

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИ-  
ВЕРСИТЕТ ИМ. АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА (СГАУ)»  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)**

**СОСТАВ И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА МОТОРНЫХ ТОПЛИВ  
И МАСЕЛ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ДВС**

САМАРА 2012

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И  
НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕР-  
СИТЕТ ИМ. АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА (СГАУ)»  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

**СОСТАВ И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА МОТОРНЫХ ТОПЛИВ  
И МАСЕЛ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ДВС**

Составители: *Н.А. Кудрявцева,*  
*С.В. Крашенинников*

САМАРА  
Издательство СГАУ

2012

УДК 621.1:536.7.08(075)

Составители: Н.А. Кудрявцева, С.В. Крашенинников

Рецензенты: доцент, к.т.н. Радько В.М.

Состав и основные свойства моторных топлив и масел, применяемых в  
ДВС:

Методические указания для проведения лабораторных и практических занятий / Самарский гос. аэрокосмический ун-т. Сост. Н.А. Кудрявцева, С.В. Крашенинников. Самара. – 2012. - 25 с.

УДК 621.1:536.7.08(075)

© Самарский государственный аэрокосмический университет, 2012

# 1. СТРОЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА УГЛЕВОДОРОДОВ, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ ТОПЛИВ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Нефть состоит из углеводородов, подразделяемых на следующие группы:

парафины (алканы), содержание в нефти	30-50%
циклопарафины (нафтены)	25-75%
ароматические (арены)	10-20%

Свойства нефтяных топлив зависят от типа входящих в них углеводородов, поэтому необходимо различать группы соединений по их химическим формулам, строению, наименованию.

Парафины, общая формула  $C_nH_{2n+2}$ , могут быть:

газообразными:	метан	$CH_4$ ,
	этан	$C_2H_6$ ,
	пропан	$C_3H_8$ ,
	бутан	$C_4H_{10}$ ;

жидкими, содержащими от 5 до 15 атомов углерода в молекуле;

твердыми, от 12-15 и выше атомов углерода.

Цепочка углеродных атомов в молекуле парафина может быть неразветвленной, такие соединения называются "нормальными" (н.), например:

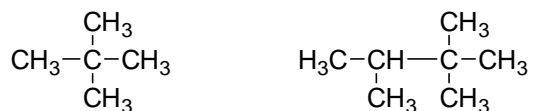
н. пентан ( $C_5H_{12}$ )	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$
н. гексан ( $C_6H_{14}$ )	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$
н. гептан ( $C_7H_{16}$ )	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$

н. октан ( $C_8H_{18}$ ), н. нонан ( $C_9H_{20}$ ), н. декан ( $C_{10}H_{22}$ ) и т.д.

Нормальные парафины при окислении в условиях камеры сгорания образуют активные промежуточные соединения-перекиси, гидроперекиси, которые могут самопроизвольно разлагаться с выделением большого количества тепла, самовоспламеняться и провоцировать детонационное горение, поэтому нормальные парафины

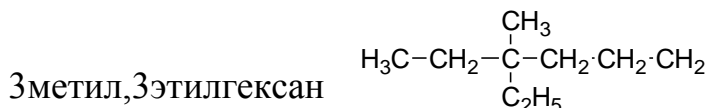
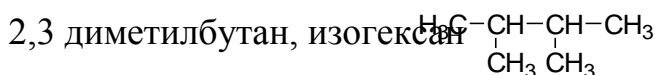
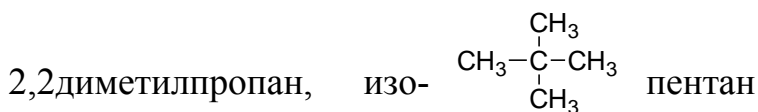
обладают низкими октановыми числами и устойчивостью к детонации уменьшается с ростом молекулярной цепочки.

Если молекулы парафина имеют разветвленное строение, например:



они называются изопарафинами (изомерами). Изомеры образуются в результате реакции изомеризации, сопровождающей процесс переработки нефти.

При одной и той же формуле изомеров может быть несколько, а наименование молекул производится следующим образом: за основу берется самая длинная цепочка, атомы углерода нумеруются, и указывается место заместителя в углеродной цепи, например:

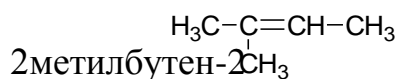
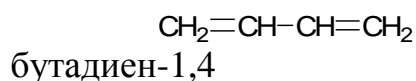
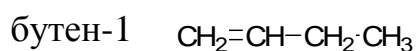


и т.п.

Изопарафины более устойчивы к окислению, причем увеличение степени разветвленности, симметричное расположение метильных групп и приближение их к центру молекулы способствуют повышению детонационной стойкости изопарафи-

нов. При оценке детонационной стойкости бензинов за эталонное топливо принята смесь изооктана (2,2,4триметилпентана) ОЧ=100, и н.гептана ОЧ=0.

