.9120 317.1 2976.82 2502.47 1120.86 192.821

9.692 770.08 353.15 1170.4 1087.0 462.94 0.9287 318.3 2964.04 2501.10 1146.67 104.470

19.846 778.89 353.15 1050.9 1012.4 442.24 0.9633 320.4 2940.70 2498.45 1199.20 56.433

29.981 786.79 353.15 955.0 951.6 425.57 0.9963 321.9 2921.26 2495.69 1248.15 40.880

39.185 793.43 353.16 882.8 905.1 413.02 1.0252 322.9 2906.16 2493.15 1290.04 33.696

49.988 800.69 353.16 811.5 858.5 400.63 1.0579 323.6 2890.55 2489.93 1336.65 28.617

59.450 806.64 353.16 758.4 823.4 391.43 1.0858 324.0 2878.41 2486.98 1375.48 25.671

*Продолжение табицы 5*

*p ρ T κ*T *α*p *cp-cv* γ *p*int *cp cv u κ*s

69.981 812.87 353.16 707.3 789.3 382.65 1.1159 324.1 2866.20 2483.55 1416.80 23.317

79.285 818.07 353.16 667.8 762.6 375.92 1.1419 324.0 2856.32 2480.40 1451.83 21.750

90.011 823.92 353.15 627.7 735.2 369.14 1.1713 323.6 2845.68 2476.54 1490.72 20.339

99.225 828.51 353.13 597.0 714.0 364.01 1.1960 323.1 2837.02 2473.00 1522.98 19.366

109.980 833.60 353.14 565.0 691.7 358.78 1.2244 322.4 2827.78 2469.00 1559.38 18.433

119.631 837.96 353.14 539.2 673.7 354.63 1.2494 321.6 2819.84 2465.21 1590.97 17.733

130.024 842.68 353.14 514.0 655.9 350.66 1.2759 320.5 2811.66 2461.00 1624.00 17.093

139.651 846.78 353.13 492.8 640.7 347.38 1.3001 319.5 2804.26 2456.89 1653.77 16.584

150.000 851.02 353.15 472.0 625.8 344.27 1.3258 318.2 2796.85 2452.58 1684.88 16.106

160.000 854.97 353.15 453.6 612.4 341.57 1.3503 316.9 2789.71 2448.14 1714.22 15.703

170.200 858.87 353.15 436.2 599.8 339.11 1.3750 315.4 2782.58 2443.48 1743.44 15.338

180.600 862.71 353.15 419.9 587.8 336.87 1.3999 313.8 2775.46 2438.59 1772.53 15.008

190.000 866.18 353.15 406.2 577.7 335.06 1.4223 312.3 2769.12 2434.07 1798.27 14.740

200.000 869.55 353.15 392.6 567.7 333.33 1.4458 310.6 2762.47 2429.13 1825.10 14.482

0.101 742.42 373.12 1550.7 1294.3 542.89 0.8347 311.3 3205.53 2662.64 1022.58686.821

1.904 744.57 373.12 1509.1 1270.5 536.03 0.8419 312.2 3198.25 2662.23 1034.04 418.097

5.245 748.22 373.14 1438.2 1229.6 524.30 0.8550 313.8 3185.88 2661.58 1054.71 158.681

9.814 752.95 373.16 1352.3 1179.7 510.06 0.8724 315.7 3170.64 2660.58 1081.87 89.798

19.762 762.64 373.15 1198.0 1089.0 484.44 0.9090 319.4 3142.21 2657.76 1137.63 49.937

29.991 771.49 373.16 1074.2 1015.0 463.96 0.9449 322.6 3118.64 2654.68 1190.67 36.465

39.380 778.90 373.18 982.3 959.3 448.88 0.9766 325.1 3100.54 2651.66 1236.26 30.228

49.988 786.67 373.16 896.4 906.6 434.94 1.0114 327.4 3082.58 2647.64 1284.95 25.984

59.231 792.97 373.15 833.5 867.6 424.91 1.0408 329.2 3068.87 2643.95 1325.17 23.511

69.992 799.83 373.15 771.1 828.4 415.19 1.0743 330.9 3054.68 2639.49 1369.79 21.442

79.380 805.46 373.14 724.2 798.7 408.06 1.1029 332.2 3043.36 2635.30 1407.06 20.090

89.999 811.62 373.15 677.8 769.1 401.27 1.1346 333.4 3031.75 2630.48 1447.51 18.893

99.304 816.45 373.14 642.0 746.0 396.19 1.1620 334.3 3022.12 2625.93 1481.70 18.052

110.007 821.92 373.15 605.5 722.4 391.25 1.1931 335.2 3011.88 2620.63 1519.65 17.255

120.517 827.03 373.15 573.6 701.6 387.16 1.2232 335.9 3002.30 2615.14 1555.69 16.609

130.026 831.46 373.15 547.5 684.5 384.01 1.2502 336.5 2993.99 2609.99 1587.38 16.114

140.013 835.92 373.15 522.7 668.1 381.20 1.2782 336.9 2985.61 2604.41 1619.68 15.663

150.000 840.21 373.15 500.2 653.2 378.84 1.3059 337.3 2977.49 2598.65 1651.13 15.271

160.000 844.34 373.15 479.6 639.5 376.86 1.3335 337.6 2969.58 2592.72 1681.84 14.927

*Продолжение табицы 5*

*p ρ T κ*T *α*p *cp-cv* γ *p*int *cp cv u κ*s

170.200 848.41 373.15 460.3 626.6 375.20 1.3614 337.8 2961.70 2586.49 1712.41 14.617

180.600 852.42 373.15 442.2 614.5 373.84 1.3897 338.0 2953.81 2579.97 1742.86 14.337

