



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

**В.Н. Петухов**  
**Н.Ю. Свечникова**  
**С.В. Юдина**

## **ХИММОТОЛОГИЯ**

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия*

Магнитогорск  
2019

**Рецензенты:**

начальник КХЛ АО «Уральская сталь»

**Е.А. Миленина**

кандидат технических наук,  
заведующий кафедрой промышленной экологии  
и безопасности жизнедеятельности,

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова»

**А.Ю. Перятинский**

**Петухов В.Н., Свечникова Н.Ю., Юдина С.В.**

**Химмотология** [Электронный ресурс] : учебное пособие / Василий Николаевич Петухов, Наталья Юрьевна Свечникова, Светлана Владимировна Юдина ; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Электрон. текстовые дан. (0,8 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2019. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования : IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-9967-1658-6

Пособие содержит в себе основную научно-техническую информацию о свойствах всех видов нефтяных топлив, нефть как химическое сырье и энергоноситель в народном хозяйстве, научные основы химмотологии, тепловые двигатели и классификация топлив, эксплуатационные свойства топлив, бензины, дизельные топлива, топлива для реактивных двигателей и их свойства, топлива для газотурбинных и котельных установок.

Пособие предназначено для бакалавров и магистров по направлению «Стандартизация и метрология» профиль «Стандартизация и сертификация в химической промышленности», а также по направлению подготовки «Химическая технология» профилей «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов» и «Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» всех форм обучения, изучающих курс «Химмотология» в соответствии с учебной программой.

УДК 665.7.035

ISBN 978-5-9967-1658-6 © Петухов В.Н., Свечникова Н.Ю., Юдина С.В., 2019  
© ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова», 2019

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. НЕФТЬ КАК ХИМИЧЕСКОЕ СЫРЬЕ И ЭНЕРГОНОСИТЕЛЬ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ .....	5
2. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ХИММОТОЛОГИИ. ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТОПЛИВ.....	11
3. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ТОПЛИВ .....	19
5. ДИЗЕЛЬНЫЕ ТОПЛИВА.....	41
6. ТОПЛИВА ДЛЯ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ .....	55
7. ТОПЛИВО ДЛЯ ГАЗОТУРБИННЫХ И КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК.....	65
ТЕСТ ПО КУРСУ «ХИММОТОЛОГИЯ» .....	74
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	76

## ВВЕДЕНИЕ

Изучение курса «Химмотологии» является необходимым звеном в программе подготовки специалиста в области химической технологии нефти, топлив и масел, требуемых на предприятиях топливно-энергетического комплекса, в частности, на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях.

Пособие предназначено для бакалавров и магистров по направлению «Стандартизация и метрология» профиль «Стандартизация и сертификация в химической промышленности», а также по направлению подготовки «Химическая технология» профилей «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов» и «Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» всех форм обучения, изучающих курс «Химмотология» в соответствии с учебной программой.

В пособие согласно ФГОС ВО включены разделы: нефть как химическое сырье и энергоноситель в народном хозяйстве, научные основы химмотологии, тепловые двигатели и классификация топлив, эксплуатационные свойства топлив, бензины, дизельные топлива, топлива для реактивных двигателей и их свойства, топлива для газотурбинных и котельных установок.

Пособие содержит в себе основную научно-техническую информацию о свойствах всех видов нефтяных топлив, о их современных и перспективных марках и методах улучшения их качества.

Для самоконтроля изучающих данный курс в пособие включены контрольные вопросы по разделам и тестовое задание.

В конце пособия приведен перечень литературы, рекомендуемый при изучении данного курса [1-17].

# 1. НЕФТЬ КАК ХИМИЧЕСКОЕ СЫРЬЕ И ЭНЕРГОНОСИТЕЛЬ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

## *Состояние топливно-энергетического комплекса в мире*

Ускоренное развитие технического потенциала страны невозможно без развития топливно-энергетических ресурсов.

Существенное повышение эффективности энергетики возможно за счет увеличения доли нефти и газа в топливно-энергетическом балансе.

Широкое применение нефтяных фракций в качестве топлив обусловлено их высокой теплотворной способностью, относительно низкой стоимостью и удобствами использования. При сгорании 1 кг нефтяного топлива выделяется более 41700 кДж тепла, тогда как 1 кг угля при сгорании выделяет примерно 33300 кДж, а 1 кг древесины около 19500 кДж [1].

Себестоимость добычи нефти ниже себестоимости разработки угля. Жидкие нефтяные топлива легко транспортировать, сжигать, при этом они сгорают без образования зольных продуктов. Все эти преимущества привели к быстрому росту их потребления.

Однако нефть относится к невозобновляемым видам сырья, запасы ее в недрах земли ограничены. Старые месторождения истощаются. В недрах остается около 40-50% запаса. Новые месторождения нефти открывают, как правило, в труднодоступных, малообжитых районах, либо на морском шельфе. Затраты на добычу нефти увеличиваются.

Все эти обстоятельства привели к тому, что темпы роста добычи нефти снижается во многих странах мира. Возникло несоответствие между все возрастающими потребностями в топливах для двигателей внутреннего сгорания и возможностями удовлетворения этих потребностей нефтеперерабатывающей промышленностью. Для преодоления такого несоответствия необходимы усилия как производителей топлива, так и их потребителей, то есть всех практически отраслей промышленности.

ТЭК России базируется на собственных энергетических ресурсах. В 1988 году в России было получено 13% всей энергии, производимой в мире, при том, что её население составляет менее 3% Земли. Тепловая энергетика России достаточно хорошо обеспечена запасами органического топлива. Однако растут издержки добычи органического топлива, постепенно нарастают экологические проблемы.

Себестоимость производства электроэнергии на атомных электростанциях примерно в два раза ниже, чем от топливных электростанций.

Достоверные (разведанные) российские ресурсы (относительно мировых запасов): нефть — 13,4 %; природный газ — 41,7 %; каменный уголь — 43 %.

Одна из важнейших стратегических задач страны, которую поставил президент в своём указе — сократить к 2020 году энергоёмкость отечественной экономики на 40%. В 2009 году в России было добыто 494 млн тонн нефти (2-е место в мире), что на 1,2% выше уровня 2008 года. Запасы жидких углеводородов на 2007 год оценивались в размере не менее 9,5 млрд. т.

Крупнейшие нефтяные месторождения России — Самотлорское, Приобское, Русское, Ромашкинское. В 2000—2008 годах были введены в действия мощности по добыче и переработке нефти на 20,7 млн тонн.

Согласно данным Госкомстата РФ в 2007 году добыто 491 млн тонн нефти, что на 2,1 % больше, чем в 2006 году (480 млн тонн), в результате темпы роста добычи нефти в России превысили темпы роста мирового спроса на нефть более чем в полтора раза.

По данным статистического агентства США в 2007 году потребление переработанной нефти в России составило 28,9% от добычи нефти — 2,8 млн. баррелей в день. Чистый экспорт нефти и нефтепродуктов составил 71,1% от добычи нефти — 6,9 млн. баррелей в день. Самое большое потребление нефти (энергии) в Польше – 98%, потом в Чехии – 68%, а в России – 40%. В мире 90 % нефти сжигают в двигателях машин.

### *Состав и физико-химические свойства нефти*

Нефть представляет собой маслянистую жидкость, полный химический состав которой определить современными методами практически невозможно. В нефти содержится 83-87% углерода и 11-13% водорода. Различают фракционный, углеводородный и неуглеводородный состав нефти [2].

*Фракционный состав нефти:*

*Фракцией* нефти называются все химические соединения, которые кипят в заданном интервале температур, эти температуры являются границами кипения или пределами выкипания. Так, температура начала кипения называется – температура начала кипения (ТНК), а температура выкипания (100 %) – точка выкипания – (ТВ). Различают следующие фракции нефти:

Таблица 1.1

Фракционный состав нефти

№	Температура кипения	Фракции
1	≤32°C	Газовая (до C <sub>5</sub> )
2	32 - 105°C	Газолиновая (бензин)(C <sub>5</sub> – C <sub>11</sub> )
3	105 - 160°C	Лигроиновая (C <sub>8</sub> – C <sub>14</sub> )
4	160 - 230°C	Керосин (C <sub>12</sub> – C <sub>16</sub> )
5	230 - 430°C	Газойль (C <sub>13</sub> – C <sub>18</sub> )
6	≥430°C	Мазут, остаток (> C <sub>18</sub> )

*Углеводородный состав нефти:*

-парафины C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>, с n=1-4 газы, с n=5-15 жидкие и с n> 16 твердые углеводороды. Парафины являются желательным компонентом дизельных топлив и нежелательным в составе бензина. Они снижают низкотемпературные

свойства топлив из-за образования кристаллической решетки при понижении температуре;

-ароматические углеводороды  $C_nH_{2n-6}$ . Они содержатся во всех фракциях нефти, имеют хорошую растворимость, но высокотоксичны;

-нафтены (циклические)  $C_nH_{2n}$  - очень важные компоненты нефти они улучшают эксплуатационные свойства бензинов, являются сырьем для получения ароматических веществ.

*Неуглеводородные соединения нефти:*

1. *Сера.* Ее содержание в нефти составляет от 0,03 до 6%. Сера в нефти содержится в виде:

а) сероводород и меркаптаны – до 10% об. серы;

б) сульфиды, дисульфиды, 7-40 % об. серы;

в) тиофаны и тиофены (циклические серосодержащие соединения), 50-90% об. серы.

Сера один из нежелательных элементов, содержащихся в нефти. Соединения серы в нефти вызывают коррозию деталей машин. Чем больше серы в нефти, тем выше ее вязкость.

2. *Азотистые соединения.* Общее содержание азота в нефти 0,6 масс.%. Азот в нефти содержится в виде:

а) аминов:  $R-NH_2$ ,  $R-NH-R$ ,  $R-N-R_2$ ;

б) гетероциклических соединений (пиридин, ксенолин, пиперидин);

в) пятичленных азотистых соединений (пиррол).

Азот в нефти имеет антисептические и антикоррозионные свойства, отрицательные свойства – уменьшает действие катализатора при переработке. Повышенное содержание азота способствует осмолению нефти.

3. *Высокомолекулярные соединения.* Высокомолекулярные вещества в нефти это (парафины)  $C_{32}H_{36}N$ . ВМС являются доказательством органического происхождения нефти.

4. *Элемент-органические соединения.* К ним относятся в основном металлы: V, Na, Al, Si, и т.д. Всего в нефти содержится около 30 металлов, содержание их меньше 0,05%.

5. *Кислородсодержащие соединения.* Содержатся в нефти от 0,05% до 0,1%. В основном представлены в виде: карбоновых и нафтеновых кислот, фенолов.

6. *Минеральные вещества.* Минеральные вещества в нефти — это зола и вода. Содержание золы в пределах 0,05-0,3%. Зола – это окислы металлов Fe, Ca, Mg, Al и др. Кроме того в нефти присутствуют соли  $CaCl_2$ ,  $MgCl_2$ , при взаимодействии их с водой образуется кислота, способствующая коррозии в нефти.

### **Физико-химические свойства нефти**

Нефть — жидкость от светло-коричневого (почти бесцветная) до тёмно-бурого (почти черного) цвета. Средняя молекулярная масса 220—300 г/моль (редко 450—470). Плотность 0,65—1,05, обычно 0,82—0,95 г/см<sup>3</sup>.