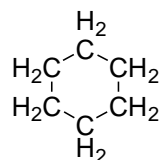
В продуктах переработки нефти и, соответственно, в топливах также содержатся ненасыщенные, непредельные углеводороды - олефины (алкены). В молекуле углеводорода могут присутствовать одна или две двойные связи, обуславливающие химическую нестабильность бензинов и дизельных топлив. В химической формуле олефина указывается место двойной связи и окончание "ен", свидетельствующее о ненасыщенности молекулы, например:



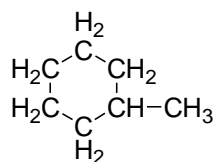
**Циклопарафины** или нафтены, общей формулы  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ , достаточно широко представлены в топливах, более устойчивы, по сравнению с парафинами, к окислению в высокотемпературных условиях, имеют более высокие октановые числа.

Атомы в циклопарафинах связаны между собой в виде колец. Названия циклопарафинов аналогичны названиям парафинов с тем же числом атомов углерода, но с добавлением приставки "цикло".

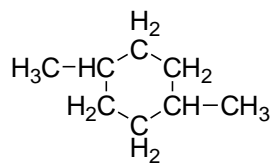
Чаще всего в нефтепродуктах встречаются циклогексановые и циклопентановые углеводороды:



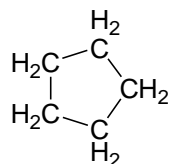
ЦИКЛОГЕКСАН



метилциклогексан

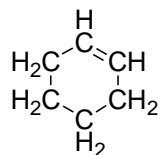


1,4-диметилциклогексан

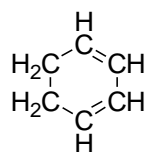


циклопентан

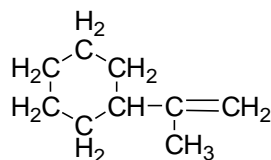
Среди циклических соединений могут встречаться непредельные, имеющие двойные связи, как в цикле, так и в боковой цепи:



циклогексен



циклогексадиен-1,3

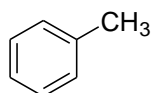


изопропенилциклогексан

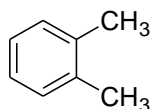
**Ароматические углеводороды** отличаются наличием в молекуле бензольного кольца – 6 атомов углерода и 3 двойные связи. Характерные формулы:  $C_nH_{2n-6}$ ,  $C_nH_{2n-12}$  и др.



бензол

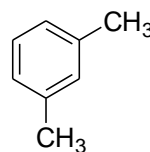


толуол



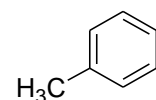
орток-

силол



метак-

силол



пара-

ксилол

Ароматические углеводороды обладают очень высокой детонационной стойкостью (октановое число более 100), однако склонны к образованию сажи, гигроскопичны, растворяют резиновые материалы, поэтому присутствие их в топливе нежелательно. Детонационная стойкость растет в ряду:

изопарафины

н.парафины < олефины < ароматические  
циклопарафины углеводороды

Разность между октановыми числами углеводородов, определенными исследовательским (ОЧИ) и моторным (ОЧМ) методами характеризует чувствительность топлив к изменению режима работы двигателей. Наибольшей чувствительностью обладают непредельные углеводороды, наименьшей - парафиновые. Несколько меньше, чем у олефинов, чувствительность ароматических, нафтеновые углеводороды обладают невысокой чувствительностью.

Таблица 1 - Антидетонационные свойства углеводородов

Углеводороды	ОЧИ	ОЧМ	Δ ОЧ
<i>Парафиновые:</i>			
н.бутан	93.6	91.0	+2.6
изобутан	101.1	99.0	+2.1
н.пентан	61.7	61.9	-0.2
2-метилбутан	92.3	90.3	+2.0
н.гексан	24.8	26.0	-1.2
2,2-диметилбутан	91.8	93.4	-1.6
2,3-диметилбутан	101.7	94.3	+7.4



н.гептан	0	0	0
2,2-диметилпентан	92.8	95.6	-2.8
2,2,2-триметилбутан	105,7	101.0	+4.7
н.октан	<0	-28	
2-метилгептан	21.7	23.8	-2.1
2,2-диметилгексан	71.3	78.9	-7.6
2.2.3- триметилпентан	104.5	102.9	+2.5
2,2,4- триметилпентан	100	100	0
2,2,3- триметилпентан	102.9	99.4	+3.5
<i>Олефиновые:</i>			
бутен-1	97.4	81.7	+15.7
пентен-1	90.9	77.1	+13.8
гексен-1	76.4	63.4	+13.8
гексен-2	92.7	80.8	+11.0
гексен-3	94.0	80.1	+13.9
2.2.4- триметилпентен	101.7	86.2	+15.5
<i>Нафтеновые:</i>			
метилциклопентан	91.3	80.0	+11.3
циклогексан	83.9	77.2	+5.8
метилциклогексан	74.8	71.1	+3.7
н.пропилциклогексан	17.8	14.9	+3.8
изопропилциклогек- сан	62.8	61.1	+1.7
<i>Ароматические</i>			

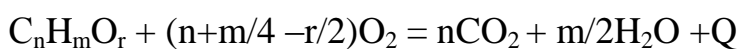
бензол	113.0	111.6	+1.4
толуол	115.7	102.1	+13.6
этилбензол	106.0	97.9	+8.1
н.пропилбензол	105.1	98.7	+6.4
изопропилбензол	110.0	99.3	+10.7