190.000 855.92 373.15 427.1 604.3 372.86 1.4151 338.1 2946.79 2573.93 1769.81 14.110

200.000 859.53 373.15 412.1 594.3 372.05 1.4420 338.1 2939.41 2567.36 1797.90 13.891

0.109 722.38 393.17 1868.2 1440.6 604.56 0.7711 303.1 3394.23 2789.67 949.48 5975.052

1.967 724.96 393.17 1806.1 1407.4 594.85 0.7793 304.4 3384.25 2789.40 962.64 341.507

4.985 728.85 393.13 1713.6 1357.8 580.34 0.7923 306.5 3369.03 2788.70 983.53 141.423

9.978 734.80 393.15 1582.2 1286.5 559.72 0.8131 309.7 3347.54 2787.82 1016.30 76.061

20.067 745.90 393.12 1372.1 1171.0 526.80 0.8535 315.4 3311.91 2785.12 1077.97 43.188

29.997 755.43 393.14 1216.3 1083.8 502.62 0.8911 320.3 3284.71 2782.09 1133.57 32.360

40.107 764.24 393.16 1091.9 1013.2 483.65 0.9279 324.7 3262.13 2778.47 1186.14 26.809

49.963 772.11 393.15 993.8 956.8 469.03 0.9628 328.5 3243.36 2774.33 1234.30 23.545

59.133 778.89 393.14 917.8 912.6 458.04 0.9944 331.8 3228.15 2770.11 1276.76 21.473

69.954 786.46 393.15 842.5 868.5 447.60 1.0309 335.3 3212.43 2764.83 1324.32 19.715

79.272 792.37 393.16 787.2 835.8 440.32 1.0617 338.2 3200.29 2759.96 1363.42 18.581

89.997 798.77 393.15 732.3 803.1 433.48 1.0967 341.2 3187.39 2753.91 1406.60 17.562

99.518 804.15 393.15 689.8 777.7 428.57 1.1274 343.7 3176.87 2748.29 1443.44 16.838

109.954 809.75 393.15 648.8 753.0 424.22 1.1606 346.3 3166.07 2741.85 1482.42 16.187

119.526 814.82 393.13 615.3 732.8 420.99 1.1908 348.6 3156.57 2735.58 1517.04 15.689

129.957 819.88 393.15 582.8 713.0 418.29 1.2234 351.0 3146.98 2728.70 1553.55 15.227

139.180 824.21 393.14 556.8 697.2 416.40 1.2521 353.1 3138.66 2722.26 1584.97 14.877

150.000 829.08 393.15 529.3 680.4 414.80 1.2856 355.4 3129.37 2714.57 1620.82 14.520

160.000 833.39 393.15 506.2 666.3 413.78 1.3164 357.5 3120.96 2707.17 1653.15 14.235

170.200 837.63 393.15 484.7 653.2 413.17 1.3476 359.6 3112.60 2699.43 1685.27 13.977

180.600 841.79 393.15 464.6 640.9 412.93 1.3794 361.7 3104.25 2691.32 1717.27 13.745

190.000 845.43 393.15 447.9 630.7 413.01 1.4080 363.6 3096.82 2683.81 1745.59 13.558

200.000 849.17 393.15 431.5 620.7 413.38 1.4384 365.5 3089.02 2675.64 1775.14 13.378

0.209 700.62 413.12 2301.8 1620.9 672.81 0.7042 290.7 3544.03 2871.21 874.70 2565.812

2.376 704.32 413.12 2192.9 1567.3 657.00 0.7147 292.9 3528.27 2871.27 891.96 235.840

5.049 708.29 413.17 2074.0 1508.1 639.68 0.7271 295.4 3511.05 2871.37 912.35 116.769

10.030 715.31 413.16 1883.9 1412.8 611.96 0.7499 299.8 3482.91 2870.95 948.82 64.203

20.004 727.84 413.14 1596.1 1266.1 570.09 0.7932 307.7 3439.19 2869.10 1015.82 37.542

29.980 738.71 413.15 1388.3 1158.0 540.26 0.8341 314.6 3406.53 2866.27 1076.54 28.554

*Продолжение табицы 5*

*p ρ T κ*T *α*p *cp-cv* γ *p*int *cp cv u κ*s

39.989 748.31 413.16 1229.9 1074.3 518.07 0.8735 320.9 3380.62 2862.56 1132.74 24.012

50.014 757.08 413.15 1105.1 1007.5 501.19 0.9117 326.7 3359.25 2858.06 1185.20 21.266

60.075 765.13 413.14 1003.8 952.7 488.15 0.9491 332.0 3341.07 2852.92 1234.73 19.420

69.971 772.43 413.15 921.5 907.7 478.19 0.9850 337.0 3325.58 2847.39 1280.85 18.114

80.072 779.45 413.16 850.8 868.8 470.28 1.0212 341.8 3311.54 2841.27 1325.70 17.109

89.990 785.72 413.15 791.5 836.0 464.23 1.0563 346.4 3298.99 2834.76 1367.89 16.340

100.028 791.90 413.14 739.5 807.1 459.53 1.0914 350.9 3287.32 2827.79 1408.91 15.715

109.979 797.56 413.15 694.6 782.0 456.08 1.1259 355.2 3276.64 2820.56 1448.08 15.207

120.061 802.94 413.14 654.5 759.5 453.53 1.1606 359.4 3266.38 2812.85 1486.48 14.779

130.033 808.07 413.15 619.2 739.8 451.87 1.1947 363.6 3256.82 2804.96 1523.25 14.420

139.665 812.79 413.16 588.7 722.7 450.93 1.2276 367.5 3247.99 2797.06 1557.78 14.123

150.000 817.65 413.15 559.2 706.1 450.52 1.2627 371.7 3238.76 2788.24 1593.85 13.848