Температура застывания от  $-60$  до  $+30$  °С, зависит преимущественно от содержания в нефти парафина, чем его больше, тем температура застывания выше и от содержания лёгких фракций: чем их больше, тем эта температура ниже.

Вязкость изменяется в широких пределах от 1,98 до 265,90 мм<sup>2</sup>/с для различных нефтей, добываемых в России, определяется фракционным составом нефти и ее температурой (чем она выше и больше количество лёгких фракций, тем ниже вязкость), а также содержанием смолисто-асфальтеновых веществ (чем их больше, тем вязкость выше).

Удельная теплоёмкость нефти - 1,7—2,1 кДж/(кг·К); удельная теплота сгорания (низшая) - 43,7—46,2 МДж/кг; диэлектрическая - 2,0—2,5; электрическая проводимость от  $2 \cdot 10^{-10}$  до  $0,3 \cdot 10^{-18}$  Ом<sup>-1</sup>·см<sup>-1</sup>.

### **Технологическая классификация нефти по ГОСТ Р 51858 – 2002 «Нефть»**

8 января 2002 года введен и с изменениями утвержден в августе 2005 года ГОСТ Р 51858 – 2002 «Нефть». В нем содержится определение сырой и товарной нефти, а также нефть классифицируется по классам, типам, группам и видам.

Согласно ГОСТ Р 51858 – 2002 *сырая нефть* – это жидкая природная смесь углеводородов широкого фракционного состава, которая содержит растворенные газы, воду минеральные соли, механические примеси и служат основным сырьем для производства жидких энергоносителей.

*Товарная нефть* – это нефть, подготовленная для поставки потребителям в соответствии с требованиями, действующих нормативов и технических документов.

Согласно ГОСТ Р 51858 – 2002 нефть классифицируется на типы - по плотности, на классы — по содержанию серы, на группы — по степени подготовки, на виды - по содержанию сероводородов и меркаптанов табл. 1.2, 1.3, 1.4, 1.5.

Таблица 1.2

Технологическая классификация нефти на классы  
(по содержанию серы)

Класс нефти	Наименование	Массовая доля серы, %
1	малосернистая	$\leq 0,6$
2	сернистая	0,61 – 1,8
3	высокосернистая	1,81 – 3,5
4	Особо высокосернистая	$>3,5$

Таблица 1.3

Технологическая классификация нефти на типы (по плотности)

Тип	Название	$\rho_{20}^4$ , г/см <sup>3</sup>
0	Особо легкая	$\leq 0,8300$
1	Легкая	0,8301 – 0,8500
2	Средняя	0,8501 -0,8700
3	Тяжелая	0,8701 – 0,8950
4	Битуминозная	$>0,8950$

Таблица 1.4

Технологическая классификация нефти на группы  
(по степени подготовки)

Наименование показателя	Норма для группы нефти		
	1	2	3
Содержание воды, %, не более	0,5	0,5	1
Концентрация хлоридов, мг/дм <sup>3</sup>	100	300	900
Механические примеси, %, не более	0,05	0,05	0,05
Давление насыщенных паров, кПа (мм рт. ст.)	66,7 (500)	66,7 (500)	66,7 (500)
Содержание фракции органических соединений хлора, выкипающей до температуры 204 <sup>0</sup> С млн <sup>-1</sup> , не более	10		

Таблица 1.5

Технологическая классификация нефти на виды  
(по содержанию сероводородов и меркаптанов)

Показатель	Вид нефти	
	1	2
Содержание H <sub>2</sub> S (не более, млн <sup>-1</sup> )	20	100
Суммарное содержание метил- и этилмеркаптанов (не более, млн <sup>-1</sup> ) (ppm)	40	100

Если по одному из показателей нефть относится к типу или группе с меньшим номером, а по-другому к большему, то нефть признают соответствующей большему типу или группе. При поставке на экспорт к обозначению типа добавляют индекс - «Э».

Например, Туймазинская нефть с массовой долей серы 1,44% (класс 2); с плотностью при 20<sup>0</sup>С - 856 кг/м<sup>3</sup> (тип 2), с массовой долей воды - 0,3%, с

концентрацией хлоридов - 30 мг/дм<sup>3</sup> (группа 1), с массовой долей меркаптанов - 10 ppm (вид 1), обозначается следующим образом:

«Нефть. 2.2.1.1 ГОСТ Р 51858-2002» или на экспорт «Нефть. 2.2э.1.1 ГОСТ Р 51858-2002».

### **Контрольные вопросы к разделу 1**

1. Какова роль нефти в мировом топливно-энергетическом комплексе?
2. Укажите углеводородный и неуглеводородный состав нефти?
3. Как влияют неуглеводородные соединения нефти на качество нефти и нефтепродуктов?
4. Как классифицируется нефть согласно ГОСТ Р 51858 – 2002?

## **2. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ХИММОТОЛОГИИ. ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТОПЛИВ**

Химмотология рассматривает вопросы, связанные с эксплуатационными свойствами и качеством горюче-смазочных материалов (ГСМ), а также с общими вопросами о работе двигателей, станков, машин и механизмов.

Основоположниками химмотологии являются Благовидова И.Ф., Великовский Д. С., Фукс Г. И., Крейн С. Э. [3].

Химмотология опирается на такие науки, как физика органическая, физическая и коллоидная химия, теплотехника, машиноведение, экономика и экология.

Задачи химмотологии – это экономное и рациональное использование нефти. Формирование химмотологии вызвано тем, что топлива и смазочные материалы высокого качества требуются во все возрастающем количестве, так как использование топлив с низким качеством приводит к снижению надежности двигателей, машин и механизмов.

Топлива – это источник энергии для двигателей и машин, а смазочные материалы – средства снижения трения и износа механизмов.

Развитие всех видов техники обязательно сопровождается повышением их долговечности и безотказности в работе.

Совершенствование двигателей невозможно без улучшения эксплуатационных свойств применяемых топлив и смазочных материалов. Поэтому в народном хозяйстве наблюдается не только непрерывный рост объема потребления топлив и массы, но и повышение требований к их качеству и улучшения важнейших эксплуатационных свойств. Следует отметить, что для решения многих практических задач НТР вызвала к жизни ряд новых отраслей знаний на стыке фундаментальных наук. К числу их относится и химмотология, которая призвана изучать эксплуатационные свойства и качество топлив и смазочных материалов, теорию и практику их рационального использования в двигателях машинах и механизмов.

Формирование химмотологии в самостоятельное направление науки и повышение ее роли в решении задач топливно-энергетического баланса страны вызваны следующими обстоятельствами:

а) топлива и смазочные материалы очень высокого качества производят и потребляют в настоящее время во все возрастающих объемах. В связи с этим научно-техническое и экономическое обоснование требований к качеству топлив и смазочных материалов, оптимизация уровня каждого их эксплуатационного свойства и выбор технологии для достижения уровня стали такими проблемами, которые обусловлены расходом больших материальных средств. Использование же топлив и смазочных материалов с необоснованным запасом качества приводит к нерациональным расходам в НП промышленности, а потребление топлив и смазочных материалов, не отвечающих требованиям эксплуатации – к снижению надежности двигателей, машин и механизмов;

б) в качестве топлив для всех видов техники применяют продукты переработки нефти. Действительно жидкие нефтяные топлива – это ценный универсальный энергоноситель, удобный и при транспортировании, и при применении и потребность в нем с каждым годом возрастает. Однако возможности расширения добычи нефти ограничены. Растут и расходы на транспорт и переработку нефти. Поэтому, экономное и рациональное использование нефтепродуктов – одно из главных направлений химотологии;

с) в связи с ограниченностью нефтяных ресурсов возникла необходимость использования альтернативных топлив, производимых из более широкого использования газообразных углеводородных топлив, применение спиртов, эфиров. Жидкие и газообразные топлива не нефтяного происхождения отличаются от нефтепродуктов некоторыми особенностями и изучение их эксплуатационных свойств, а также химотологическое обоснование эффективного использования в двигателях приобретают все более важное значение.

Поэтому вопросы качества топлив будут иметь решающее значение в определении перспектив развития как топливного производства, так и двигателестроения.

Научное обоснование требований двигателей к качеству топлив, определение оптимального уровня основных показателей всех видов топлива, оценка эксплуатационных свойств топлив из различных видов сырья – все эти вопросы, составляющие основную задачу химотологии, приобретают первостепенное значение в развитии народного хозяйства страны.

Отмеченные выше обстоятельства способствовали развитию и становлению химотологии, как новой отрасли знаний, призванной изучать широкий круг вопросов теоретического и практического значения в следующих 3-х основных направлениях, каждое из которых охватывает несколько проблем.

- Исследование комплекса физико-химических процессов, протекающих в двигателях и машинах при использовании топлив с целью разработки путей управления этими процессами и выявления взаимных связей между качеством топлив, и смазочных материалов и надежностью работы двигателей.

- Оценка и обоснование требований к качествам применяемых топлив и смазочных материалов в разных условиях эксплуатации.

- Определение и ТЭО оптимального уровня эксплуатационных свойств топлив и смазочных материалов.

- Разработка и испытание альтернативных видов топлив и синтетических смазочных материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами или более широкими сырьевыми ресурсами.

- Разработка и испытание новых видов присадок, добавок и компонентов, а также других методов улучшения эксплуатационных свойств и расширения ресурсов топлив и смазочных материалов.

## ***Повышение эффективности использования топлив и смазочных материалов***

- Разработка и научное обоснование норм расхода и мероприятий по экономии топлив и смазочных материалов в условиях эксплуатации двигателей, машин и механизмов.

- Обеспечение сохранности качества топлив и смазочных материалов в процессе транспортирования и хранения.

- Классификация и маркировка топлив и смазочных материалов.

- Унификация сортов и марок топлив и смазочных материалов.

- Обеспечение взаимозаменяемости отечественных и зарубежных топлив и с/м.

- Разработка методов восстановления качества некондиционных и отработавших топлив и смазочных материалов.

## ***Создание и совершенствование систем и методов оценки качества топлив и смазочных материалов***

- Разработка и совершенствование методов оценки эксплуатационных свойств топлив и смазочных материалов.

- Создание и обоснование комплексов методов квалификационной оценки качества топлив и смазочных материалов.

- Определение соответствия между данными лабораторных испытаний и свойствами топлив и смазочных материалов в эксплуатации.

- Совершенствование приборов и методов аналитического контроля качества топлива и смазочных материалов.

- Совершенствование стандартов и ТУ на топлива, смазочные материалы и методы их испытаний.

В настоящее время при огромных масштабах производства топлив и в условиях нехватки нефтяного сырья на первый план выходят проблемы экономии и обеспечения ресурсов, а не повышение качества. Очевидно, отдельные эксплуатационные свойства топлив будут улучшаться и впредь, при этом не должны сокращаться ресурсы топлив и существенно увеличиваться их себестоимость.

## ***Классификация и принцип работы тепловых двигателей***

*Тепловой двигатель* – это устройство, для преобразования химической энергии сгорающего топлива в механическую работу или кинетическую энергию продуктов сгорания.

Тепловые двигатели подразделяют на 2 группы:

- двигатели с внешним сгоранием;

- двигатели внутреннего сгорания (ДВС)

Двигатели внешнего сгорания бывают паровые и газовые турбины.

Наиболее распространены ДВС. Их делят по способу сжигания на:

- двигатели с периодическим сгоранием топлива (поршневые);
- с непрерывным сгоранием топлива (реактивные ракетные двигатели).