*Вопросы для проверки знаний:*

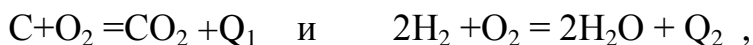
1. Напишите химические формулы соединений, представленных в таблице.
2. Напишите химические формулы и дайте наименования всем изомерам следующих углеводородов:  $C_5H_{10}$ ,  $C_5H_{12}$ ,  $C_6H_{12}$ ,  $C_6H_{14}$ ,  $C_7H_{16}$ ,  $C_8H_{16}$ ,  $C_8H_{18}$ .
3. Расставьте по возрастанию детонационной стойкости следующие углеводороды: гексен, изогексан, н.гексан, бензол, циклогексан.

## **1. 1 РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТАРНОГО СОСТАВА ТОПЛИВА, ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА И ТОПЛИВОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ, КОЛИЧЕСТВА ВОЗДУХА, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ СГОРАНИЯ**

Тепловая энергия, преобразуемая в двигателях внутреннего сгорания в механическую работу, получается за счет реакции сгорания топлива:



Реакция окисления углеводородов, в общем случае, сводится к процессам:



причем  $Q_2 > Q_1$ , соответственно 121 и 34,2 МДж/кг.

Теплота сгорания углеводородов определяется соотношением Н/С в топливе и его полнотой сгорания.

Молекулярная масса вещества складывается из масс атомов, составляющих молекулу:  $\mu = \sum \mu_i$ ,

$\mu_i = N \cdot A_{r_i}$ , где  $N$  – число атомов в молекуле.

Атомные массы основных компонентов топлива:

Вещество	А, г. е.м.
C	12
H	1
O	16
S	32
N	14

В тепловых расчетах используются массовые доли элементов топлива, приходящиеся на 1 кг. Для жидких топлив  $C + H + O = 1$ ,  $g_i = \mu_i / \mu_T$ .

Таблица 2 -Молекулярная масса и состав некоторых углеводородов

Формула	Молекулярная масса топлива $\mu_T$ , кг/кмоль	Массовая доля вещества в 1 кг топлива		
		C	H	O <sub>T</sub>
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72	0.83	0.16	

		3	6	
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86	0.83	0.16	
		7	3	
C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100	0.84	0.16	
		0	0	
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114	0.84	0.15	
		2	8	
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	46	0.52	0.13	0.348
H		2	0	
CH <sub>3</sub> O	32	0.37	0.12	0.500
H		5	5	
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78	0.92	0.07	
		3	7	
Бензин	110-120	0.85	0.14	
		5	5	
Диз.то	180-200	0.86	0.13	0.010
ПЛИВО		0	0	

## 2.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИ НЕОБХОДИМОГО КОЛИЧЕСТВА ВОЗДУХА ДЛЯ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА

Для полного сгорания 1кг топлива нужно следующее количество кислорода:

$$G_{O_2} = \frac{8}{3}C + 8H - O_T, \text{ кг},$$

где  $O_T$  – массовая доля кислорода, входящего в состав топлива.

Учитывая, что кислорода в воздухе по массе содержится 23%, получим теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1кг топлива (стехиометрический коэффициент):

$$l_0 = \frac{1}{0.23} \left( \frac{8}{3} C + 8H - O_T \right) \text{ кг.}$$

Количество действительно потребляемого двигателем воздуха может быть и больше и меньше теоретически необходимого. Отношение действительного количества воздуха, поступившего в цилиндр двигателя, к теоретически необходимому для сгорания всего находящегося в цилиндре топлива, называется коэффициентом избытка воздуха  $\alpha$ :

$$\alpha = G_{\text{вд}} / G_{\text{вт}} = G_{\text{вд}} / (G_T \cdot l_0).$$

В бензиновых двигателях с принудительным воспламенением смеси достаточно устойчивое протекание рабочего процесса достигается при  $\alpha=0.6-1.3$ , причем максимальная мощность обеспечивается при  $\alpha=0.85-0.90$ , максимальная экономичность при  $\alpha=1,05-1,10$ . При  $\alpha < 1$  происходит неполное сгорание топлива, в отработавших газах появляются продукты неполного окисления углеводородов – CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, ухудшаются экономические и экологические характеристики двигателя. В дизелях  $\alpha$  меняется в широких пределах: от 1.25-1.4 до 2.5.

### 2.3 ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ТОПЛИВА

Качество топлива определяется теплотой его сгорания, т.е. количеством теплоты, выделившейся при полном сгорании массовой единицы топлива. В результате полного сгорания образуются углекислый газ и водяной пар, при конденсации которого выделяется некоторое количество теплоты. Общее количество теплоты с учетом конденсации называют "высшей теплотой сгорания"  $H_0$ . В двигателе внутреннего сгорания отработавшие газы удаляются при высокой температуре, когда не про-

исходит конденсации влаги, поэтому необходимо вести расчеты по "низшей теплоте сгорания"  $H_u$

Для практических целей расчета теплоты сгорания углеводородных топлив применима формула Д.И. Менделеева:

$$H_u = 33.9C + 103.0H - 10.9(O-S) \text{ МДж/кг,}$$

где C, H, O, S – массовые доли элементов.