160.000 822.15 413.15 533.4 691.7 450.69 1.2966 375.7 3230.15 2779.47 1627.86 13.616

170.200 826.55 413.15 509.5 678.3 451.33 1.3312 379.8 3221.59 2770.26 1661.72 13.410

180.600 830.87 413.15 487.3 665.9 452.44 1.3664 383.9 3213.05 2760.61 1695.46 13.224

190.000 834.64 413.15 468.9 655.6 453.79 1.3982 387.7 3205.45 2751.67 1725.40 13.076

200.000 838.50 413.15 450.8 645.5 455.54 1.4320 391.6 3197.50 2741.96 1756.55 12.935

0.368 676.41 433.18 2927.3 1854.4 751.41 0.6335 274.1 3653.03 2901.61 796.90 1168.705

2.600 680.92 433.18 2747.8 1773.7 727.73 0.6455 277.0 3630.05 2902.31 817.23 175.069

5.072 686.28 433.14 2573.4 1694.8 704.65 0.6586 280.2 3607.53 2902.88 838.97 95.211

10.400 694.94 433.16 2269.9 1555.3 664.28 0.6852 286.4 3567.80 2903.52 882.60 52.053

20.041 709.03 433.13 1876.2 1370.9 611.98 0.7307 296.4 3514.96 2902.99 954.13 32.202

29.979 721.27 433.15 1596.9 1236.9 575.42 0.7746 305.5 3476.18 2900.76 1020.07 25.031

40.073 732.15 433.16 1389.9 1135.7 549.13 0.8172 313.9 3446.30 2897.16 1081.24 21.358

50.400 742.08 433.15 1228.6 1055.8 529.62 0.8593 321.8 3421.99 2892.37 1139.18 19.106

60.074 750.50 433.14 1109.1 995.8 516.06 0.8979 328.8 3403.11 2887.04 1190.03 17.692

69.988 758.40 433.14 1009.4 945.3 505.67 0.9366 335.7 3386.55 2880.89 1239.21 16.640

79.978 765.75 433.14 926.0 902.8 497.88 0.9749 342.3 3371.93 2874.05 1286.32 15.842

90.003 772.60 433.14 855.5 866.6 492.18 1.0130 348.8 3358.81 2866.64 1331.47 15.218

99.967 778.98 433.13 795.5 835.7 488.17 1.0506 355.1 3346.93 2858.76 1374.55 14.723

110.700 785.41 433.14 739.9 807.0 485.39 1.0907 361.7 3335.17 2849.78 1419.14 14.289

119.978 790.66 433.14 697.8 785.2 484.01 1.1252 367.4 3325.65 2841.64 1456.40 13.978

130.025 795.98 433.14 657.5 764.3 483.43 1.1625 373.5 3315.89 2832.46 1495.53 13.693

*Продолжение табицы 5*

*p ρ T κ*T *α*p *cp-cv* γ *p*int *cp cv u κ*s

139.563 800.86 433.16 623.4 746.7 483.67 1.1977 379.2 3307.08 2823.41 1531.59 13.462

150.000 805.98 433.14 590.0 729.4 484.58 1.2363 385.5 3297.75 2813.17 1570.05 13.246

160.000 810.66 433.14 561.2 714.6 486.10 1.2732 391.5 3289.14 2803.04 1605.93 13.067

170.200 815.23 433.14 534.7 700.9 488.19 1.3108 397.6 3280.61 2792.42 1641.67 12.909

180.600 819.70 433.14 510.2 688.4 490.82 1.3493 403.8 3272.12 2781.29 1677.30 12.768

190.000 823.59 433.14 489.9 678.0 493.58 1.3840 409.5 3264.58 2771.00 1708.85 12.657

200.000 827.58 433.14 470.1 668.0 496.88 1.4211 415.5 3256.69 2759.81 1741.79 12.552

0.605 650.17 453.16 3868.9 2168.3 845.68 0.5605 253.4 3727.89 2882.21 716.50 552.575

1.671 654.55 453.16 3714.8 2106.2 827.70 0.5670 255.3 3710.77 2883.08 727.95 207.347

5.104 661.96 453.17 3297.1 1936.1 778.61 0.5872 261.0 3663.95 2885.34 762.91 75.458

10.112 671.94 453.17 2838.9 1746.0 724.26 0.6150 268.6 3611.78 2887.51 809.77 43.572

20.085 689.11 453.15 2234.7 1488.7 652.28 0.6662 281.8 3541.23 2888.95 892.25 27.310

30.019 703.09 453.16 1851.0 1320.4 607.14 0.7133 293.2 3494.77 2887.63 964.38 21.780

39.961 715.11 453.17 1583.0 1200.2 576.69 0.7582 303.6 3461.08 2884.40 1029.60 18.969

49.999 725.78 453.17 1382.9 1108.9 555.20 0.8018 313.4 3434.90 2879.69 1090.17 17.251

59.965 735.38 453.17 1229.9 1038.1 540.06 0.8441 322.5 3413.93 2873.87 1146.17 16.108

70.015 744.02 453.17 1107.1 980.7 529.19 0.8858 331.4 3396.23 2867.04 1199.28 15.282

79.964 751.84 453.18 1008.0 934.0 521.66 0.9265 339.9 3381.11 2859.46 1249.13 14.669

89.988 759.15 453.16 925.0 894.6 516.52 0.9671 348.3 3367.70 2851.19 1297.00 14.190

99.896 765.86 453.14 855.6 861.5 513.34 1.0070 356.4 3355.75 2842.41 1342.34 13.813

109.975 772.23 453.15 795.1 832.7 511.71 1.0472 364.6 3344.60 2832.89 1386.67 13.501