Поршневые ДВС могут классифицироваться и по другим признакам:

- быстроходности;
- развиваемой мощности;
- способу смесеобразования;
- наполнению рабочих цилиндров;
- расположению рабочих цилиндров.

ДВС могут быть двухтактные и четырехтактные. Двухтактные применяются в мотоциклах, лодках, они маломощные. Больше распространение получили четырехтактные ДВС.

Также поршневые ДВС классифицируют по:

- назначению;
- применяемому топливу (бензиновые, дизельные);
- способу воспламенения (принудительное, самовоспламенение);
- осуществлению рабочего цикла (четырёхтактные, двухтактные);
- скорости вращения коленчатого вала (мало-, средне-, высокооборотные);
- устройству маслосистемы (циркуляционная, с разбрызгиванием и другие);
- степени форсированности (мало-, средне-, высоко-, нефорсированные);
- способу охлаждения (воздушный, жидкостный).

В наиболее распространенных ДВС основные процессы – сжигание топлива, выделение теплоты и ее преобразование в механическую – происходит непосредственно внутри двигателя. Такие двигатели используют в качестве силовой установки во всех видах транспорта.

Первыми тепловыми машинами с внутренним сгоранием были поршневые двигатели, характерной особенностью которых является периодичность процесса сгорания. В последние 40-50 лет интенсивно развивается другая группа двигателей внутреннего сгорания, куда входят реактивные двигатели и газовые турбины, процесс сгорания в которых осуществляется непрерывно.

Спецификой работы поршневых двигателей с периодическим сгоранием топлива (поршневые двигатели) является цикличность, обусловленная периодичностью процесса сгорания топлива, т.е. того процесса, в результате которого преобразуется тепловая энергия в механическую. Поступательное движение поршня передается через шатун на каленвал, где оно преобразуется во вращательное движение. Последнее, как правило, и требуется потребителю механической энергии.

Процесс сгорания в поршневом двигателе осуществляется в ограниченном объеме камеры сгорания и для совершения полезной работы используется расширение продуктов сгорания. После стадии расширения газов для сжигания новой порции топлива необходимо удалить отработавшие газы из рабочей полости двигателя и вновь создать топливовоздушную смесь соответствующего состава. Таким образом, возвратно-поступательное движение поршня в

цилиндре двигателя обеспечивает возможность сжигания топлива лишь последовательными порциями. При этом, сгоранию каждой порции должен предшествовать ряд подготовительных стадий, которые протекают в цилиндре двигателя в строгой последовательности. Совокупность всех процессов называют *рабочим циклом*, и эти циклы во время работы двигателя периодически повторяются. Полезная работа, совершаемая двигателем, зависит от того, сколько воздуха находится в камерах сгорания и соответственно, сколько топлива можно сжечь в этом объеме воздуха. Чем больше объем цилиндра, тем большую мощность можно получить при сгорании топлива. Другой путь - способ надува для этого нужен компрессор.

Дизельный двигатель ДВС отличается от бензинового тем, что в нем отсутствует свеча зажигания. Работа двигателя происходит за счет самовоспламенения, а для бензинового двигателя самовоспламенение не используется, его стараются избежать. В дизельном двигателе топливо не смешивают с воздухом, прежде чем попасть в цилиндр. В цилиндр подается воздух, затем он нагревается за счет сжатия. Когда поршень достигает верхней точки в цилиндр впрыскивают топливо, при контакте топлива с воздухом происходит воспламенение и подается остаток топлива, в которой тоже возгорается. В дизельном топливе более точная механика в отличие от бензинового. Рабочее давление в дизельном двигателе находится в пределах 170 – 700 атм. [4].

### ***Классификация топлив***

Топлива классифицируются по назначению, по сырьевому источнику, по технологии получения.

*По назначению:*

- а) для бензиновых двигателей;
- б) для дизельных двигателей;
- в) для газотурбинных двигателей;
- г) для котельных агрегатов;
- д) для маломощных отопительных установок;

*По сырьевому источнику:*

- а) нефтяные топлива;
- б) альтернативные топлива (спирт, уголь, газ, пылевидное топливо, жидкий водород).

*По технологии получения:*

- а) прямогонные топлива (первичная переработка нефти);
- б) топлива вторичных процессов переработки нефти.

*Пути сбалансированного производства и потребления топлив*

1. *Увеличение ресурсов жидких нефтяных топлив за счет:*

- углубленной переработки нефти (крекинг, пиролиз);
- оптимизации качества топлива.

2. *Снижение расхода топлив в двигателях за счет:*

- совершенствования конструкций двигателя;
- снижения расхода топлив при эксплуатации двигателей;
- дизелизации автомобильного парка.

### 3. *Применение альтернативных топлив:*

- сжиженных газов;
- кислородосодержащих топлив (спиртов, эфиров);
- водорода.

### *Альтернативные топлива*

В условиях глобального экологического кризиса назрела необходимость постепенного перехода на использование альтернативного сырья для производства топлив и смазочных материалов. Можно выделить две основные решаемые при этом задачи:

- использование возобновляемых источников сырья;
- снижение загрязнения окружающей среды.

За рубежом в настоящее время при использовании альтернативных топлив объективную возможность снижения выброса диоксида углерода оценивают на 20% и до 50% в отдаленном будущем (по сравнению с нефтяными топливами).

Применяемые в настоящее время альтернативные топлива и высокооктановые добавки сильно различаются по токсичности. Сжиженные нефтяные газы (пропан-бутан) значительно менее токсичны (ПДК = 1800 мг/м<sup>3</sup>) по сравнению с нефтяными бензинами (100 мг/м<sup>3</sup>) и дизельными топливами (300 мг/м<sup>3</sup>). Различаются по экологическим свойствам высокооктановые спиртовые добавки в бензин — метанол (5 мг/м<sup>3</sup>) и этанол (1000 мг/м<sup>3</sup>). Сжиженные нефтяные газы при использовании в бензиновых автомобилях и дизелях снижают токсичность отработавших газов. Но из-за низкого цетанового числа (18—22) в конце такта сжатия необходим впрыск в цилиндр запальной порции 20—40% дизельного топлива, или двигатель должен быть дооборудован искровым зажиганием.

Значительные преимущества по экологическим свойствам имеют газожидкостные топлива, содержащие в смеси с низкооктановым бензином сжиженные нефтяные или сжатые природные газы. Такие топлива дешевле бензина, при раздельном хранении бензина и газа на борту и совместной подаче в камеру сгорания в отработавших газах образуется меньше в 1,5-2 раза СО и на 30% NO<sub>x</sub>. Практический интерес также представляют бензо-водородные и бензо-аммиачные топлива, при использовании которых в бензиновых и дизельных (с запальной порцией дизельного топлива) двигателях значительно снижается содержание СО и NO<sub>x</sub> в отработавших газах. Однако использование сжиженных газов требует более сложного криогенного оборудования из-за низких температур кипения (°С): пропан-бутана (-42), природного газа метана (-162), водорода (-252,8) и аммиака (-33).

Расширение использования альтернативных топлив на основе спиртов (метанол, этанол) и добавок простых эфиров (диметиловый, метил-трет-

бутиловый эфиры) может снизить в ближайшем будущем эмиссию в атмосферу оксидов углерода и азота. Перспективны в качестве альтернативных топлив растительные масла и продукты на их основе. Обусловлено это тем, что производство спиртов и эфиров в основном осуществляется из нефтяного сырья и, кроме повышенных затрат энергии, приводит к значительным выбросам в атмосферу диоксида углерода. В дальнейшем производство спиртовых топлив может способствовать росту таких выбросов, если уголь со временем станет основным источником получения метанола.

Можно выделить два направления использования растительного сырья:

- получение спиртовых топлив на базе сахарной свеклы, сахарного тростника, пшеницы, картофеля и соломы, а также биогазов и жидких топлив пиролизом сельскохозяйственных отходов (биомассы) и древесины;

- получение топлив на основе растительных жиров, а также маслоотходов пищевой промышленности и предприятий общественного питания; при этом возможно получение топлив всех видов: бензины, дизельные, котельные; преобладает производство дизельных топлив (так называемое «биодизельное» топливо); топлива на базе растительных масел лидируют среди альтернативных продуктов.

Потенциальным заменителем дизельного топлива являются сложные метиловые эфиры жирных кислот, получаемые из растительных масел в присутствии катализатора. Использование такого альтернативного топлива не требует модификации двигателя. Кроме того, биодизельное топливо более благоприятно по сравнению с нефтепродуктами по таким показателям, как содержание серы и аренов, температура вспышки, биоразлагаемость; выбросы содержат значительное количество твердых частиц, но имеют низкое содержание или отсутствие летучих органических и серосодержащих соединений. Однако биодизельные топлива в выхлопе дают большее количество оксидов азота (вероятно, ответственных за образование тропосферного озона в смоге), чем традиционные нефтяные; проблему решают путем совершенствования конструкции двигателя и использования каталитических дожигателей выхлопа. Биодизельные топлива склонны к помутнению и застыванию при более высоких температурах, чем нефтяные, что осложняет их использование в районах с холодным климатом. Биодизельное топливо можно смешивать с нефтяным; обычно используют смеси с содержанием «биокомпонента» от 5 до 20%. В производстве биодизельного топлива используется большое количество метанола, который весьма токсичен. Хорошая альтернатива — этанол, как менее токсичный и производимый из растительного сырья — кукурузы. Распространенным сырьем (84% от используемого) является рапсовое масло, наряду с которым применяют подсолнечное, соевое и белое пальмовое масла.

Однако не следует считать, что широкое использование растительных масел в качестве дизельных топлив позволит радикально решить экологические проблемы. Рапсовое масло, в частности, в своем составе содержит определенное количество соединений серы, концентрация которых варьируется в большом диапазоне и практически не поддается регулированию обычными

агротехническими приемами. Существенному снижению содержания серы способствуют все процессы очистки сырого масла (кроме кислотной рафинации).

Применение дизельного топлива на базе рапсового масла существенно снижает выбросы диоксида углерода, оксидов азота (на 50%), аренов и сажи (на 50%), но увеличивает — оксида углерода и углеводородов (выше, чем в случае нефтяных топлив, но без превышения допустимого предела). Использование сложных метиловых эфиров растительных масел снижает в отработавших газах долю аренов, но повышает образование оксидов азота. В состав отработавших газов могут также входить альдегиды и кетоны. Запах отработавших газов во всех случаях более интенсивен, чем в случае нефтяных топлив.

### **Контрольные вопросы к разделу 2**

1. Что изучает наука химмотология?
2. Каковы основные задачи химмотологии?
3. Приведите классификацию и принцип работы тепловых двигателей.
4. Приведите классификацию топлив.
5. Какие виды альтернативных топлив существуют?
6. Что такое биодизельное топливо?

### 3. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ТОПЛИВ

Под эксплуатационными свойствами понимают объективные особенности топлива, которые проявляются в процессе применения его в технике.

В соответствие с назначением топлива процесс сгорания является главным и определяющим его эксплуатационные свойства. Эксплуатационное свойство формируется и обуславливается несколькими показателями качества топлива:  $Q_{\text{низш}}^{\text{сгор}}$ , детонационной стойкостью, пределами стабильного горения и др. Совокупность всех показателей, как единое эксплуатационное свойство топлива получила название – горючесть.