Чем больше массовая доля водорода в топливе, тем выше его теплота сгорания. Алканы имеют наибольшую теплоту сгорания, ароматические углеводороды – наименьшую.

Таблица 3 - Энергетические характеристики некоторых углеводородов

Соединения	$l_o$ , кг воздуха на кг топлива	$H_u$ , МДж/кг
Изооктан	15.15	44.6
Бензол	13.26	41.0
Бензин	14.80	44.0
Керосин	15.00	43.2
Диз. топливо	15.00	42.6
Метанол	6.50	19.0
Этанол	9.00	26.4

Для более полной характеристики топлива необходимо иметь не только теплоту сгорания самого топлива, но и теплоту сгорания топливовоздушной смеси (ТВС).

При  $\alpha \geq 1$  -  $H_{см} = H_u / (1 + \alpha l_o)$ , МДж/кг ТВС.

При  $\alpha < 1$  - существует химическая неполнота сгорания топлива из-за недостатка кислорода:  $\Delta H = A(1 - \alpha)L_o$ ,

где  $L_o = \mu_{\text{возд}} \cdot l_o = (C/12 + H/4 - O_T/32)/0,21$  кмоль воздуха/кг топлива – мольный стехиометрический коэффициент.

Тогда -  $H_{\text{см}} = (H_u - \Delta H) / (\alpha l_o + 1)$ , МДж/кг

Коэффициент  $A = 114$  при  $K = 0.5 - 0.45$ ,

$A = 116$  при  $K = 0.3$

Коэффициент "K" характеризует отношение числа молей водорода и окиси углерода в отработанных газах для данного топлива при неполном сгорании. Для бензинов, у которых  $H/C = 0.17 - 0.19$ ,  $K = 0.45 - 0.50$ , в случае  $H/C = 0.13$ ,  $K = 0.3$ .

## 2. 2.4 ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ МОЛЕКУЛЯРНОГО ИЗМЕНЕНИЯ

При сгорании жидкого топлива число молей всегда несколько увеличивается. Приращение количества продуктов сгорания происходит вследствие увеличения суммарного количества молекул в результате химической реакции горения топлива и образования новых молекул. Изменение числа молей при сгорании принято выражать относительной величиной: теоретическим коэффициентом молекулярного изменения ( $\mu_0$ ).

$$\mu_0 = M_2 / M_1$$

где  $M_2$  и  $M_1$  – число молей продуктов сгорания и число молей горючей (топливовоздушной) смеси соответственно.

Количество горючей смеси:  $M_1 = \alpha L_o + 1 / \mu_T$ , кмоль гор. см./кг топл,

где  $\mu_T$  - молекулярная масса топлива.

Количество продуктов полного сгорания жидкого топлива ( $\alpha \geq 1$ ):

$$M_2 = C/12 + H/2 + (\alpha - 0,208) L_o, \text{ кмоль пр. сг./кг топл.}$$

Количество продуктов неполного сгорания жидкого топлива ( $\alpha < 1$ ):

$$M_2 = C/12 + H/2 + 0,792\alpha L_o, \text{ кмоль пр. сг./кг топл.}$$

**Контрольные задания и вопросы**

Выполнить расчеты теплоты сгорания ( $H_u$ ) предложенного топлива, теплоты сгорания топливовоздушной смеси ( $H_{см}$ ), теоретически необходимого количества воздуха ( $l_0$ ), теоретического коэффициента молекулярного изменения ( $\mu_0$ ):

№	Вид топлива	Состав топлива C H	$\alpha$
1	Бензин	0,855 0,145	0,7 0,8 0,9
2	Бензин	0,855 0,145	0,9 1,0 1,2
3	Бензин	0,860 0,140	0,8 1,0 1,2
4	Бензин 1 Бензин 2 Бензин 3	0,830 0,170 0,840 0,160 0,850 0,150	1.0
5	Дизельное топливо	0,870 0,130	1,2 1,3 1,4
6	Дизельное топливо	0,870 0,130	1,8 2,0 2,2
7	Дизельное топливо	0,870 0,130	2,4 2,6 2,8



8	Бензол	$C_6H_6$	0,7 1,0 1,2
9	Бензин 50% Бензол 50%	$C_6H_6$ $C_8H_{18}$	1,0
10	Метанол	$CH_3OH$	0,8 1,2
11	Этанол	$C_2H_5OH$	0,9 1,1
12	Пропанол	$C_3H_7OH$	0,9 1,2
13	Углеводороды	$C_6H_6$ $C_6H_{12}$ $C_6H_{14}$	1,0
14	Спирты	$CH_3OH$ $C_2H_5OH$	1,0
15	Бензин (70%) Метанол (30%)	$C_8H_{18}$ $CH_3OH$	1,0
16	Бензин Этанол Бензол	$C_8H_{18}$ $C_2H_5OH$ $C_6H_6$	1,0
17	Бензин (95%) Водород (5%)	$C_8H_{18}$ $H_2$	1,0
18	Бензоспиртовая смесь М 15	$C_8H_{18}$ (85%) $CH_3OH$ (15%)	1,0
19	Углеводороды	$C_5H_{12}$ $C_6H_{14}$ $C_7H_{16}$	1,0
20	Углеводороды	$C_8H_{12}$ $C_8H_{14}$ $C_8H_{16}$	1,0

