

10. Sugarcane-based bioethanol : energy for sustainable development // co-ordination BNDES and CGEE – Rio de Janeiro, 2008 - 304 p.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВ

Елагин М.Ю. (Тулский государственный университет).

В последние годы во всем мире проявляется интерес к альтернативным видам топлив, получаемых путем переработки древесных и растительных отходов. К ним относят: этанол, диметиловый эфир, бутанол, диэтиловый эфир и т.п.

Для теоретических и экспериментальных исследований работы двигателей необходимы достаточно полные и точные данные по термодинамическим и теплофизическим свойствам этих топлив.

В данной работе был разработан программный комплекс, позволяющий при минимуме исходных данных определить термодинамические и теплофизические свойства любого рабочего вещества. Полученные результаты по различным рабочим веществам сравнивались с данными приведенными в [1, 3] и показали весьма удовлетворительную точность.

В качестве примера приведены результаты расчета свойств диметилового эфира (CH_3OCH_3). Диметиловый эфир – одно из первых рабочих тел паровых компрессионных холодильных машин, которые появились в XIX в. Его молекулы не имеют углерод-углеродных химических связей, способствующих сажеобразованию при горении, содержание связанного кислорода в нем достигает 35%. По физическим свойствам диметиловый эфир подобен сжиженному пропан-бутановому газу, что делает возможным использование его как экологически безопасного хладагента и как дизельного топлива [2]. Ниже перечислены частные методики [1], позволившие реализовать общую методику расчета:

-уравнение состояния Редлиха – Квонга (R-Kw) использовалось для расчета данных по перегретому и сухому насыщенному пару;

-метод Лимана – Деннера использовался для расчета удельной теплоемкости насыщенной жидкости;

-метод Брока и Берда использовался для определения поверхностного натяжения жидкости;

-метод Чепмена – Энскога использовался для определения динамической вязкости пара;

-по методу остаточной вязкости определялась динамическая вязкость пара, зависящая от давления;

-по методам Ван – Вельцена, Кардазо и Лангекампа определялась динамическая вязкость жидкости;

-по модифицированному методу Ейкена определялась теплопроводность пара;

-по методу Сато и Риделя определялась теплопроводность жидкости;

-методом Ганна и Ямады определялась плотность насыщенной жидкости;

-для определения давления насыщенных паров использовалось уравнение Гарлахера.

При расчетах использовалась следующая таблица исходных данных.

Таблица исходных данных по диметиловому эфиру

Обозначение	Наименование	Размерность	Величина
MM	Молекулярная масса	кг/кмоль	46,069
R	Газовая постоянная	Дж/(кг·К)	180,468
TB	Нормальная температура кипения	К	248,3
TC	Критическая температура	К	400,0
PC	Критическое давление	ат	53,0
VC	Критический объем	см ³ /моль	178,0
OMEGA	Фактор ацентричности Питцера	-	0,192
LIQDEN	Плотность жидкости при T TDEN	г/см ³	0,667
TDEN	Опорное значение температуры для LIQDEN	К	293,0
CPVAP A	Константы в уравнении идеально-газовой теплоемкости, в котором (C _p) выражена в кал/(моль К), а T в К. C _p = CPVAP A + (CPVAP B)*T+(CPVAP C)*T ² + (CPVAP D)*T ³	-	4,064
CPVAP B		-	4,277e-2
CPVAP C		-	-1,250e-5
CPVAP D		-	-0,458e-9
VISB	Константы в уравнении вязкости жидкости, в котором вязкость (LQ) выражена в сантипуазах, а T в К. Lg(LQ) = VISB*(1/T – 1/VISTO)	найжены расчетным путем	304,71
VISTO			152,46
HAR A	Коэффициенты уравнения Гарлахера для давления паров, в котором давление паров (P _{VP}) выражено в мм рт. ст., а T в К. ln(P _{VP}) = HAR A + HAR B/T + HAR C*ln(T) + HAR D*P _{VP} /T ²	-	48,857
HAR B		-	-3840,19
HAR C		-	-4,856
HAR D		-	1,71
δ	Параметры потенциала Леннарда-Джонса, определенные по данным о вязкости. δ - параметр полярности, k – постоянная Больцмана, ε - характеристическая энергия	-	0,19
ε/k		К	395,0
A	Коэффициенты эмпирического уравнения для расчета интеграла столкновений при определении вязкости газа методом Чепмена-Энскога	-	1,16145
B		-	0,14874
C		-	0,52487
D		-	0,77320
E		-	2,16178
F		-	2,43787
G		-	0,2
\bar{R}	Радиус вращения (Используется в расчете теплоемкости насыщенной жидкости методом Лимана-Деннера)	о А	2,1274
K	Коэффициент ассоциации в методе Лимана-Деннера	-	2,0857

Для расчетов по другим рабочим веществам, необходимы аналогичные исходные данные, которые, для большого количества рабочих веществ, приводятся в справочнике [1].