В настоящее время по рекомендации ГОСТ 425-83 рассматривают и оценивают следующие эксплуатационные свойства топлив:

-*испаряемость* – способность топлива переходить из жидкого состояния в газообразное (зависит от фракционного состава, давления насыщенных паров при различных температурах);

-*воспламеняемость* – характеризует особенности процесса воспламенения смеси паров топлива с воздухом;

-*горючесть* – определяет эффективность процесса горения топлив воздушных смесей в камерах сгорания двигателей;

-*прокачиваемость* – характеризует поведение топлива при перекачках его по трубопроводам и при фильтрации (зависит от вязкости, наличия воды, наличие примеси и др.);

-*склонность к образованию отложений* – способность топлива образовывать отложения различного рода в камерах сгорания, клапанах, в топливных системах. Зависит от зольности, коксуемости и содержания смолистых веществ и т.д.;

-*коррозионная активность и совместимость с неметаллическими материалами* – характеризует способность топлива вызывать коррозию металла, разрушение или изменение свойств резин, герметиков и других материалов;

-*защитная способность* – способность топлива защищать от коррозии материалы при их контакте с агрессивной средой в присутствии топлива и в первую очередь защищать металлы от электрохимической коррозии при попадании воды;

-*противоизносные свойства* – характеризуют уменьшение изнашивания трущихся поверхностей в присутствии топлива;

-*охлаждающая способность* – определяет возможность топлива поглощать и отводить тепло от нагретых поверхностей при использовании топлива в качестве теплоносителя;

-*стабильность* – характеризует сохраняемость показателей качества топлив при хранении и транспортировании;

-*взаимозаменяемость (преемственность)* – характеризует соответствие показателей качества отечественных и зарубежных топлив аналогичного назначения;

-экологические свойства – характеризуют воздействия топлива и продуктов его сгорания на человека и окружающую среду.

В зависимости от вида топлива и его назначения значимость того или иного эксплуатационного свойства может быть больше или меньше.

### **Испаряемость топлив**

*Испаряемость* - главное эксплуатационное свойство топлив. *Испарение* – это самопроизвольный процесс перехода жидкости в газ происходит при любой температуре и с поверхности жидкости. Испаряемость характеризуется давлением насыщенного пара.

*Давление насыщенного пара* – это мера поверхностного давления, которое необходимо для того чтобы жидкость не испарялась. Легкокипящие жидкости имеют большое давление насыщенных паров. Чем больше давление насыщенного пара топлива, тем меньше температура кипения и выше его испаряемость.

Давление насыщенного пара зависит от состава и температуры. Зависимость давления насыщенного пара от температуры выражается уравнением Клаузиуса-Клапейрона.

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta H_{исп}}{T} * \Delta V, \quad (3.1)$$

где  $\Delta H_{исп}$  - теплота испарения жидкости, кДж/моль;

$\Delta V$  – изменение объема при фазовом переходе.

С ростом температуры давление насыщенного пара увеличивается по экспоненциальной зависимости. Для увеличения скорости и полноты испарения топлива в двигателе необходимо увеличить площадь испарения топлива. Для этого производят тонкое распыление топлива, при этом увеличивается площадь или поверхность испарения жидкости.

Скорость испарения топлива зависит от парциального давления у поверхности топлива и в окружающей среде.

$$\frac{dm}{d\tau} = \beta * S * (P_s - P_0), \quad (3.2)$$

где  $\frac{dm}{d\tau}$  - скорость испарения жидкости (изменение массы во времени);

$\beta$  - коэффициент диффузии;

$S$  - площадь испарения;

$P_s$  – парциальное давление у поверхности;

$P_0$  - парциальное давление в окружающей среде.

Кроме того, испаряемость зависит от поверхностного натяжения жидкости и диаметра распыляемых капель

$$d = k * \sigma / V^2, \quad (3.3)$$

где  $d$  - диаметр распыляемых капель;

$k$  - постоянный коэффициент;

$\sigma$  - поверхностное натяжение жидкости;

$V$  - скорость потока распыления.

Поверхностное натяжение меньше у алканов, максимальное – у аренов, циклоалканы имеют промежуточное поверхностное натяжение.

Однако высокая испаряемость увеличивает потери топлива при хранении, транспортировке, заправке или сливе топлива. Нормы естественных потерь топлива за счет испарения составляют:

1. Бензин 2 – 3 кг/т в год;
2. Реактивное топливо 0,5 – 0,6 кг/т в год;
3. Дизельное топливо 0,1 - 0,12 кг/т в год.

### ***Воспламеняемость топлив***

*Воспламеняемость* – это процесс окисления компонентов топлива, сопровождается выделением тепла, возникновением пламени и ускорением термохимических превращений.

Существуют три механизма воспламенения: тепловой, цепной, смешанный, согласно которому воспламенение происходит, когда цепные реакции ускоряются сначала вследствие роста концентрации активных промежуточных продуктов, а затем под действием выделившегося тепла. Протекание самоускоряющихся реакций воспламенения возможно при условии – тепловыделение должно быть больше или равно теплоотведению. Это достигается за счет увеличения давления увеличение начальной температуры и снижение энергии активации.

Воспламеняемость зависит от соотношения паров топлива и воздуха, т.е. от смесеобразования. Теоретически для сгорания 1 кг топлива необходимо 15 кг воздуха. Отношение фактической массы воздуха к теоретически необходимой массе обозначается символом  $\alpha$ .

В зависимости от этого соотношения существуют:

- Нормальные смеси ( $\alpha=1$ );
- Богатые смеси ( $\alpha<1$ ) (много топлива мало воздуха);
- Бедные смеси ( $\alpha>1$ ) (мало топлива много воздуха).

Работа двигателя происходит при следующих режимах:

- 1) Прогрев и работа на холостом ходу  $\alpha=0,6 - 0,8$  (обогащенная смесь);
- 2) Нормальная эксплуатация двигателя ( $V= 90 - 100$  км/ч)  $\alpha=1,05 - 1,10$  (обедненная смесь);
- 3) Режим большой нагрузки двигателя  $\alpha= 0,8 - 0,9$  (смесь обогащенная).

### ***Горючесть топлива***

Горючесть топлива характеризуется низшей -  $Q_{\text{низи}}^{\text{сгор}}$  и высшей теплотой сгорания—  $Q_{\text{выси}}^{\text{сгор}}$ ,  $Q_{\text{низи}}^{\text{сгор}}$  – не учитывает тепло, выделившееся при конденсации паров воды в продуктах сгорания топлива.

$$Q_{\text{низи}}^{\text{сгор}} = Q_{\text{выси}}^{\text{сгор}} - 2,512 * M_{\text{п}} \quad (3.4)$$

где  $M_n$  – масса водяных паров, образующаяся при сгорании 1 кг топлива;  
2,512 – теплота парообразования воды, МДж.

$$Q_{\text{низи}}^{\text{сгор}} = 33,9 * C + 103 * H + 10,9 * (O - S) \quad (3.5)$$

где  $C, H, O, S$  – массовые доли элементов в составе топлива.

Чем больше отношение H/C, тем выше теплота сгорания. Максимальная теплота сгорания у алканов, а минимальное – у аренов, промежуточное – циклоалканов. Так,  $Q_{\text{низи}}^{\text{сгор}}$  бензина 43 – 44,5 МДж/кг, реактивного топлива 42,9 – 43,1 МДж/кг, дизельного топлива 42 – 42,5 МДж/кг, мазута 40,5 – 41,1 МДж/кг, бутана 46 МДж/кг, этанола 26,4 МДж/кг [5].

### ***Прокачиваемость топлив***

Прокачиваемость топлив зависит от вязкости топлива, содержание в нем механических примесей, содержание эмульсионной воды от образования паровых пробок в топливной системе.

В условиях эксплуатации в зимний период происходит глубокое охлаждение и ухудшение прокачиваемости топлива через фильтры, поэтому в стандартах существуют пределы по температуре кристаллизации топлива и по вязкости.

Прокачиваемость – важнейшее свойство для авиационных, судоводных и дизельных двигателей.

### ***Стабильность топлив***

Различают физическую, химическую, термоокислительную и биологическую стабильность топлива.

Физическая стабильность характеризует изменение свойств топлив при их частичном испарении, способность не расслаиваться и не образовывать осадков в процессе транспортировки и хранения. Это имеет значение при использовании спиртов в качестве добавок к топливу. Изменение физической стабильности может произойти при выпадении второй фазы в виде осадка. При снижении температуры в осадок могут выпасть кристаллы льда или углеводородов. При повышенных температурах, особенно летом происходит испарение топлив и частичное насыщение кислородом при хранении в резервуарах топлив. Это называется малое дыхание резервуаров. Потеря топлива при малом дыхании в год от 0,12 и 0,3% (соответственно для дизельных и бензина). Чем больше в топливе легкокипящих фракций, тем больше потери топлива. Для снижения потерь топлива необходимо применять следующие меры:

- а) уменьшение газового пространства в резервуаре;
- б) защита резервуара (емкости) от нагревания;
- в) покраска емкости;

г) улавливание паров.

К физической стабильности относится стойкость к расслаиванию. Топливо, содержащее только углеводороды, не расслаивается при любых температурах. А если попадает вода в топливо, то она не вымывает из топлива какие-либо компоненты, и после оттаивания топлив не изменяет своих свойств. Иначе ведут себя топлива, содержащие в качестве добавок кислородосодержащие соединения (спирты).

Кроме того, ароматические углеводороды повышают стабильность к расслаиванию спирто-углеводородной смеси. Наименее стабильны к расслаиванию смеси, содержащие от 20 до 50% этанола. Топлива, содержащие тяжелые фракции хуже смешиваются со спиртом и расслаиваются при более высоких температурах. Для предотвращения расслоения в бензин вводят 5-7% бутанола.

### *Химическая стабильность топлив*

При соприкосновении с воздухом нестабильные соединения топлива претерпевают изменения с образованием смолистых веществ сложного состава.

Химическая стабильность топлив зависит от состава и строения углеводородной части от содержания и природы неуглеводородных примесей, а также от температуры, концентрации, наличия катализаторов и др. Современные представления о механизме автоокисления базируются на пероксидной теории академика А.Н. Баха и теории разветвленных цепных реакций Н.Н. Семенова. Общая схема окисления включает: зарождение цепи – развитие цепи – разветвление цепи – обрыв цепи. Зарождение цепи начинается с возникновения первичных свободных радикалов  $2RH \rightarrow 2R + H_2$ . Они могут образовываться в результате термического или фотохимического воздействия взаимодействия с растворенным кислородом, а также химической реакцией с каким – либо индуцирующим веществом. Активный свободный радикал взаимодействует с кислородом с образованием активного и нестойкого пероксидного радикала  $R + O_2 \rightarrow ROO$ , который вступает в реакцию с новой молекулой исходного или другого углеводорода. Образуется гидропероксид и новый радикал, который продолжает окислительную цепь  $ROO + R'H \rightarrow ROOH + R'$ . Гидропероксиды могут разлагаться с образованием новых активных радикалов, которые дают начало разветвлению окислительных цепей:



Гидропероксиды могут претерпевать различные превращения с образованием сложной смеси стабильных конечных продуктов реакции:



$2ROO$  – молекулярное соединение

Взаимодействия подобного рода ведет к обрыву цепи.

Процесс автоокисления углеводородов является самоускоряющимся. Нужен период индукции для накопления пероксидов. Типичная кривая скорости окисления от времени носит S-образный характер.