		$C_8H_{18}$	
--	--	-------------	--

1. Сколько бензина надо сжечь, чтобы получилось  $2\text{ м}^3$   $CO_2$  (при нормальных атмосферных условиях)? Сколько тепла при этом выделится? Сколько метилового спирта надо израсходовать для этой же цели?
2. Сколько бензина и сколько этилового спирта надо сжечь, чтобы нагреть 2 кг воды от 20 до 100 °С ? (КПД принимаем 0,85). Сколько воздуха при этом требуется?
3. Какой объем продуктов сгорания (при нормальных атмосферных условиях) образуется при полном сгорании 1кг бензина ( $C_8H_{18}$ )? Сколько воздуха потребляется при этом? Какое количество воды получится? Сколько выделится тепла?
4. Сравните расход бензина ( $C_8H_{18}$ ) и метанола ( $CH_3OH$ ) при использовании в одном и том же двигателе? Сколько воздуха потребляется двигателем при использовании этих топлив?
5. В результате сгорания бензина образовалось 8 кг воды. Сколько израсходовано топлива? Сколько  $CO_2$  образовалось? Какое количество тепла выделилось?

### **3. ВЯЗКОСТНО-ТЕМПЕРАТУРНЫЕ СВОЙСТВА СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ. РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНОЙ ВЯЗКОСТИ МАСЛА ПРИ ЗАПУСКЕ ДВИГАТЕЛЯ ОТ СТАРТЕРА, ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, ПРИ КОТОРОЙ ВОЗМОЖЕН ЗАПУСК ДВИГАТЕЛЯ**

Вязкостью называют свойство жидкости оказывать сопротивление взаимному перемещению ее слоев под действием внешней силы. Это сопротивление возникает вследствие сил когезии между молекулами жидкости.

При количественной интерпретации под вязкостью понимают силу внутреннего трения (F), равную по величине и обратную по направлению силе, при-

ложенной извне, эта сила пропорциональна площади слоя жидкости, к которой она приложена, (S) и градиенту скорости между слоями:

$$F = \mu \cdot S \cdot dv/dx,$$

где  $\mu$  - коэффициент пропорциональности, называемый динамической вязкостью.

За единицу динамической вязкости  $\mu$  в системе СИ принят Па·с, соответствующий сопротивлению силой 1Н взаимному перемещению двух слоев жидкости площадью  $1\text{ м}^2$ , находящихся на расстоянии 1м и перемещающихся со скоростью 1м/с. В инженерной практике чаще используют кинематическую вязкость.

Кинематическая вязкость  $\nu$  связана с динамической через плотность жидкости  $\rho$

$$\nu = \eta/\rho$$

Кинематическая вязкость измеряется в  $\text{м}^2/\text{с}$  или, обычно, в производных единицах:  $\text{см}^2/\text{с}$ ,  $\text{мм}^2/\text{с}$ . Также получили широкое распространение единицы кинематической вязкости в системе СГС - "стокс" ( $1\text{Ст} = 1\text{см}^2/\text{с}$ ) и "сантистокс" ( $1\text{сСт}=1\text{мм}^2/\text{с}$ ).

Вязкость масел заметно меняется с температурой. С понижением температуры вязкость масла существенно возрастает. Высокая вязкость масла затрудняет пуск двигателя и отражается на надежности работы его узлов.

При выборе масла, как правило, стремятся к тому, чтобы изменение его вязкости в заданном диапазоне температур было бы незначительным - пологая вязкостно-температурная кривая. Это облегчает эксплуатацию техники при низких температурах и обеспечивает надежную смазку узла трения при высоких рабочих температурах.

Для получения некоторого представления о характере вязкостно-температурной зависимости масел используют различные полуэмпирические уравнения, например, уравнение Вальтера:

$$\lg \lg(v_T+0.8)=A-B \lg T,$$

где А и В – постоянные для данного сорта масла.

"Пологость" вязкостно-температурной кривой характеризуется безразмерной величиной - индексом вязкости (ИВ). Чем выше ИВ, тем положе вязкостно-температурная кривая.

Так минеральные масла, полученные по обычной технологии, имеют индекс вязкости до 70-80, использование гидрокрекинга в технологических процессах позволяет получить масла с индексом вязкости более 100. Загущение маловязких минеральных масел полимерными присадками позволяет довести индекс вязкости до 110 и более, это так называемые "загущенные" высокоиндексные масла.

Используя вышеприведенное уравнение Вальтера, зная вязкость масла при температуре 373К (100 °С) и индекс вязкости, можно по номограмме найти вязкость масла при температуре 323К (50 °С) и, решив систему уравнений, найти постоянные А и В для данного масла. Далее можно найти  $v_T$  при любой температуре Т.