Описание выходных данных:

T - ТЕМПЕРАТУРА, К;

P - ДАВЛЕНИЕ НАСЫЩЕНИЯ, Па

ROI, ROII - ПЛОТНОСТЬ НАСЫЩЕННОЙ ЖИДКОСТИ И ПАРА, кг/м³
 HI, HII - УДЕЛЬНАЯ ЭНТАЛЬПИЯ НАСЫЩЕННОЙ ЖИДКОСТИ И ПАРА, кДж/кг
 TPO - УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПАРООБРАЗОВАНИЯ, кДж/кг
 SI, SII - УДЕЛЬНАЯ ЭНТРОПИЯ ЖИДКОСТИ И ПАРА, кДж/(кг*К)
 CV, CP - ТЕПЛОЕМКОСТИ РЕАЛЬНО-ГАЗОВЫЕ ПРИ V, p = Const, Дж/(кг*К)
 CG - ТЕПЛОЕМКОСТЬ НАСЫЩЕННОЙ ЖИДКОСТИ, Дж/(кг*К)
 CV0 - ТЕПЛОЕМКОСТЬ В ИДЕАЛЬНО-ГАЗОВОМ СОСТОЯНИИ, Дж/(кг*К)
 MU, MUG - ДИНАМИЧЕСКАЯ ВЯЗКОСТЬ ПАРА И ЖИДКОСТИ, Па*с;
 MUP - ВЯЗКОСТЬ ПАРА ПРИ ПОВЫШЕННОМ ДАВЛЕНИИ, Па*с;
 LAM - КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПАРА, Вт/(м*К);
 LAMG - КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ЖИДКОСТИ, Вт/(м*К);
 SIGMA - ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ, Н/м;
 VI - УДЕЛЬНЫЙ ОБЪЕМ ЖИДКОСТИ, м³/кг;
 BETA - КОЭФФИЦИЕНТ ТЕРМИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ ЖИДКОСТИ, 1/К;
 NU, NUG - КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ВЯЗКОСТЬ ПАРА И ЖИДКОСТИ, м²/с;
 ALI, AII - КОЭФФИЦИЕНТ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ПАРА И ЖИДКОСТИ, м²/с;
 PRII, PRII - КРИТЕРИЙ ПРАНДТЛЯ ПАРА И ЖИДКОСТИ.

Результаты расчета (Диметиловый эфир)

Номер модификации уравнения R-Kw = 4 (модификация Соаве)

T	P	ROI	ROII	HI	HII	TPO	SI	SII	CV	CP	CG
223.	.291E+05	762.9	.7	288.9	784.0	495.2	3.5523	5.7727	999.5	1186.0	2080.3
233.	.495E+05	750.1	1.2	310.2	795.3	485.2	3.6457	5.7279	1033.5	1223.5	2110.6
243.	.800E+05	737.2	1.9	331.9	806.7	474.8	3.7370	5.6907	1067.5	1262.3	2145.8
253.	.124E+06	724.0	2.8	354.2	818.1	463.9	3.8264	5.6599	1101.5	1302.8	2186.1
263.	.184E+06	710.4	4.1	376.9	829.4	452.5	3.9140	5.6345	1135.5	1345.4	2232.0
273.	.266E+06	696.5	5.7	400.0	840.5	440.5	4.0000	5.6135	1169.6	1390.8	2283.9
283.	.372E+06	682.0	7.8	423.7	851.4	427.8	4.0845	5.5961	1203.8	1439.7	2342.0
293.	.507E+06	667.0	10.6	447.8	862.1	414.3	4.1675	5.5815	1238.3	1493.1	2407.0
303.	.677E+06	651.4	14.0	472.4	872.3	399.8	4.2494	5.5690	1272.9	1552.6	2479.3
313.	.885E+06	635.1	18.2	497.6	881.9	384.3	4.3302	5.5580	1307.9	1620.4	2559.4
323.	.114E+07	618.1	23.4	523.5	890.9	367.4	4.4102	5.5478	1343.4	1699.8	2692.6
333.	.144E+07	596.5	29.8	550.2	899.1	348.9	4.4900	5.5378	1379.4	1796.2	2801.0
343.	.180E+07	575.0	37.8	577.7	906.1	328.4	4.5697	5.5271	1416.3	1919.1	2921.9
353.	.222E+07	552.6	47.8	606.3	911.6	305.3	4.6498	5.5147	1454.1	2086.7	3056.6
363.	.271E+07	528.3	60.6	636.4	915.2	278.8	4.7312	5.4993	1493.5	2337.8	3206.7
373.	.327E+07	500.1	77.5	668.6	915.7	247.1	4.8158	5.4782	1535.1	2775.6	3374.1