В большей степени окисляются алкены, их склонность к окислению объясняется строением и расположением двойных связей. Менее склонны к окислению соединения, имеющие одну двойную связь в цикле и диены с удаленными двойными связями. По мере разветвления цепи склонность к окислению возрастает. Для снижения окисления в бензин добавляют антиокислители (ингибиторы):



Эффективность ингибитора зависит от подвижности атома водорода или энергии диссоциации связи  $J_n - H$ . Добавляют  $J_n$  в свежее топливо в количестве 0,1-0,001 мас.%. (амин или фенол) + (сернистые антиокислители) --- разрушающие гидропероксиды.

### ***Термоокислительная стабильность топлива***

*Термоокислительная стабильность топлива* – это способность топлива противостоять окислению при высоких температурах (100 — 250°С). При высоких температурах природные антиокислители, содержащиеся в топливе, сами быстро окисляются и образуют смолистые и твердые вещества, в результате чего забиваются фильтры и т.д. Природные антиокислители – гетеросоединения, поэтому дизельные и реактивные топлива необходимо очищать от гетеросоединений. Очищают двумя методами: гидроочистка и абсорбционная очистка топлив, которая повышает термоокислительную стабильность топлива.

Нарушения при термоокислении топлив:

- 1) выпадение осадков;
- 2) забивка фильтров;
- 3) смолистые отложение на деталях;
- 4) нарушение работы форсунок.

Для предотвращения термоокисления в топливо добавляют присадки, препятствующие срачиванию мелких смолистых веществ в более крупные частицы.

*Биологическая стойкость топлив* – это способность топлив противостоять поражению плесенью, грибами и бактериями.

### ***Коррозионная активность топлив и совместимость с неметаллическими материалами***

*Коррозия* – это самопроизвольное разрушение металлов или сплавов вследствие химического или электрохимического взаимодействия с окружающей средой. Коррозия может происходить на границе: металл – жидкость, металл – газ, металл – твердые осадки.

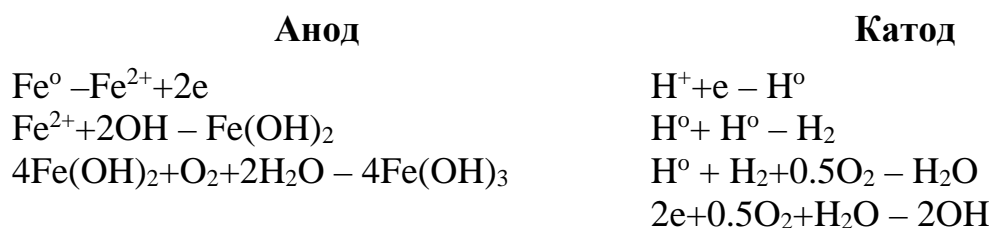
*Химическая коррозия* – это, когда металл вступает в непосредственное взаимодействие с окружающей средой, причем среда, которая не проводит электрический ток (сухие газы, неэлектролиты). При этом происходит

химическая реакция, в результате которой электрон переходит с металла на окислитель, входящий в состав среды.

Например, химическая коррозия за счет отработавших газов, вследствие выхлопных газов происходит коррозия выхлопных труб; содержание серы – коррозия топливных систем.

*Электрохимическая коррозия* происходит, если среда содержит электролит (раствор кислот, щелочей и солей), способный проводить электрический ток. В отличие от химической коррозии, электрохимическая идет со значительно меньшей скоростью.

Схема электрохимической коррозии металлов



Оксиды  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$  нерастворимы в воде и входят в состав продуктов коррозии железа (окалина).

Коррозию вызывают кислородсодержащие, сернистые, водорастворимые кислоты и щелочи (нафтеновые кислоты) содержащиеся в топливе. Большую коррозию вызывают сернистые соединения: сероводород, сера, меркаптаны. Особенно подвергаются коррозии алюминиевые конструкции деталей двигателя.

*Борьба с коррозией:*

1. добавка антиокислителей, антикоррозионной добавки (при взаимодействии с металлом образует пленку на его поверхности);
2. добавка ингибитора абсорбционного действия;
3. добавка ингибитора нейтрализующего действия.

### ***Низкотемпературные свойства топлив***

Низкотемпературные свойства топлив и масел изучают при температурах от  $0^\circ$  до  $-60^\circ C$ . Низкотемпературные свойства обусловлены, прежде всего, содержанием воды и н-алканов в топливе, а в маслах содержанием полициклических аренов.

Авиационный двигатель эксплуатируется при температуре  $-40^\circ C$ - ( $-50^\circ C$ ). При этом происходят следующие нарушения: нарушение перекачки топлива, связанное с повышением вязкости топлива, выпадением твердых углеводородов и формированием кристаллической сетки, образование кристаллов льда. При понижении температуры вязкость топлива возрастает – возникает аномалия вязкости, а затем топливо резко замерзает. При температуре, близкой к температуре кристаллизации в топливе образуется кристаллическая сетка из н-алканов. Чем больше молекулярная масса и

температура кипения алканов, тем больше температура кристаллизации. Симметричная структура углеводорода также увеличивает температуру застывания топлив.

### **Методы улучшения низкотемпературных свойств топлив, обусловленных содержанием n-алканов**

Для улучшения низкотемпературных свойств топлив, обусловленных содержанием n-алканов, используют следующие методы:

1. депарафинизация. Удаление n-алканов или снижение их содержания.
2. снижение температуры конца кипения фракции топлив.
3. смешивание различных топлив (компаундирование) с низкокипящими компонентами.
4. добавление присадок, которые снижают температуру кристаллизации.

Наибольшее распространение получил метод добавления присадок. В качестве присадок для снижения температуры застывания используют полимеры и сополимеры. Так, например, при добавлении всего 0,05 % масс. сополимера, температура застывания топлива снижается на 5 – 15 °С.

Вторая причина ухудшения низкотемпературных свойств топлива – это содержание воды. Топливо обладает обратной гигроскопичностью (способность поглощать воду).

Обратная гигроскопичность – это способность при повышенных температурах поглощать воду, а при понижении температуры выделять в избытке (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Гигроскопичность топлива (% масс.) при различных температурах

Топливо	Температура, °С				
	+ 30	+20	+10	0	-10
Автомобильный бензин	0,032	0,021	0,014	0,010	0,007
Реактивное топливо	0,019	0,012	0,006	0,004	0,003
Дизельное топливо	0,010	0,006	0,004	0,003	0,002

Обычно при снижении температуры в топливных баках самолетов вода выделяется в виде капель при положительных температурах, а при отрицательных – в виде кристаллов, что нарушает работу двигателя.

### **Методы, предотвращающие образование кристаллов льда в двигателях**

Для улучшения низкотемпературных свойств топлив, обусловленных содержанием воды, используют следующие методы:

1) конструктивные:

- оборудование топливных систем подогревающими устройствами;  
- устройство для впрыска на фильтр жидкости растворяющей кристаллы льда;

2) физико-химические:

- введение противоводокристаллизующих присадок (ПВКЖ) – эфиры и спирты, которые хорошо растворяются как в топливе, так и в воде. Самая распространенная жидкость: «У» - этилцеллозольв.

### ***Противоизносные свойства топлив***

В результате трения твердых деталей, конструкций в топливных системах, происходит их нагрев, активация поверхностных слоев и как следствие износ.

Износ определяется в установленных единицах, единицах длины, массы или объема. Износ является причиной выхода из строя более 80% деталей машин. Даже незначительный износ может привести к выходу из строя двигателя. Например, износ в 1 кг, при весе автомобиля 1 тонна, автомобиль не подлежит восстановлению.

Интенсивность износа деталей определяется конструкционными и эксплуатационными особенностями топливных систем, а также физико-химическими свойствами топлив.

Конструкционные факторы износа учитывают из какого металла изготовлены трущиеся детали, характер нагрузки деталей и частота обработки этих деталей.

Эксплуатационные факторы:

- температурный режим работы двигателя;
- степень нагрева топлива.

Совокупность всех свойств топлив, которые влияют на износ двигателя, называются *противоизносные*. Кроме того, на износ влияет степень загрязненности топлива механическими примесями, которые вызывают коррозию металла. Влияние механических примесей на износ двигателя регулируется системой фильтрации и обычно в понятие «противоизносные свойства» механические примеси не включают.

Противоизносные свойства зависят от вязкости и содержания ПАВ (поверхностно – активные вещества) в топливе. Чем выше содержание ПАВ, тем лучше противоизносные свойства. Чем больше вязкость топлива, тем больше его смазывающая способность и лучше противоизносные свойства.

Автомобильные бензины имеют худшие противоизносные свойства, чем дизельное топливо.

### ***Защитная способность топлив***

Гетероароматические соединения топлива способны образовывать пленки на поверхности металла и предотвращать электрохимическую коррозию в присутствии влаги, это называется защитной способностью топлив. Чтобы

повысить защитную способность необходимо уменьшить содержание влаги в топливе, основной метод уменьшения влаги в топливе – гидроочистка. После гидроочистки коррозионная активность снижается примерно в 10 раз. Кроме того, защитная способность увеличивается с увеличением содержания гетероароматических соединений в топливе.

### ***Взаимозаменяемость (преемственность) топлив***

Решение вопросов взаимозаменяемости топлив осуществляется на основе изучения, обобщения и анализа спецификаций и опыта применения отечественных и зарубежных топлив на различных видах техники. Основным принципом взаимозаменяемости — соответствие показателей качества отечественных и зарубежных топлив аналогичного назначения. Эти показатели отечественных и зарубежных топлив могут быть близки, но, как правило, их величины не совпадают. При необходимости проводят дополнительные лабораторные исследования и стендовые испытания зарубежных топлив на отечественной технике. На основании полученных результатов разрабатывают рекомендации по взаимозаменяемости отечественных и зарубежных марок бензинов, реактивных и дизельных топлив. Периодически, по мере изменения ассортимента и качества отечественных и зарубежных топлив производится пересмотр рекомендаций по их взаимозаменяемости.

Наиболее радикальным решением проблемы взаимозаменяемости топлив является разработка на каждый вид топлива (бензины, реактивные, дизельные топлива и др.) единой спецификации, отвечающей требованиям к качеству продукта международных организаций и наиболее совершенной национальной. Такая работа проводится в России, разработаны и утверждены спецификации на бензины, реактивные, дизельные топлива. Производимые по этим спецификациям продукты характеризуются улучшениями экологическими свойствами, могут применяться: на отечественной и импортной технике, для дозаправки зарубежных самолетов в российских аэропортах, экспортироваться в различные страны мира.

Бензины отечественного и зарубежного производства при проведении работы по взаимозаменяемости сопоставляют по качеству, в частности рассматривают следующие важнейшие показатели:

*Испаряемость.* Для обеспечения легкого запуска, быстрого прогрева и хорошей приемистости двигателя требуется бензин с высокой летучестью. Предпочтителен температурный интервал перегонки - 30—215°C. Применение бензина облегченного фракционного состава увеличивает его расход, вызывает обледенение карбюратора, образование паровых пробок в топливном насосе. Применение бензина утяжеленного фракционного состава затрудняет холодный пуск двигателя, ухудшает приемистость, вызывает смолоотложение в двигателе и разжижение картерного масла. С учетом зимних и летних температур воздуха бензины делят на классы по испаряемости.