Можно практически измерить вязкость при двух температурах и далее, определив постоянные А и В, построить вязкостно-температурную кривую для данного масла, позволяющую находить вязкость при любых температурах.

Вязкость моторного масла является одним из основных факторов, от которого зависит необходимое для пуска число оборотов коленчатого вала. Предельное значение вязкости масла, при которой можно обеспечить запуск двигателя, находится в широких пределах (4000-15000 сСт), обусловленных различием конструкций двигателей и мощностью пусковой системы.

Единым критерием для определения предельной вязкости масла, обеспечивающей необходимое число оборотов коленчатого вала, может служить соотношение:

$$M_{\text{сопр}}=M_{\text{кр. макс}} ,$$

где  $M_{\text{кр. макс}}$  – крутящий момент стартера, обеспечивающий пусковые обороты коленчатого вала (n):

$$\text{для двигателей с искровым зажиганием} \quad n=40-60 \text{ мин}^{-1}$$

для дизелей

$$n=100\text{мин}^{-1}.$$

Величину предельной вязкости масла для низкотемпературного пуска двигателя без подогрева с достаточной степенью точности можно определить по формуле Давтяна:

$$M_{\text{сопр}} = 0.0023 \cdot A \cdot v^{0.33} \cdot n^{0.25}$$

$A$  - коэффициент, зависящий от размеров трущихся пар:

$$A = F_{\text{пор}} \cdot 2R/\pi + F_{\text{ш}} \cdot d_{\text{ш}}/2 + F_{\text{к}} \cdot d_{\text{к}}/2 + 0.1F_{\text{пор}}(d_{\text{ш}}+d_{\text{к}})/2$$

$F_{\text{пор}}$  –площадь днища поршня,  $\text{см}^2$

$F_{\text{ш}}, F_{\text{к}}$  –площади поверхности трения шатунных и коренных подшипников,  $\text{см}$ .

$R$  –радиус кривошипа,  $\text{см}$

$d_{\text{ш}}, d_{\text{к}}$  –диаметры шатунных и коренных шеек ,  $\text{см}$ .

$$v_{\text{пред}} = 0.33 \sqrt{\frac{M_{\text{кр.макс}}}{23 \cdot 10^{-4} \cdot A \cdot n^{0.25}}}, \text{сСт}$$

$$M_{\text{кр.макс}} = 3 \cdot 10^4 \cdot N/\pi \cdot n \cdot u, \text{Н} \cdot \text{м},$$

где

$N$ -мощность стартера, кВт;

$n$  –пусковое число оборотов коленвала, об/мин;

$u$  –передаточное число (8-10).

Вычислив предельную вязкость масла, можно найти область температур, в которой обеспечивается запуск, и подобрать масло с требуемой вязкостно-температурной характеристикой.

### 3.1 ОТЕЧЕСТВЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Моторные масла, применяемые для двигателей, классифицируются по ГОСТ 17479-85. Все масла в зависимости от эксплуатационных характеристик делятся на группы качества, в группах различают летние, зимние и всесезонные (загущенные) масла.

Существуют шесть групп качества масел (А,Б,В,Г,Д и Е), каждая имеет области применения:

А- для нефорсированных карбюраторных двигателей и дизелей;

Б- для малофорсированных двигателей;

В- для среднефорсированных двигателей;

Г- для высокофорсированных двигателей;

Д- для высокофорсированных дизелей, работающих в тяжелых условиях;

Е- для малооборотных дизелей с лубрикаторной системой смазки, работающих на тяжелом сернистом топливе.

Индекс "1" (Б<sub>1</sub>, В<sub>1</sub>, Г<sub>1</sub>) показывает, что масла предназначены для карбюраторных двигателей, индекс "2" (Б<sub>2</sub>, В<sub>2</sub>, Г<sub>2</sub>)- для дизелей; если индекс отсутствует, то масло может использоваться в двигателях любого типа.

По вязкости летние и зимние масла делятся на семь классов: (6, 8, 10, 12, 14, 16 и 20) , а всесезонные загущенные на десять:(3з/8, 4з/6, 4з/8, 4з/10, 5з/10, 5з/12, 5з/14, 6з/10, 6з/12, 6з/14).

Класс для летних и зимних масел означает их вязкость (мм<sup>2</sup>/с) при 100°С.

Для всесезонных масел класс изображается дробью, в которой числитель обозначает класс вязкости масла при -18°С (условная цифра 3, 4, 5 или 6), а в знаменателе - вязкость при 100°С. Индекс "з" указывает на присутствие в масле загущающей присадки.

Расшифровка марки моторного масла производится следующим образом: например, М 6з/10 В<sub>2</sub> означает: "М"-моторное масло, 6-вязкость при -18°С находится в пределах 2600...10400 мм<sup>2</sup>/с, буква "з"- масло загущено вязкостной при-

садкой, т.е. применяется и в зимнее время, и как всесезонное; цифра 10-вязкость  $\text{мм}^2/\text{с}$  при  $100^\circ\text{C}$ , буква "B<sub>2</sub>"- масло предназначено для среднефорсированного дизеля.