119.047 777.64 453.15 747.7 810.0 511.34 1.0833 371.9 3335.26 2823.92 1425.25 13.269

129.981 783.79 453.15 697.7 786.1 512.06 1.1267 380.6 3324.68 2812.62 1470.29 13.035

139.360 788.79 453.15 659.8 768.0 513.53 1.1639 388.1 3316.07 2802.55 1507.77 12.867

150.000 794.17 453.15 621.7 749.8 516.01 1.2061 396.5 3306.73 2790.72 1549.15 12.706

160.000 798.99 453.15 589.7 734.6 519.02 1.2457 404.5 3298.28 2779.26 1587.04 12.578

170.200 803.68 453.15 560.3 720.7 522.69 1.2862 412.7 3289.93 2767.24 1624.80 12.466

180.600 808.26 453.15 533.3 708.0 526.97 1.3276 421.0 3281.63 2754.66 1662.45 12.369

190.000 812.23 453.15 511.0 697.6 531.25 1.3651 428.6 3274.29 2743.04 1695.81 12.294

200.000 816.30 453.15 489.3 687.5 536.20 1.4050 436.7 3266.62 2730.42 1730.67 12.225

0.856 627.64 468.65 4974.0 2500.5 936.80 0.5027 234.7 3777.24 2840.44 652.04 312.329

1.676 630.96 468.65 4777.7 2428.7 916.43 0.5083 236.6 3758.00 2841.57 662.14 165.160

5.001 640.67 468.65 4126.2 2187.3 848.06 0.5301 243.4 3693.45 2845.40 700.69 62.904

*Окончание табицы 5*

*p ρ T κ*T *α*p *cp-cv* γ *p*int *cp cv u κ*s

9.998 652.94 468.67 3437.4 1925.8 774.54 0.5603 252.6 3623.79 2849.24 752.81 37.007

20.003 672.63 468.67 2591.4 1593.9 683.16 0.6151 268.3 3535.81 2852.65 843.29 23.911

29.990 688.74 468.67 2089.6 1389.8 629.39 0.6651 281.7 3481.63 2852.24 921.21 19.479

39.967 701.64 468.67 1754.8 1250.0 594.79 0.7123 293.9 3444.10 2849.31 990.83 17.234

50.004 713.20 468.67 1513.4 1147.1 571.36 0.7580 305.2 3415.89 2844.53 1054.82 15.869

59.984 723.50 468.67 1332.4 1068.7 555.39 0.8021 315.9 3393.75 2838.36 1113.82 14.960

70.025 732.65 468.68 1190.1 1006.3 544.41 0.8456 326.3 3375.40 2830.98 1169.47 14.307

79.999 740.92 468.69 1076.4 956.0 537.16 0.8881 336.3 3359.88 2822.73 1221.73 13.823

90.020 748.57 468.68 982.4 914.1 532.60 0.9305 346.1 3346.29 2813.69 1271.75 13.448

99.992 755.62 468.67 904.0 879.0 530.19 0.9724 355.7 3334.20 2804.01 1319.43 13.155

109.980 762.19 468.68 837.3 849.1 529.48 1.0141 365.3 3323.15 2793.67 1365.25 12.917

119.578 768.10 468.70 782.0 824.2 530.10 1.0540 374.4 3313.31 2783.20 1407.77 12.730

129.979 774.15 468.69 729.8 800.8 531.92 1.0972 384.3 3303.38 2771.46 1452.42 12.565

139.688 779.49 468.68 687.1 781.6 534.55 1.1375 393.5 3294.63 2760.07 1492.88 12.437

150.000 784.86 468.67 646.9 763.6 538.18 1.1804 403.2 3285.76 2747.57 1534.69 12.324

160.500 790.05 468.67 610.6 747.4 542.65 1.2241 413.2 3277.07 2734.42 1576.17 12.230

170.000 794.53 468.67 581.1 734.3 547.27 1.2636 422.2 3269.46 2722.20 1612.85 12.158

180.000 799.04 468.67 553.0 721.8 552.65 1.3054 431.8 3261.68 2709.03 1650.67 12.096

190.000 803.36 468.67 527.5 710.6 558.50 1.3472 441.4 3254.07 2695.57 1687.76 12.045

200.000 807.51 468.67 504.3 700.5 564.77 1.3892 451.1 3246.62 2681.84 1724.18 12.004