*Антидетонационные свойства.* Фирмы-изготовители техники обычно сами устанавливают требования по октановому числу для своих автомобилей. При

этом учитывают сезон и географическое положение районов применения топлив. Повышенные температуры окружающей среды увеличивают, а большие абсолютная влажность и высота над уровнем моря — снижают требования к ОЧ бензина.

*Стабильность при хранении.* Повышенная окисляемость бензина приводит к образованию смол, лаков и нагаров в камере сгорания и впускной системе двигателя, нарушению его работы. Поэтому в бензины вводят антиокислительные присадки, а в ряде случаев — деактиваторы металла, ограничивают содержание в них фактических смол величиной 5 мг/100 мл.

*Конструкционная совместимость.* Даже в небольших концентрациях примеси в бензине ухудшают характеристики двигателей.

Кроме того, учитывают: низкотемпературные свойства, вязкость, воспламеняемость, моющие и др. свойства [6].

### *Экологические свойства топлив*

К экологическим свойствам топлив относят:

- токсичность;
- взрывоопасность;
- канцерогенность;
- испаряемость;
- биоразлагаемость и др.

*Токсичность* – способность топлива воздействовать на окружающую среду, и при этом нарушать процесс жизнедеятельности живых организмов. Алканы имеют высокую токсичность и действуют как наркотики. Изоалканы имеют токсичность ниже, а циклические больше, чем алканы. Наличие двойной связи также увеличивает токсичность углеводородов. Токсичность смесей углеводородов больше чем отдельных компонентов. Присутствие гетероатомов также увеличивает токсичность топлива. Наибольшей токсичностью обладает дизельное топливо по сравнению с керосином и бензином. Однако, испаряемость дизельного топлива очень мала и поэтому при нормальных условиях отравление его парами очень маловероятно. Для предупреждения загрязнения окружающей среды установлены единые данные ПДК (предельные допустимые концентрации). Так, в табл. 3.2. приведены ПДК некоторых топлив, по сравнению с некоторыми веществами.

Таблица 3.2

ПДК в атмосфере производственных помещений, мг/м<sup>3</sup>

Топливо парафиновое	Топливо сернистое алефино-ароматическое	бензол	толуол	метанол	этанол
300	100	20	50	50	1000

*Канцерогенность* - биологическая активность топлив, вызывающая раковые заболевания. К канцерогенным в составе топлив относят следующие вещества: бензол, толуол, непарелельные и циклические соединения.

*Взрыво- и пожароопасность топлив.* Топлива всех видов и большинство смазочных материалов представляют собой легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, относящиеся к категории огнеопасных. Огнеопасность и взрывоопасность оценивают с помощью таких показателей, как температура вспышки и воспламенения, температурные границы образования взрывоопасной концентрации и паров топлива или масла с воздухом, а также границы концентрации паров топлива или масла с воздухом, в пределах которых образуется взрывоопасная смесь.

Обычно загорание нефтепродуктов начинается со вспышки или взрыва смеси паров с воздухом. Если при этом количество выделившегося тепла достаточно для прогрева верхних слоев нефтепродукта и образования новых паров, то вспышка перейдет в воспламенение и горение до полного сгорания нефтепродукта. Минимальная температура, при которой смесь паров нефтепродуктов с воздухом вспыхивает от контакта с открытым источником огня, называется температурой вспышки. Минимальная температура, при которой не только вспыхивают пары, но и воспламеняются нефтепродукты, называется температурой воспламенения. Температура воспламенения обычно на 5-10°C выше температуры вспышки.

Все нефтепродукты по температуре вспышки паров делят на два класса. К первому относят нефтепродукты с температурой вспышки паров, не превышающей 61°C в закрытом тигле, или 66°C в открытом тигле. Сюда включают основные виды топлив для двигателей. Нефтепродукты этого класса называют легковоспламеняющимися.

Ко второму классу относят нефтепродукты, температура вспышки которых выше 61°C в закрытом тигле, или выше 66°C в открытом. Нефтепродукт этого класса называют горючими.

Пары нефтепродукта в смеси с воздухом могут не только вспыхнуть, но и взорваться. Взрыв в отличие от вспышки представляет собой практически мгновенное сгорание смеси, сопровождающееся выделением большого количества нагретых газов большой разрушительной силы. Смесь паров нефтепродукта с воздухом взрывоопасна только в определенных пределах. Существуют нижний и верхний пределы взрываемости смеси как по концентрации содержащихся в смеси паров углеводородов, так и по температуре смеси. Например, смесь паров бензина с воздухом взрывоопасна, когда в ней содержится от 0,8 до 8,0% об. паров бензина. Для топлива ТС-1 концентрационные пределы взрываемости составляют 1,2-7,1 % об., для дизельных топлив — 2,1-12,0 % об. Температурные пределы взрываемости для бензинов: -50 - 10°C, для топлива ТС-1: 28-57°C.

Если концентрация паров в смеси велика и превышает верхний предел взрываемости, то при вспышке части паров или притоке свежего воздуха возможно снижение концентрации паров в смеси вплоть до взрывоопасной. Следует отметить, что концентрация паров нефтепродукта в смеси с воздухом

не остается постоянной. При горении в резервуарах и цистернах бензина или керосина велика вероятность взрыва, что надо иметь в виду при тушении загоревшихся нефтепродуктов.

Если температура смеси паров нефтепродукта с воздухом ниже нижнего или выше верхнего предела взрываемости, то при контакте с открытым огнем либо электрической искрой взрыва не произойдет. Однако такая смесь способна вспыхнуть, и вспышка вызовет воспламенение и горение нефтепродукта, а также образование взрывоопасной концентрации.

Обязательным условием для вспышки или взрыва является наличие источника теплового импульса. В качестве такового обычно выступает открытый огонь, искра, разряды статического электричества и др.

*Электризация топлив.* Одним из источников теплового импульса, приводящего к вспышке или взрыву паров нефтепродуктов, является разряд статического электричества. Нефтепродукты — диэлектрики и обладают очень малой электрической проводимостью. Во время перекачки нефтепродуктов при их интенсивном перемешивании или фильтровании в результате трения возникают заряды статического электричества. Трение жидкого топлива о твердую поверхность трубопровода и фильтра, прохождение через слой топлива пузырьков воздуха, паров, твердых частиц, капель воды или снежинок — все это вызывает возникновение зарядов статического электричества. Такой заряд вследствие малой электрической проводимости нефтяных топлив может накапливаться. При накоплении зарядов статического электричества возможен их разряд с образованием искры, достаточной для вспышки, воспламенения и взрыва смеси паров топлива с воздухом. Опасным в пожарном отношении заряд считается уже в 300-500 вольт, так как возникающая при разряде искра способна воспламенить смесь паров нефтяных топлив с воздухом. Минимальная энергия искры разряда статического электричества, вызывающая взрыв паров нефтяных топлив, составляет 5-6 МДж. Степень электризации нефтяных топлив зависит от скорости их движения по трубопроводам или рукавам, от материала фильтров, содержания механических примесей и воды, влажности и температуры воздуха и многих других факторов. Чем выше скорость перекачки топлива, тем больший заряд статического электричества в нем накапливается.

Заземление резервуаров, трубопроводов и всей металлической арматуры перекачивающих и заправочных средств способствует быстрому отводу зарядов статического электричества. Несмотря на небольшую электрическую проводимость нефтяных топлив, образовавшийся заряд вскоре после окончания перекачки или заправки рассеивается, то есть уходит в заземленные стенки емкости. Однако даже самое надежное заземление не исключает опасности накопления электрических зарядов и взрыва в случае нарушения правил безопасной перекачки топлив (несоблюдения установленной скорости перекачки, заполнения емкостей «падающей» струей, использование определенных фильтрующих материалов, большой продолжительности перекачки).

От разряда статического электричества может взорваться только такая смесь паров топлива с воздухом, которая при обычных температурах находится

в пределах взрываемости. Поэтому наиболее опасны керосиновые фракции нефти — топлива для реактивных двигателей. В воздушном пространстве резервуаров над бензинами при обычных температурах содержится количество паров выше верхнего предела взрываемости, и поэтому взрыва может не произойти даже при электрическом разряде. В резервуаре над дизельным топливом углеводородных паров недостаточно, поэтому опасность взрыва также невелика.

Для снижения электризации топлив для реактивных двигателей, особенно при больших скоростях заправки тяжелых, многоместных самолетов с большим запасом горючего, разработаны специальные антистатические присадки, повышающие электропроводимость топлива, в результате чего образующиеся заряды очень быстро «стекают» на заземленные металлические детали и опасность разряда и взрыва практически исчезает.

*Биоразлагаемость* — легкость разрушения молекулярной структуры продуктов в окружающей среде под действием микроорганизмов, кислорода воздуха и лучистой энергии Солнца, вовлечение продукта в круговорот веществ. Биоразложение сопровождается биохимическим окислением продуктов с образованием, кроме углекислоты и воды, также протеинов и нового клетчатого материала, способствующего размножению микрофлоры [7].

### **Контрольные вопросы к разделу 3**

1. Перечислите основные эксплуатационные свойства топлив?
2. Как влияет образование отложений на качество топлив?
3. От чего зависит испаряемость топлив?
4. Что относят к экологическим свойствам топлив?
5. Чем определяются низкотемпературные свойства топлив?
6. Что такое взаимозаменяемость топлив?

#### 4. АВТОМОБИЛЬНЫЕ БЕНЗИНЫ

Бензин – это продукт прямой перегонки нефти, фракция 40–200°С. Автомобильные бензины используют в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) карбюраторного и инжекторного типа.

##### *Принцип работы бензинового двигателя*

На рис. 3.1. приведена схема работы четырехтактного ДВС.

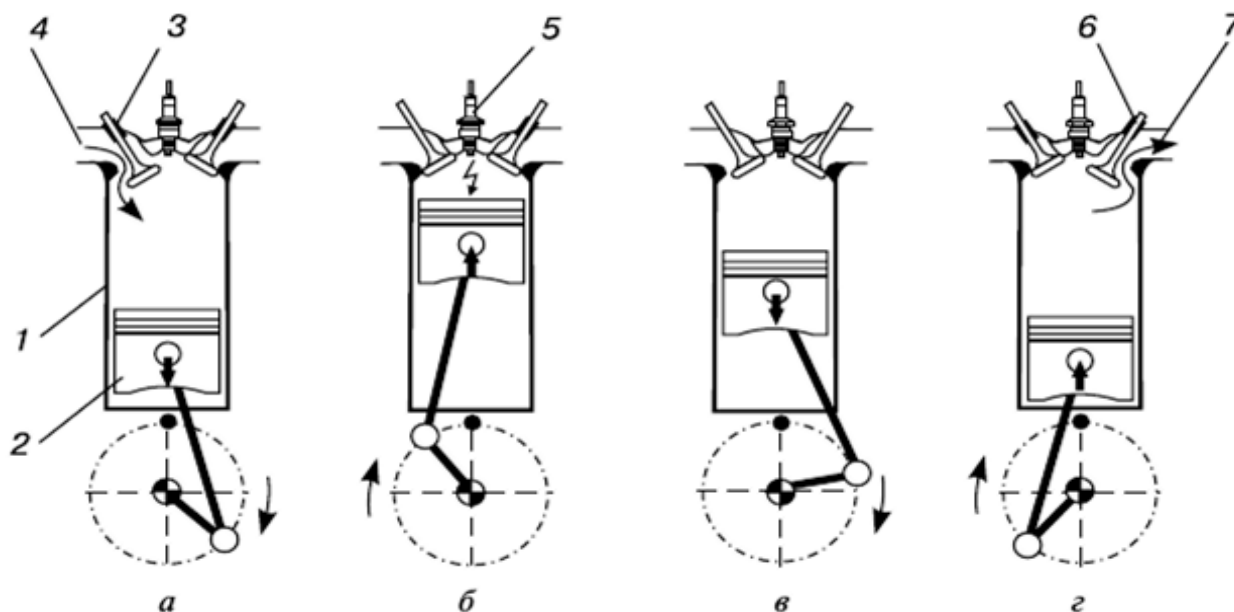


Рис. 4.1. Схема работы четырехтактного ДВС

1-цилиндр; 2- поршень; 3-впускной клапан; 4- топливо-воздушная смесь; 5-свеча зажигания; 6- выпускной клапан; 7- продукты сгорания  
а) впуск; б) сжатие; в) сгорание; г) выпуск