T	MU	MUG	LAM	LAMG	SIGMA	VI	BETA	P
223.0	.674E-05	.233E-03	.111E-01	.177E+00	.239E-01	.131E-02	.166E-02	.291E+05
233.0	.705E-05	.204E-03	.119E-01	.171E+00	.223E-01	.133E-02	.171E-02	.495E+05
243.0	.736E-05	.180E-03	.127E-01	.166E+00	.207E-01	.136E-02	.177E-02	.800E+05
253.0	.767E-05	.161E-03	.136E-01	.160E+00	.191E-01	.138E-02	.185E-02	.124E+06
263.0	.798E-05	.145E-03	.145E-01	.155E+00	.175E-01	.141E-02	.194E-02	.184E+06
273.0	.829E-05	.131E-03	.155E-01	.149E+00	.160E-01	.144E-02	.204E-02	.266E+06
283.0	.861E-05	.120E-03	.164E-01	.143E+00	.144E-01	.147E-02	.216E-02	.372E+06
293.0	.892E-05	.110E-03	.174E-01	.137E+00	.129E-01	.150E-02	.229E-02	.507E+06
303.0	.923E-05	.102E-03	.185E-01	.130E+00	.115E-01	.154E-02	.245E-02	.677E+06
313.0	.955E-05	.944E-04	.195E-01	.124E+00	.100E-01	.157E-02	.261E-02	.885E+06
323.0	.987E-05	.881E-04	.207E-01	.117E+00	.865E-02	.162E-02	.353E-02	.114E+07
333.0	.102E-04	.825E-04	.218E-01	.110E+00	.730E-02	.168E-02	.359E-02	.144E+07
343.0	.105E-04	.776E-04	.230E-01	.102E+00	.599E-02	.174E-02	.379E-02	.180E+07
353.0	.108E-04	.732E-04	.242E-01	.942E-01	.473E-02	.181E-02	.418E-02	.222E+07
363.0	.111E-04	.693E-04	.255E-01	.857E-01	.353E-02	.189E-02	.490E-02	.271E+07
373.0	.114E-04	.658E-04	.268E-01	.763E-01	.240E-02	.200E-02	.622E-02	.327E+07

T	NU	NUG	AI	AI	PRII	PRI
223.0	.922E-05	.306E-06	.127E-04	.111E-06	.724E+00	.275E+01
233.0	.589E-05	.272E-06	.811E-05	.108E-06	.726E+00	.251E+01
243.0	.394E-05	.244E-06	.540E-05	.105E-06	.730E+00	.233E+01
253.0	.274E-05	.222E-06	.373E-05	.101E-06	.734E+00	.219E+01
263.0	.197E-05	.203E-06	.266E-05	.975E-07	.740E+00	.209E+01
273.0	.145E-05	.188E-06	.194E-05	.935E-07	.746E+00	.201E+01
283.0	.110E-05	.176E-06	.145E-05	.894E-07	.754E+00	.196E+01
293.0	.845E-06	.165E-06	.111E-05	.851E-07	.764E+00	.194E+01
303.0	.662E-06	.156E-06	.853E-06	.806E-07	.776E+00	.194E+01
313.0	.526E-06	.149E-06	.664E-06	.761E-07	.792E+00	.195E+01
323.0	.422E-06	.142E-06	.519E-06	.702E-07	.812E+00	.203E+01
333.0	.341E-06	.138E-06	.407E-06	.656E-07	.839E+00	.211E+01
343.0	.277E-06	.135E-06	.317E-06	.608E-07	.877E+00	.222E+01
353.0	.226E-06	.132E-06	.243E-06	.558E-07	.932E+00	.238E+01
363.0	.184E-06	.131E-06	.180E-06	.506E-07	.102E+01	.259E+01
373.0	.148E-06	.132E-06	.125E-06	.452E-07	.118E+01	.291E+01

Cv0 и реально-газовые теплоемкости Cv, Cp при Pв = .100E+06 Па

T	V	RO	CV0	CV	CP
273.0	.483E+00	.207E+01	1164.5	1166.4	1360.5
373.0	.668E+00	.150E+01	1478.6	1479.7	1666.5
473.0	.850E+00	.118E+01	1768.9	1769.7	1953.7
573.0	.103E+01	.969E+00	2035.4	2036.0	2218.6
673.0	.121E+01	.824E+00	2277.7	2278.1	2460.0
773.0	.139E+01	.717E+00	2495.6	2496.0	2677.4
873.0	.158E+01	.635E+00	2688.8	2689.1	2870.3

Вязкость при различных давлениях и температурах

p, ат	1.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0
408.5	.126E-04	.127E-04	.128E-04	.129E-04	.131E-04	.133E-04	.135E-04	.138E-04
458.0	.141E-04	.142E-04	.143E-04	.144E-04	.145E-04	.147E-04	.148E-04	.150E-04
476.0	.146E-04	.147E-04	.148E-04	.149E-04	.151E-04	.152E-04	.153E-04	.155E-04
498.0	.153E-04	.154E-04	.155E-04	.156E-04	.157E-04	.158E-04	.159E-04	.161E-04
522.0	.160E-04	.161E-04	.162E-04	.163E-04	.164E-04	.165E-04	.166E-04	.167E-04

Литература:

1. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей: Справочное пособие/ Пер. с англ. под ред. Б.И. Соколова. – Л.: Химия, 1982, - 592 с.
2. Диметилловый эфир – топливо и хладагент для дизельных авторефрижераторов/ С.Д. Глухов, А.А. Жердев, А.В. Поляков и др.// Вестник МГТУ, Машиностроение. – 2000. – Спец. выпуск «Криогенная и холодильная техника»-С.182–185.
3. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей/ Н.Б. Варгафтик. – изд. 2-е – М.: Наука, 1972. -270 с.