### 3.2 ЗАРУБЕЖНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Практически всеми странами мира принята классификация масел по SAE (Общество инженеров - автомобилистов). Эта классификация разделяет масла по уровню вязкости и по низкотемпературным свойствам.

Цифра в обозначении масла показывает условную вязкость (класс вязкости) при  $100^\circ\text{C}$  для летних масел, например SAE30, и при  $-18^\circ\text{C}$  для зимних (отличаются добавлением буквы "w" к маркировке, например SAE10w). Загущенные масла (всесезонные) маркируются двойным обозначением, например SAE10w-30. Это означает, что данное масло должно иметь низкотемпературные свойства масла SAE10w и в то же время вязкость при  $100^\circ\text{C}$  как у летнего масла SAE30.

В настоящее время классификация SAE используется отечественными производителями нефтепродуктов и заводами, производящими автомобили, и, практически, вытеснила вышеприведенную маркировку масел по ГОСТ.

Таблица 4 - Вязкость моторных масел по SAE и ГОСТ

Класс вязкости по SAE	Класс вязкости по ГОСТ 17479.1-85	Максимальное значение вязкости при $-18^\circ\text{C}$ ( $0^\circ\text{F}$ ), $\text{мм}^2/\text{с}$	Вязкость ( $\text{мм}^2/\text{с}$ ) при $100^\circ\text{C}$	
			миним	максим
5w	3з	1250	3,8	-
10w	4з	2600	4,	-

			1	
15w	5з	6000	5, 6	-
20w	6з	10400	5, 6	-
20	6	-	5, 6	7, 0
20	8	-	7, 0	9, 5
30	10	-	9, 5	1 1,5
30	12	-	1 1,5	1 3,0
40	14	-	1 3,0	1 5,0
40	16	-	1 5,0	1 8,0
50	20	-	1 8,0	2 3,0
60	-	-	2 3,0	2 6,1

Однако маркировка по SAE дает представление только о вязкостно-температурных свойствах, тогда как уровень эксплуатационных свойств определяется другими классификациями.

Наиболее широко известна в мире классификация API (Американский нефтяной институт). Данная классификация разделяет масла на два основных типа: "S"- масла группы "Сервис"- для двигателей с искровым зажиганием, "C" – масла



"Коммерческой" группы для дизельных двигателей. В случае двойного обозначения ("S/C" или "C/S") масло может использоваться в двигателях любого типа, причем предпочтение отдается тому типу, который указан первым.

Уровень качества масла обозначается буквой латинского алфавита в порядке возрастания и добавляется к "S" и "C". Масла уровня А, В, С, Е уже не выпускаются. В настоящее время выпускаются масла групп: F, G, H, J, K, L, а также идет разработка новых групп.

Примеры обозначения с указанием рекомендуемой области применения: API SF – для двигателей выпуска 80х-годов, API SG - для двигателей выпуска, начиная с 1989г, API SH - для двигателей выпуска, начиная с 1994г, API SJ – двигатели выпуска конца 1996г.

API SF/CC – для бензиновых двигателей выпуска 80х-годов и безнаддувных дизелей; API SF/CD – для бензиновых двигателей выпуска 80х-годов и дизельных двигателей с наддувом; API SG/CD – для бензиновых двигателей выпуска 90х-годов и дизелей с наддувом.

Кроме классификации API в Европе распространена классификация ССМС (Комитет Европейских Производителей Автомобилей), в которой уровень качества обозначается буквами и цифрами: G-бензиновые двигатели, D-дизельные двигатели.

#### Соответствие классификаций API и ССМС:

Бензиновые двигатели	Дизельные двигатели
SD – G-1	CB –D-1
SE – G-2	CC – D-2
SF – G-3	CD – D-3
SG – G-4	CE – D-4
нет – G-5	CF – D-5

Начиная с 1.01.96г, классификация ССМС замещена классификацией АСЕА (Ассоциация Европейских Производителей Автомобилей), наиболее полно отвечающей требованиям европейских двигателей.

По классификации АСЕА для бензиновых двигателей предлагается 3 категории масел: АСЕА А1-96, АСЕА А2-96, АСЕА А3-96.

Для дизельных двигателей легковых автомобилей предлагаются: АСЕА В1-96, АСЕА В2-96, АСЕА В3-96.

Для дизельных двигателей грузовых автомобилей: АСЕА Е1-96, АСЕА Е2-96, АСЕА Е3-96.

Увеличение номера группы означает увеличение эксплуатационных характеристик масла.

Примеры: обозначение АСЕА А3-96/В3-96 означает универсальное масло высшей категории качества для всех типов двигателей легковых автомобилей, АСЕА Е2-96/В3-96/А2-96 – универсальное масло для смешанных парков легковых и грузовых автомобилей, микроавтобусов и автобусов.