Таблица 6 − Значения плотности бутанол-1 (ρ, kг/м3)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *p* | *ρ* | *T* |  | *p* | *ρ* | *T* |  | *p* | *ρ* | *T* |
| 0.101 | 839.070 | 253.150 |  | 99.912 | 873.790 | 273.130 |  | 0.354 | 806.440 | 298.150 |
| 0.324 | 839.220 | 253.150 |  | 109.984 | 877.460 | 273.150 |  | 5.002 | 809.740 | 298.150 |
| 5.002 | 841.880 | 253.150 |  | 120.586 | 881.360 | 273.140 |  | 10.200 | 813.280 | 298.150 |
| 10.025 | 844.780 | 253.150 |  | 130.024 | 884.700 | 273.150 |  | 19.968 | 819.390 | 298.150 |
| 19.985 | 849.970 | 253.150 |  | 139.855 | 888.070 | 273.170 |  | 29.945 | 825.560 | 298.150 |
| 29.968 | 854.930 | 253.150 |  | 150.000 | 891.590 | 273.150 |  | 40.008 | 831.410 | 298.160 |
| 40.005 | 859.700 | 253.150 |  | 160.000 | 894.790 | 273.150 |  | 49.927 | 836.820 | 298.150 |
| 49.975 | 864.220 | 253.150 |  | 170.000 | 897.890 | 273.150 |  | 59.938 | 841.810 | 298.140 |
| 60.005 | 868.590 | 253.150 |  | 180.000 | 900.920 | 273.150 |  | 70.007 | 846.870 | 298.150 |
| 70.003 | 872.770 | 253.150 |  | 190.000 | 903.890 | 273.150 |  | 79.984 | 851.470 | 298.170 |
| 79.985 | 876.780 | 253.150 |  | 200.000 | 906.810 | 273.150 |  | 90.006 | 855.860 | 298.150 |
| 89.924 | 880.640 | 253.150 |  | 0.101 | 817.410 | 283.140 |  | 99.984 | 860.040 | 298.130 |
| 99.967 | 884.410 | 253.150 |  | 2.077 | 818.740 | 283.140 |  | 109.957 | 864.050 | 298.150 |
| 109.975 | 888.060 | 253.150 |  | 4.864 | 820.550 | 283.150 |  | 119.986 | 867.960 | 298.160 |
| 119.968 | 891.620 | 253.150 |  | 10.047 | 823.830 | 283.150 |  | 129.987 | 871.940 | 298.150 |
| 129.968 | 894.830 | 253.150 |  | 20.032 | 829.900 | 283.140 |  | 139.957 | 875.460 | 298.150 |
| 139.986 | 898.220 | 253.150 |  | 29.984 | 835.440 | 283.140 |  | 150.000 | 879.200 | 298.150 |
| 150.000 | 901.230 | 253.150 |  | 40.145 | 840.970 | 283.150 |  | 160.000 | 882.650 | 298.150 |
| 160.000 | 904.230 | 253.150 |  | 50.014 | 846.050 | 283.140 |  | 170.000 | 886.000 | 298.150 |
| 170.000 | 907.130 | 253.150 |  | 59.909 | 850.890 | 283.140 |  | 180.000 | 889.270 | 298.150 |
| 180.000 | 910.160 | 253.150 |  | 69.979 | 855.580 | 283.140 |  | 190.000 | 892.370 | 298.150 |
| 190.000 | 912.980 | 253.150 |  | 79.952 | 860.000 | 283.140 |  | 200.000 | 895.530 | 298.150 |
| 200.000 | 915.730 | 253.150 |  | 90.011 | 864.280 | 283.140 |  | 0.101 | 794.350 | 313.180 |
| 0.101 | 831.930 | 263.150 |  | 95.757 | 866.640 | 283.140 |  | 1.032 | 795.380 | 313.180 |
| 0.325 | 832.070 | 263.150 |  | 109.980 | 872.290 | 283.140 |  | 5.094 | 798.490 | 313.160 |
| 5.006 | 834.970 | 263.150 |  | 120.143 | 876.010 | 283.150 |  | 10.017 | 802.120 | 313.160 |
| 10.057 | 837.820 | 263.150 |  | 130.017 | 879.620 | 283.150 |  | 19.494 | 808.710 | 313.160 |
| 19.968 | 843.230 | 263.150 |  | 139.155 | 882.850 | 283.150 |  | 29.996 | 815.520 | 313.150 |
| 29.986 | 848.440 | 263.150 |  | 150.000 | 886.670 | 283.150 |  | 39.610 | 821.340 | 313.150 |
| 39.974 | 853.410 | 263.150 |  | 160.000 | 889.940 | 283.150 |  | 49.985 | 827.260 | 313.160 |

*Продолжение табицы 6*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *p* | *ρ* | *T* |  | *p* | *ρ* | *T* |  | *p* | *ρ* | *T* |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 50.004 | 858.170 | 263.150 |  | 170.000 | 893.120 | 283.150 |  | 59.583 | 832.430 | 313.160 |
| 59.957 | 862.700 | 263.150 |  | 180.000 | 896.220 | 283.150 |  | 70.016 | 837.770 | 313.160 |
| 69.945 | 867.050 | 263.150 |  | 190.000 | 899.250 | 283.150 |  | 79.987 | 842.630 | 313.160 |
| 79.947 | 871.230 | 263.150 |  | 200.000 | 902.240 | 283.150 |  | 90.005 | 847.290 | 313.150 |
| 90.004 | 875.280 | 263.150 |  | 0.101 | 809.640 | 293.150 |  | 99.447 | 851.400 | 313.150 |
| 99.986 | 879.160 | 263.150 |  | 1.948 | 811.190 | 293.150 |  | 109.990 | 856.000 | 313.150 |
| 109.975 | 882.730 | 263.150 |  | 4.800 | 813.140 | 293.150 |  | 118.776 | 859.700 | 313.140 |
| 119.975 | 886.300 | 263.150 |  | 10.105 | 816.690 | 293.150 |  | 129.984 | 864.000 | 313.140 |
| 129.938 | 889.740 | 263.150 |  | 19.979 | 822.990 | 293.150 |  | 139.334 | 867.740 | 313.140 |
| 139.978 | 893.100 | 263.150 |  | 29.989 | 828.990 | 293.150 |  | 150.000 | 871.700 | 313.150 |
| 150.000 | 896.350 | 263.150 |  | 40.057 | 834.660 | 293.150 |  | 160.000 | 875.290 | 313.150 |
| 160.000 | 899.500 | 263.150 |  | 50.004 | 839.950 | 293.150 |  | 170.000 | 878.780 | 313.150 |
| 170.000 | 902.670 | 263.150 |  | 60.037 | 844.990 | 293.150 |  | 180.000 | 882.160 | 313.150 |
| 180.000 | 905.570 | 263.150 |  | 69.991 | 849.730 | 293.150 |  | 190.000 | 885.450 | 313.150 |
| 190.000 | 908.390 | 263.150 |  | 80.102 | 854.310 | 293.150 |  | 200.000 | 888.640 | 313.150 |
| 200.000 | 911.120 | 263.150 |  | 89.985 | 858.590 | 293.150 |  | 0.101 | 778.270 | 333.180 |
| 0.101 | 824.590 | 273.150 |  | 99.340 | 862.490 | 293.140 |  | 1.960 | 779.880 | 333.180 |
| 1.678 | 825.710 | 273.160 |  | 110.021 | 866.790 | 293.140 |  | 5.199 | 782.810 | 333.160 |
| 5.202 | 827.820 | 273.140 |  | 120.944 | 871.070 | 293.140 |  | 9.969 | 786.690 | 333.160 |
| 10.179 | 830.850 | 273.140 |  | 130.016 | 874.560 | 293.140 |  | 19.538 | 794.030 | 333.150 |
| 19.690 | 836.380 | 273.140 |  | 139.697 | 878.030 | 293.140 |  | 29.934 | 801.390 | 333.150 |
| 29.981 | 842.030 | 273.150 |  | 150.000 | 881.520 | 293.150 |  | 39.431 | 807.650 | 333.160 |
| 39.266 | 846.880 | 273.150 |  | 160.000 | 884.920 | 293.150 |  | 49.980 | 814.180 | 333.150 |
| 50.020 | 852.180 | 273.150 |  | 170.000 | 888.250 | 293.150 |  | 59.671 | 819.830 | 333.140 |
| 59.118 | 856.460 | 273.150 |  | 180.000 | 891.540 | 293.150 |  | 69.975 | 825.490 | 333.150 |
| 70.024 | 861.380 | 273.150 |  | 190.000 | 894.810 | 293.150 |  | 79.949 | 830.700 | 333.150 |
| 79.544 | 865.480 | 273.160 |  | 200.000 | 897.800 | 293.150 |  | 90.021 | 835.830 | 333.150 |
| 89.971 | 869.810 | 273.150 |  | 0.101 | 805.770 | 298.150 |  | 99.377 | 840.180 | 333.160 |
| 109.976 | 844.890 | 333.150 |  | 4.985 | 728.850 | 393.130 |  | 119.978 | 790.660 | 433.140 |