Бензин из бензобака с помощью бензонасоса подается в карбюратор. В карбюраторе происходит распыление бензина и смешение его с воздухом. Далее смесь бензина с воздухом засасывается в цилиндр, при движении поршня вниз при этом открыт впускной клапан. Объем цилиндра увеличивается до максимального, впускной клапан закрывается, и поршень начинает движение вверх, происходит сжатие топлива. Когда поршень достигает верхней точки (максимальное сжатие), свеча зажигания дает искру и происходит воспламенение топлива. Бензин моментально сгорает, что приводит к расширению газов и давлению на поршень. Поршень перемещается вниз вынужденно (рабочий ход двигателя). Энергия передается на коленчатый вал. В нижней точке рабочего хода выпускной клапан открывается, поршень движется вверх, сгоревшее топливо выпускается. В верхней точке движения цилиндра выпускной клапан закрывается, и цикл повторяется.

## ***Требования, предъявляемые к автомобильным бензинам***

К автомобильным бензинам предъявляют следующие требования:

1. бесперебойное поступление в систему питания двигателя;
2. образование топливно-воздушной смеси требуемого состава;
3. нормальное и полное сгорание топливно-воздушной смеси в двигателе без детонации;
4. бензины не должны вызывать коррозию и износа деталей двигателя;
5. бензины не должны образовывать отложения во впускном трубопроводе, в камере сгорания и других частях двигателя (или образовывать минимальное количество отложений);
6. бензины должны сохранять свои свойства при хранении, перекачке и транспортировке.

## ***Состав автомобильных бензинов***

Бензины получают компаундированием различных фракций первичной и вторичной переработки нефти: прямогонная фракция, риформат, изомеризат, алкилат, другие легкие углеводороды.

Различают фракционный и групповой химический состав бензинов. В групповой химический состав бензинов входят: углеводороды (алканы, циклоалканы, моноциклические арены, олефины) и гетероатомные (серо-, азот-, кислород-содержащие) соединения. Их содержание меняется в зависимости от способа получения фракций. Так бензиновая фракция прямой перегонки нефти содержит до 50% n-алканов, до 15% циклоалканов (в тяжелых бензиновых фракциях) и 2-30% аренов. В бензинах вторичных процессов содержится кроме вышеуказанных углеводородов также продукты расщепления алканов — олефины. Бензины коксования содержат: до 50% олефинов, около 40% алканоцикланов остальное арены.

Бензины каталитического крекинга содержат в основном гомологи изостроения: до 50% олефинов изостроения и до 30% аренов с ненасыщенной боковой цепью.

Бензины каталитического риформинга содержат до 50-70% аренов, 40-45% алкано-циклоалканов и 1-1,5% олефинов.

Гетероатомные соединения содержатся в бензинах в виде азот- и серосоединений 1-2%, 0,01-0,03% азотистых и до 0,01% кислых кислородсодержащих соединений (фенолы и кислоты).

## ***Физико-химические свойства автомобильных бензинов***

*Плотность* бензина, при температуре 20°C составляет 0,700 – 0,755 г/см<sup>3</sup>. Причем при понижении температуры на каждые 10°C плотность возрастает на 1%.

*Вязкость* бензинов при 20°C составляет – 0,5-0,7 мм<sup>2</sup>/с. С понижением температуры вязкость возрастает в 10 раз быстрее, чем плотность.

*Поверхностное натяжение* – одно из основных свойств бензина, оно влияет на распыляемость бензина. Поверхностное натяжение бензина колеблется в пределах 20 – 24 мН/м (это в 3,5 раз меньше, чем у воды).

*Теплота сгорания* автомобильных бензинов находится в пределах  $Q_{\text{низ}}^{\text{сгор}} = 43,5 – 44,5$  МДж/кг.

Давление насыщенных паров (ДНП) летнего бензина составляет 67,7 кПа, для зимнего – 66,7 – 93,3 кПа.

### **Эксплуатационные свойства автомобильных бензинов**

Основные эксплуатационные свойства бензина – это испаряемость, фракционный состав, детонационная стойкость, химическая стабильность и экологические свойства.

#### ***Испаряемость бензинов***

По давлению насыщенных паров судят о наличии легкоиспаряемой фракции в бензине, которая способствует возникновению паровых пробок при запуске двигателя, а также способствует потере при хранении и транспортировке топлив.

Чем выше ДНП, тем больше опасность образования паровых пробок при работе двигателя, но тем лучше пусковые свойства двигателя. ДНП бензина определяют в герметически закрытых приборах при температуре 38°C. Зная ДНП можно правильно рассчитать объем, занимаемый сжиженным нефтяным газом при высоких температурах. Для летнего бензина ДНП составляет 67,7 кПа, для зимнего – 66,7 – 93,3 кПа [8].

#### ***Фракционный состав***

*Фракционный состав* – это важнейшее свойство, от него зависит запуск двигателя, время, затраченное на его прогрев, образование паровых пробок, расход топлива и масла, мощность двигателя и образование углеродистых отложений. Кроме того, фракционный состав оказывает большое влияние на полноту сгорания бензинов – при увеличении доли высококипящей фракции полнота сгорания бензина снижается. Для характеристики фракционного состава в стандарте указываются температуры, при которых перегоняются 10, 50 и 90% бензинов.

По температуре перегонки 10% ( $t_{10\%}$ ) бензина судят о наличии в нем пусковых (головных) фракций от которых зависит запуск холодного двигателя, т.е. чем ниже  $t_{10\%}$ , тем легче и быстрее можно запустить холодный двигатель, т.к. большое количество бензина будет попадать в двигатель в виде пара.

При высокой температуре  $t_{10\%}$  запуск холодного двигателя затрудняется из-за того, что бензин попадает в двигатель в жидком виде, т.е. топливно-воздушная смесь обеднена бензином. Кроме того, при попадании бензина в

жидком виде происходит разжижение масла и его смывание со стенок двигателя, вызывая тем самым повышенный износ деталей двигателя. Однако, если бензин имеет слишком низкие значения  $t_{10\%}$ , то при запуске двигателя испаряются наиболее низкокипящие фракции, образуя паровые пробки. При этом происходит стук двигателя. Температура перегонки 10% бензина примерно 55 – 75°C.

После запуска двигателя интенсивность его прогрева, устойчивости его работы на малой частоте вращения зависит главным образом от  $t_{50\%}$ , т. е. чем ниже эта температура, тем легче испаряется средняя фракция бензина, обеспечивая поступление в непрогретый двигатель горючей смеси необходимого состава, а также устанавливает работу двигателя на малой частоте вращения и хорошую приемистость двигателя, интенсивность разгона автомобиля при полностью открытом дросселе (на полном газу).  $t_{50\%}$  находится в пределах температур 100-115°C.

По температуре  $t_{90\%}$  и температуре конца перегонки судят о наличии в бензине тяжелых трудноиспаряемых фракций, о интенсивности и полноте сгорания рабочей смеси и мощности развиваемой двигателем. Для обеспечения испарения всего бензина эти температуры должны быть как можно более низкими. Повышение температуры конца кипения и  $t_{90\%}$ , приводит к повышению износа двигателя вследствие того, что в двигатель попадает бензин в жидкой форме смывая и разжижая масло. В стандартах указаны температуры  $t_{90\%}$  при температуре 160 – 190°C, а температура кипения 185 - 205 °C.

### ***Детонационная стойкость бензина***

*Детонация* – это процесс быстрого завершения сгорания в результате самовоспламенения части рабочей смеси и образование взрывных волн, распространяющихся со сверхзвуковой скоростью. Нормальное распространение пламени со скоростью 30 м/с, а при детонации 2000 м/с. Детонация в двигателе происходит, когда смесь паров бензина с воздухом, попадая в цилиндр, сжимается, нагревается и самовоспламеняется (без свечи зажигания). Это сопровождается постукиванием и гудением двигателя и приводит к перерасходу топлива, уменьшению мощности, перегреву двигателя, к прогару поршней и выхлопных клапанов.

Условный показатель, характеризующий стойкость бензинов к детонации и численно соответствующий детонационной стойкости (степени сжатия) смеси изооктана и н-гептана называется *октановым числом (ОЧ) бензина*.

*Октановое число бензина (ОЧ) – это процент изооктана (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>) в смеси с нормальным гептаном (C<sub>7</sub>H<sub>16</sub>), дающий такие же показатели степени сжатия, что и испытуемый образец бензина.*

*Степень сжатия* – это отношение объема цилиндра в нижней точке хода поршня  $V_1$  к объему верхней точке поршня  $V_2$ . Степень сжатия, при которой самовоспламенение произойдет самопроизвольно в верхней точке, используют для определения октанового числа бензина. За бензин с октановым числом 100

принят изооктан. За бензин с октановым числом 0 принят н-гептан, гептан детонирует при более низкой степени сжатия.

Из углеводородов наименьшей детонационной стойкостью обладают алканы. Чем больше длина углеводородного радикала, тем хуже детонационная стойкость. Изоалканы обладают лучшей детонационной стойкостью. Симметричное положение радикальных групп повышают стойкость. Олефины обладают лучшей детонационной стойкостью по сравнению с алканами. Наибольшей детонационной стойкостью обладают ароматические, циклические углеводороды.

Октановое число определяют при двух режимах на одноцилиндровой установке модели УИТ-85М по ГОСТ 511-2015 и ГОСТ 8226-2015:

1) исследовательский метод определения октанового числа (ИОЧ) – это мягкий метод - 600 об/мин, температура воздуха 51<sup>0</sup>С и угол опережения зажигания 13 градусов;

2) моторный метод определения октанового числа (МОЧ) – это жесткий режим 900 об/мин, температура смеси 149<sup>0</sup>С, переменный угол опережения зажигания.

Сочетание МОЧ и ИОЧ дает полное представление о работе двигателя. Среднее арифметическое между МОЧ и ИОЧ называют *октановым индексом* и приравнивают к дорожному октановому числу, которое нормируется стандартами некоторых стран и указывается на бензоколонках.

Для повышения детонационной стойкости используют следующие методы:

1) использование высокооктановых компонентов вторичной переработки нефти (при первичной перегонке ОЧ = 65, а при вторичной ОЧ = 95);

2) применение антидетонационных присадок: тетраметилсвинец (ТМС) –  $Pb_2(CN_3)_4$ , и тетраэтилсвинец (ТЭС) -  $Pb(C_2H_5)_4$ . ТМС и ТЭС увеличивают октановое число бензинов, однако имеют высокую токсичность и в последнее время их содержание в бензине строго ограничивается;

3) добавка к бензинам кислородосодержащих соединений, повышающих ОЧ: метанол, эфиры, спирты (около 4 г/л);

4) применение бензинов каталитического крекинга и каталитического риформинга, так как они содержат большое количество ароматических углеводородов и изоалканов повышающих ОЧ.