### ***Контрольные задания и вопросы***

	Условия задачи (дополнительные данные см. табл. 5 и рис. 1)
	Рассчитать вязкость масел М8Г (ИВ=85), М4з/10Г (ИВ=120), М12Г (ИВ=95) при 0 и -20 °С
	Рассчитать вязкость масел М10Г (ИВ=90), М5з/12 (ИВ=125) при 0 и -20 °С
	Построить вязкостно-температурную характеристику для масел М6з/10 и SAE10w-30 (ИВ=110)
	Найти вязкость масел М10Г (ИВ=90) и М4з/10 Г (ИВ=120) при -10, 0 и +10 °С
	Найти вязкость масел SAE10w-30 (ИВ=110) и 15w-40 (ИВ=125) при 0 и -15 °С
	Построить вязкостно-температурную характеристику для масел М4з/8

	(ИВ=130) и SAE5w-20 (ИВ=130)
	При какой температуре масла М10Г (ИВ=90), М6з/10 (ИВ=110) и SAE5w-20 (ИВ=130) будут иметь вязкость 2000сСт?
	Как отличается вязкость масел М10, с индексами вязкости, равными 90, 100, 125 при -15°C?
	Каков должен быть индекс вязкости масла, имеющего вязкость $\nu_0=14$ сСт, чтобы при -18°C вязкость его не превышала: а)3000сСт? б)8000сСт? Подтвердите расчетом, приведите возможные марки масел.
0	Если вязкость масла при запуске двигателя не должна превышать 6000сСт, при какой минимальной температуре удастся запустить двигатель на маслах М10 и М6з/10?
1	Если вязкость масла при запуске двигателя не должна превышать 4000сСт, при какой минимальной температуре удастся запустить двигатель на маслах SAE10w-30, SAE 40?
2	Какова предельная вязкость масла для холодного запуска двигателя ВАЗ-2108?
3	Какова должна быть мощность стартера для запуска двигателя ВАЗ-2108 при вязкости масла 11000сСт и 6000сСт при -18°C?
4	При какой минимальной температуре можно запустить двигатель ВАЗ-2106 на маслах М10Г и М4з/10?
5	На каком масле (марка) удастся запустить двигатель ВАЗ-2106 при температуре -30°C? (рассчитать).
6	Какова максимальная вязкость масла для запуска двигателя ГАЗ-24 от стартера?
7	Какова максимальная вязкость масла для запуска двигателя КАМАЗ от стартера. При какой минимальной температуре удастся запустить двигатель на масле М10Г <sub>2</sub> ?
	Какова должна быть мощность стартера для запуска двигателя ВАЗ при

8	вязкости масел 3500, 5000 и 15000сСт?
9	Какова должна быть мощность стартера ЗИЛ-130 для запуска двигателя на масле вязкостью 10000сСт?
0	Какова минимальная температура запуска двигателя ВАЗ-2108 на маслах М4з/8, М6з/12 и SAE5w-40?
1	Достаточна ли мощность стартера для запуска двигателя ВАЗ-2108 при температуре -25°С на маслах М8Г <sub>1</sub> , М6з/10Г <sub>1</sub> ?

Таблица 5 - Дополнительные данные для расчета

Двигатель	Мощность стартера, л.с./кВт	Диаметр поршня, см.	Радиус кривошипа, см.	Диаметр коренной шейки, см.	Длина коренной шейки, см.	Диаметр шатунной шейки, см.	Длина шатунной шейки, см.
ВАЗ-2108	1.77/1.30	7.6	3.3	5.1	2.18	4.8	2.16
ГАЗ-24	2.0/1.47	9.2	4.6	5.57	2.38	5.28	2.36
ЗИЛ-130	2.4/1.8	10.0	4.75	8.5	6.0	7.55	6.0
КАМАЗ	10.5/7.72	12.0	6.0	9.5	10.0	8.0	8.0

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуреев А.А., Фукс И.С., Лашхи В.Л., Химмотология. М.: Химия, 1986, 368с.
2. Гуреев А.А., Применение автомобильных бензинов. М.: Химия, 1972, 364с.
3. Итинская Н.И., Кузнецов Н.А. Топливо, масла и технические жидкости: Справочник. М.: Агропромиздат, 1989, 304с.
4. Манусаджянц О.И., Смаль Ф.В. Автомобильные эксплуатационные материалы. М.: Транспорт, 1989, 271с.
5. Обельницкий А.М. Топливо и смазочные материалы. М.: Высшая школа, 1982, 208с.
6. Папок К.К. Химмотология топлив и смазочных масел. М.: Воениздат, 1980, 192с.
7. Ховах М.С. Автомобильные двигатели. М.: Машиностроение, 1977, 521с.

Методические материалы

СОСТАВ И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА МОТОРНЫХ ТОПЛИВ  
И МАСЕЛ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ДВС

Методические указания

Составители Н.А. Кудрявцева, С.В. Крашенинников.

Редактор

Компьютерная вёрстка Пулькина А.Ю.

Подписано в печать \_\_\_\_\_. Формат 60x84 1/20

Бумага офсетная. Печ. л. \_\_\_\_\_.

Тираж \_\_\_\_\_ экз. Заказ \_\_\_\_\_ . Арт. \_\_\_\_\_ / 2018.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ.  
АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА (СГАУ)»  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)  
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.

---

Изд-во Самарский государственный аэрокосмический  
университет имени академика С.П. Королева  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.