*Продолжение табицы 6*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *p* | *ρ* | *T* |  | *p* | *ρ* | *T* |  | *p* | *ρ* | *T* |
| 119.936 | 849.330 | 333.150 |  | 9.978 | 734.800 | 393.150 |  | 130.025 | 795.980 | 433.140 |
| 129.979 | 853.550 | 333.150 |  | 20.067 | 745.900 | 393.120 |  | 139.563 | 800.860 | 433.160 |
| 139.864 | 857.540 | 333.160 |  | 29.997 | 755.430 | 393.140 |  | 150.000 | 805.980 | 433.140 |
| 150.000 | 861.500 | 333.150 |  | 40.107 | 764.240 | 393.160 |  | 160.000 | 810.660 | 433.140 |
| 160.000 | 865.280 | 333.150 |  | 49.963 | 772.110 | 393.150 |  | 170.200 | 815.230 | 433.140 |
| 170.200 | 869.000 | 333.150 |  | 59.133 | 778.890 | 393.140 |  | 180.600 | 819.700 | 433.140 |
| 180.600 | 872.610 | 333.150 |  | 69.954 | 786.460 | 393.150 |  | 190.000 | 823.590 | 433.140 |
| 190.000 | 875.910 | 333.150 |  | 79.272 | 792.370 | 393.160 |  | 200.000 | 827.580 | 433.140 |
| 200.000 | 879.250 | 333.150 |  | 89.997 | 798.770 | 393.150 |  | 0.605 | 650.170 | 453.160 |
| 0.101 | 760.920 | 353.170 |  | 99.518 | 804.150 | 393.150 |  | 1.671 | 654.550 | 453.160 |
| 1.853 | 762.730 | 353.170 |  | 109.954 | 809.750 | 393.150 |  | 5.104 | 661.960 | 453.170 |
| 4.989 | 765.750 | 353.170 |  | 119.526 | 814.820 | 393.130 |  | 10.112 | 671.940 | 453.170 |
| 9.692 | 770.080 | 353.150 |  | 129.957 | 819.880 | 393.150 |  | 20.085 | 689.110 | 453.150 |
| 19.846 | 778.890 | 353.150 |  | 139.180 | 824.210 | 393.140 |  | 30.019 | 703.090 | 453.160 |
| 29.981 | 786.790 | 353.150 |  | 150.000 | 829.080 | 393.150 |  | 39.961 | 715.110 | 453.170 |
| 39.185 | 793.430 | 353.160 |  | 160.000 | 833.390 | 393.150 |  | 49.999 | 725.780 | 453.170 |
| 49.988 | 800.690 | 353.160 |  | 170.200 | 837.630 | 393.150 |  | 59.965 | 735.380 | 453.170 |
| 59.450 | 806.640 | 353.160 |  | 180.600 | 841.790 | 393.150 |  | 70.015 | 744.020 | 453.170 |
| 69.981 | 812.870 | 353.160 |  | 190.000 | 845.430 | 393.150 |  | 79.964 | 751.840 | 453.180 |
| 79.285 | 818.070 | 353.160 |  | 200.000 | 849.170 | 393.150 |  | 89.988 | 759.150 | 453.160 |
| 90.011 | 823.920 | 353.150 |  | 0.209 | 700.620 | 413.120 |  | 99.896 | 765.860 | 453.140 |
| 99.225 | 828.510 | 353.130 |  | 2.376 | 704.320 | 413.120 |  | 109.975 | 772.230 | 453.150 |
| 109.980 | 833.600 | 353.140 |  | 5.049 | 708.290 | 413.170 |  | 119.047 | 777.640 | 453.150 |
| 119.631 | 837.960 | 353.140 |  | 10.030 | 715.310 | 413.160 |  | 129.981 | 783.790 | 453.150 |
| 130.024 | 842.680 | 353.140 |  | 20.004 | 727.840 | 413.140 |  | 139.360 | 788.790 | 453.150 |
| 139.651 | 846.780 | 353.130 |  | 29.980 | 738.710 | 413.150 |  | 150.000 | 794.170 | 453.150 |
| 150.000 | 851.020 | 353.150 |  | 39.989 | 748.310 | 413.160 |  | 160.000 | 798.990 | 453.150 |
| 160.000 | 854.970 | 353.150 |  | 50.014 | 757.080 | 413.150 |  | 170.200 | 803.680 | 453.150 |
| 170.200 | 858.870 | 353.150 |  | 60.075 | 765.130 | 413.140 |  | 180.600 | 808.260 | 453.150 |
| 180.600 | 862.710 | 353.150 |  | 69.971 | 772.430 | 413.150 |  | 190.000 | 812.230 | 453.150 |

*Окончание табицы 6*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *p* | *ρ* | *T* |  | *p* | *ρ* | *T* |  | *p* | *ρ* | *T* |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 190.000 | 866.180 | 353.150 |  | 80.072 | 779.450 | 413.160 |  | 200.000 | 816.300 | 453.150 |
| 200.000 | 869.550 | 353.150 |  | 89.990 | 785.720 | 413.150 |  | 0.856 | 627.640 | 468.650 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.101 | 742.420 | 373.120 |  | 100.028 | 791.900 | 413.140 |  | 1.676 | 630.960 | 468.650 |
| 1.904 | 744.570 | 373.120 |  | 109.979 | 797.560 | 413.150 |  | 5.001 | 640.670 | 468.650 |
| 5.245 | 748.220 | 373.140 |  | 120.061 | 802.940 | 413.140 |  | 9.998 | 652.940 | 468.670 |
| 9.814 | 752.950 | 373.160 |  | 130.033 | 808.070 | 413.150 |  | 20.003 | 672.630 | 468.670 |
| 19.762 | 762.640 | 373.150 |  | 139.665 | 812.790 | 413.160 |  | 29.990 | 688.740 | 468.670 |
| 29.991 | 771.490 | 373.160 |  | 150.000 | 817.650 | 413.150 |  | 39.967 | 701.640 | 468.670 |
| 39.380 | 778.900 | 373.180 |  | 160.000 | 822.150 | 413.150 |  | 50.004 | 713.200 | 468.670 |
| 49.988 | 786.670 | 373.160 |  | 170.200 | 826.550 | 413.150 |  | 59.984 | 723.500 | 468.670 |
| 59.231 | 792.970 | 373.150 |  | 180.600 | 830.870 | 413.150 |  | 70.025 | 732.650 | 468.680 |
| 69.992 | 799.830 | 373.150 |  | 190.000 | 834.640 | 413.150 |  | 79.999 | 740.920 | 468.690 |
| 79.380 | 805.460 | 373.140 |  | 200.000 | 838.500 | 413.150 |  | 90.020 | 748.570 | 468.680 |
| 89.999 | 811.620 | 373.150 |  | 0.368 | 676.410 | 433.180 |  | 99.992 | 755.620 | 468.670 |
| 99.304 | 816.450 | 373.140 |  | 2.600 | 680.920 | 433.180 |  | 109.980 | 762.190 | 468.680 |
| 110.007 | 821.920 | 373.150 |  | 5.072 | 686.280 | 433.140 |  | 119.578 | 768.100 | 468.700 |
| 120.517 | 827.030 | 373.150 |  | 10.400 | 694.940 | 433.160 |  | 129.979 | 774.150 | 468.690 |
| 130.026 | 831.460 | 373.150 |  | 20.041 | 709.030 | 433.130 |  | 139.688 | 779.490 | 468.680 |
| 140.013 | 835.920 | 373.150 |  | 29.979 | 721.270 | 433.150 |  | 150.000 | 784.860 | 468.670 |
| 150.000 | 840.210 | 373.150 |  | 40.073 | 732.150 | 433.160 |  | 160.500 | 790.050 | 468.670 |
| 160.000 | 844.340 | 373.150 |  | 50.400 | 742.080 | 433.150 |  | 170.000 | 794.530 | 468.670 |
| 170.200 | 848.410 | 373.150 |  | 60.074 | 750.500 | 433.140 |  | 180.000 | 799.040 | 468.670 |
| 180.600 | 852.420 | 373.150 |  | 69.988 | 758.400 | 433.140 |  | 190.000 | 803.360 | 468.670 |
| 190.000 | 855.920 | 373.150 |  | 79.978 | 765.750 | 433.140 |  | 200.000 | 807.510 | 468.670 |
| 200.000 | 859.530 | 373.150 |  | 90.003 | 772.600 | 433.140 |  |  |  |  |
| 0.109 | 722.380 | 393.170 |  | 99.967 | 778.980 | 433.130 |  |  |  |  |
| 1.967 | 724.960 | 393.170 |  | 110.700 | 785.410 | 433.140 |  |  |  |  |

Таблица 7 − Значения плотности *ρ*(*p*0*,T*) бутанола-1 при давлении *p*0=0.101 MПa измеренные Anton-Paar DMA 5000M (<353.15 K и при давленнии ps измеренные денсиметром с вибрационной трубкой DMA HPM (>353.15 K)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *T*/K | *ρ*/kg⋅m-3 | *T*/K | *ρ*/kg⋅m-3 |
| 253.15 | 839.07 | 353.15 | 760.92 |
| 263.15 | 831.93 | 373.15 | 742.42 |
| 273.15 | 824.59 | 393.15 | 722.38 |
| 283.15 | 817.41 | 413.15 | 700.62 |
| 293.15 | 809.64 | 433.15 | 676.41 |
| 298.15 | 805.77 | 453.16 | 650.17 |
| 313.15 | 794.35 | 468.67 | 627.64 |
| 333.15 | 778.27 |  |  |

Таблица 8 − Давление бутнола-1 вычисленные при помощи уравнения Клапейрона -Клаузиуса

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *T*/K | *p*exp/Pa | *p*cal/Pa | (*p*exp- *p*cal)/Pa | *T*/K | *p*exp/Pa | *p*cal/Pa | (*p*exp- *p*cal)/Pa |
| 274.15 | 133 | 133 | 0 | 373.15 | 51825 | 51787 | 38 |
| 278.15 | 188 | 188 | 0 | 383.15 | 76225 | 76210 | 15 |
| 283.15 | 285 | 286 | -1 | 393.15 | 109178 | 109219 | -41 |
| 293.15 | 624 | 625 | -1 | 403.15 | 152632 | 152774 | -142 |
| 303.15 | 1281 | 1284 | -3 | 413.15 | 208708 | 208994 | -286 |
| 313.15 | 2483 | 2487 | -4 | 423.15 | 279656 | 280108 | -452 |
| 323.15 | 4571 | 4573 | -2 | 433.15 | 367818 | 368407 | -589 |
| 333.15 | 8030 | 8027 | 3 | 443.15 | 475581 | 476185 | -604 |
| 343.15 | 13517 | 13504 | 13 | 453.15 | 605332 | 605682 | -350 |
| 353.15 | 21890 | 21864 | 26 | 463.15 | 759418 | 759025 | 393 |
| 363.15 | 34224 | 34187 | 37 | 468.67 | 855726 | 854610 | 1116 |

**Список литературы**

1. Ахмедов С.А. Экологическая химмотология топлив и масел. Уфа: УГНТУ, 2008, 150 с.
2. Ахундов Т.С., Иманов Ш.Ю. Уравнение состояние орто- и параксилолов // Изв. ВУЗов. Нефт и газ, 1969, №12, с.24.
3. Бачинский А.И. Избранные труды , M.: Изд. AН СССР, 1960. 123 с.
4. Бекаев Л.С., Марченко О.В., Пинегин С.П. и др. Мировая энергетика и переход к устойчивому развитию.-Новосибирск: Наука.-2000.-300 с.
5. Бутай В.Т., Орешенков А.В., Бурмистров О.А. //Химическая технология топлив и масел. №1. 2000. –С.44-47.
6. Д.Л.Рахманкулов, Л.В.Долматов и др. Товароведение нефтяных продуктов. Том 5. Новые источники топлива, энергии и химического сырья как альтернатива нефти. Книга 1.-М.: Интер, 2010.-530 с.
7. Ершов М.А., Емельянов В.Е., Климова Т.А. Биобутанол в сравнении с другими оксигенатами //Мир нефтепродуктов. №2. 2012. –С.3-6.
8. Капустин В.М., Карпов С.А., Царев А.В. Оксигенаты в автомобильных бензинах.-М.: Колос.-2011.-336 с.
9. Кулиев Р.Ш., Кулиев Ф.А., Муталибова А.А. и др. //Химическая технология топлив и масел. №1. 2006. –С.41-44.
10. Крылов И.Ф., Емельянов В.Е. Цикл лекций «Альтернативные моторные топлива. Производство, применение, перспективы» //Мир нефтепродуктов. №1. 2008. –С.38-42.
11. Марченко А.П., Семенов В.Г. //Химическая технология топлив и масел. №3. 2001. –С.31-33.
12. Путилов К.А. Термодинамика простейших жидкостей / В кн. Исследо­ва­ния по термодинамике. М.: Наука, 1973, с. 105.
13. Семенов В.Г. //Химическая технология топлив и масел. №4. 2003. С.29-33.
14. Семенов В.Г., Зинченко А.А. //Химическая технология топлив и масел. №1. 2005. –С.29-35.
15. Семенов В.Г., Зинченко А.А. //Химическая технология топлив и масел. №6. 2006. –С.42-45.
16. Семенов В.Г., Семенова Д.У., Слипушенко В.П. //Химическая технология топлив и масел. №2. 2006. –С.46-50.
17. Спиркин В.Г., Лыков О.Л., Бельдий О.М. //Химическая технология топлив и масел. №6. 2001. –С.29-36.
18. Теплотехника:/Под общей редакцией А.П.Баскакава. –М.: Энергия, 1982. -264 с.
19. Akoh C.C., Chang S. Shu-Wie, Lee G. Guan-Chin et al. – J.Agric. Food Chem.-2007.-V.55.-22.-P.8995-9005.
20. Dewulf J., Van Langenhove H., Van de Velde B.-Environ Sci.Technol.-2005.-V. 39.-N10.-P.3878-3882.
21. Ihmels E. C., Gmehling J. Densities of Toluene, Carbon Dioxide, Carbonyl Sul­fide, and Hydrogen Sulfide over a Wide Temperature and Pressure Range in the Sub- and Supercritical State, Industrial and Engineering Chemistry Research, 2001, vol.40, p.4470-4477.
22. Meneghetti S.M.P., Meneghetti M.R., Serra T.M. et al. – Energy and Fuels.-2007. -V.21.-N6.-P.3746-3747.
23. Ozkan M. Energy and Fuels.-2007. -V.21.-N6.-P.3627-3636.
24. Sorensen B. Renewable Energy (Third Edition).-Elsevier Inc.-2004.-930 p.
25. Sorensen B. Renewable Energy Conversion. Transmission and Storage. -Elsevier Inc.-2007.-330 p.
26. Van L., MacLean H., Hendrickson C., LankeyR.-Environ Sci.Technol.-2000.-V. 34.-N17.-P.3598-3605.