В последнее время большое распространение получила добавка МТБЭ – метилтретбутиловый эфир. В отличие от спиртов он практически не растворим в воде, что исключает его расслоение с водой при транспортировке.

Присадки, повышающие ОЧ, влияют на ДНП бензина, поэтому необходимо учитывать этот фактор.

### ***Современные и перспективные марки автомобильных бензинов. Требования к экологическим свойствам бензина***

В настоящее время в России выпускают бензины в соответствии с ГОСТ 2084-77 и новым ГОСТ Р 51105-97 (табл. 4.1), который отвечает современным

экологическим требованиям (табл. 4.1), а также по техническим условиям, вырабатываемым для конкретных НПЗ.

Таблица 4.1

Требования к качеству автомобильных бензинов (ГОСТ 2084-77)

показатель	А — 76 этилирова- нный	АИ-91 неэтилиро- ванный	Аи -93 неэтили- рованный	АИ — 95 неэтили- рованный
ОЧ, не менее, МОЧ ИОЧ	76 -	82,5 91	85 93	85 95
Содержание свинца, г/дм <sup>3</sup> не более	0,17	0,013	0,013	0,013
Фракционный состав				
$t_{\text{нач. кипения}}, ^\circ\text{C}$	35	35	35	35
$t_{10\%}, ^\circ\text{C}$	70	70	70	70
$t_{50\%}, ^\circ\text{C}$	115	115	115	115
$t_{90\%}, ^\circ\text{C}$	180	180	180	180
$t_{\text{конца кипения}}, ^\circ\text{C}$	195	205	205	205
ДНП, кПа/мм. рт. ст.	66,7/500	66,7/500	66,7/500	66,7/500
Содержание серы, % мас.	0,1	0,1	0,1	0,1
Содержание фактических смол, мг /100см <sup>3</sup> не более	5	5	5	5

Как видно из табл. 4.1 в зависимости от ОЧ устанавливают четыре марки современных бензинов в России «Нормаль-80» для грузовых автомобилей наряду с АИ-76, бензины «Регуляр-91 и 92» предназначены для автомобилей вместо «АИ-93». Автомобильный бензин марки «Премиум-95» и «Супер-98» полностью отвечают европейским требованиям и конкурентоспособны на нефтяном рынке. Согласно ГОСТ 51105-97 допускается использование в небольших количествах марганцевого антидетонатора (табл.4.2). В соответствии с европейскими требованиями ограничивается содержание бензола (не более 5%об.) и серы (не более 0,05% мас.).

Таблица 4.2

## Требования к качеству автомобильных бензинов (ГОСТ51105-97)

показатель	«Нормаль-80»	«Регуляр-91»	«Регуляр-92»	«Премиум-95»	«Супер-98»
ОЧ, не менее, МОЧ ИОЧ	76 80	82,5 91	83 92	85 95	88 98
Содержание свинца, г/дм <sup>3</sup> не более	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Содержание марганца, мг/дм <sup>3</sup> не более	50	18	-	-	-
Содержание серы, % мас.	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Содержание фактических смол, мг /100см <sup>3</sup> не более	5	5	5	5	5

Бензины, выпускаемые согласно ГОСТ 51105-97 удовлетворяют современным требованиям, предъявляемым к бензинам, но не удовлетворяют перспективным.

Поэтому в России разработан ряд технических условий на бензины с улучшенными экологическими характеристиками: «Городские» - ТУ 38.401-58-171-96, «ЯрМарка» - ТУ 38.301. -25-41-97 и др.). В них установлены более жесткие нормы по содержанию бензола - не более 3-5%, ароматических углеводородов - не более 45%, а также предусмотрено добавление моющих присадок [9].

В США опубликованы требования к так называемому реформулированному бензину — бензину с принципиально измененным компонентным составом. В нем строго ограничивается содержание ароматических соединений (бензола не более 0,8-1% мас.), непредельных (не более 5-12 % мас.), серы (не более 0,003-0,01% мас). А также предусмотрено обязательное добавление к бензину кислородсодержащих соединений.

#### Контрольные вопросы к разделу 4

1. Каков углеводородный состав бензинов?
2. Укажите физико-химические свойства бензинов?

3. Что относят к эксплуатационным свойствам бензинов?
4. Какие методы улучшения качества бензина существуют?
5. Перечислите самые распространенные присадки к бензинам?
6. Какие марки бензина существуют?
7. Современные и перспективные марки бензина.

## 5. ДИЗЕЛЬНЫЕ ТОПЛИВА

Дизельные топлива используют в дизельных двигателях имеющих ряд преимуществ в отличие от бензиновых:

1. высокая экономичность;
2. использование более дешевых и доступных фракций нефти;
3. лучшая пожаробезопасность (из-за низкой испаряемости);
4. более высокая надежность и долговечность работы двигателя.

Дизели по степени быстроходности, то есть по частоте вращения коленчатого вала делят на: тихоходные и быстроходные. Большая часть авто и тракторных дизелей относится к быстроходным, многие стационарные, а также транспортные дизели для судов морского и речного флота – тихоходные. Степень быстроходности дизеля в значительной мере и определяет требования к качеству дизтоплива. Дизельные двигатели используются на всех видах тракторов, комбайнов, мощных грузовых автомобилях (КрАЗы, БелАЗы и т.д.) и в некоторых моделях автобусов и легковых автомобилях.

### *Состав и физико-химические свойства дизельных топлив*

Дизельные топлива получают из тяжелой фракции нефти, смешением прямогонных, гидроочищенных и вторичного происхождения углеводородных фракций температура 230-430°C (газойлевая фракция). Плотность дизтоплива влияет на смесеобразование так же, как и их вязкость. Для дизелей плотность топлива должна быть в пределах 820-860 кг/м<sup>3</sup>. поверхностное натяжение бензинов 0,020-0,024 Н/м, а для дизелей 0,027-0,030 Н/м, для тихоходных 0,030Н/м. Температура вспышки: 35-62°C. Температура застывания: -5-(-50) °С.

### *Схема работы дизельного двигателя*

Основное отличие дизельного двигателя от бензинового – отсутствие свечи зажигания. Работа дизельного двигателя зависит от *самовозгорания* топлива, того свойства, которое стараются избежать в бензиновых двигателях. Подача топлива и его воспламенения двигатель происходит за тысячные секунды. Поэтому в дизельных двигателях необходимо иметь очень тонкую механику, чтобы избежать воспламенения, слишком большого количества топлива и возникновения взрыва, рабочее давление в двигателе должно быть в пределах 140-700 атм.

Рабочий цикл четырехтактного дизельного двигателя осуществляется в результате перемещения поршня в цилиндре. Рассмотрим принципиальную схему перемещения поршня в цилиндре двигателя и связанную с этим работу двигателя, изображенную на рис. 5.1.

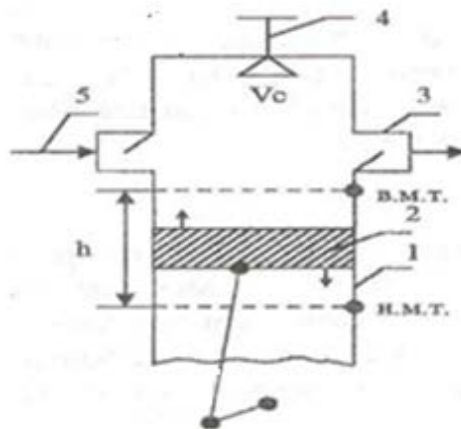


Рис. 5.1. Схема работы четырехтактного дизельного двигателя  
 1 - цилиндр; 2 - поршень; 3- выпускной клапан; 4 - форсунка;  
 5 – впускной клапан

Поршень в цилиндре может занимать два крайних положения. Крайнее верхнее положение поршня в цилиндре называют «верхней мертвой точкой» (ВМТ). Крайнее нижнее - «нижней мертвой точкой» (НМТ).

Путь, проходимый поршнем от одной мертвой точки до другой, называется «ходом поршня» ( $h$ ), а объем цилиндра, заключенный между ВМТ и НМТ, называется «рабочим объемом» ( $V_h$ ).

При положении поршня в верхней мертвой точке над ним остается объем  $V_c$ , заключенный между верхней плоскостью поршня и головкой цилиндра.

Объем  $V_c$  носит название - «камера сгорания». Рабочий объем  $V_h$ , и объем камеры сгорания  $V_c$  в сумме составляют полный объем цилиндра  $V_n$ . У многоцилиндровых двигателей сумму рабочих объемов всех цилиндров, выраженную в литрах, называют «литражом» двигателя и обозначают  $V_d$ .

Рабочий процесс двигателя состоит из повторяющихся циклов. Циклом называют часть рабочего процесса, в течение которого совершается полезная работа (рабочий ход) и необходимые для ее осуществления вспомогательные такты. Такт - это часть цикла, происходящая при движении поршня от одной мертвой точки к другой. Рабочий цикл четырехтактного двигателя состоит из следующих тактов: впуск, сжатие, рабочий ход (сгорание - расширение), выпуск.

**ВПУСК.** Поршень движется от ВМТ к НМТ. В цилиндре создается разрежение. Открывается впускной клапан и в цилиндр через фильтр засасывается воздух.

Коэффициент наполнения для дизельных двигателей колеблется в пределах 0,75 - 0,95.

**СЖАТИЕ.** Поршень движется от НМТ к ВМТ. Оба клапана (впускной и выпускной) закрыты. Воздух, поступивший в цилиндр, сжимается.

Процесс сжатия характеризуется коэффициентом  $\epsilon$  (эпсилон), называемым «степенью сжатия», который представляет собой отношение полного объема цилиндра  $V_n$  к объему камеры сгорания  $V_c$ .

Для транспортных дизелей степень сжатия колеблется в пределах 12 - 18. При повышении степени сжатия сильно возрастают потери на трение, вследствие увеличения давления сгорания. Кроме того, повышение давления сгорания приводит к необходимости увеличения размеров и веса деталей двигателя, чтобы обеспечить их прочность. В связи с этим степень сжатия  $\epsilon$  выше 20 оказывается нежелательной.

Для осуществления рабочего цикла (третьего такта) дизельного двигателя необходимо, чтобы температура воздуха к концу сжатия (точнее к началу впрыска топлива) была выше температуры самовоспламенения впрыскиваемого топлива. В дизельных двигателях во время такта сжатия воздух в цилиндре сжимается до 3 - 4 МПа и нагревается до 500 - 700 °С.

В момент приближения поршня к верхней мертвой точке цилиндра через форсунку под давлением 10-20 МПа впрыскивается распыленное жидкое дизельное топливо. Попадая в среду нагретого сжатого воздуха, оно нагревается, испаряется и самовоспламеняется.

**РАБОЧИЙ ХОД** (расширение). После самовоспламенения и начала горения топлива в цилиндре повышаются температура и давление. Поршень движется от ВМТ к НМТ - совершается «рабочий ход», в процессе которого через шатун передается усилие на коленчатый вал, приводя его во вращательное движение.

**ВЫПУСК.** После завершения «рабочего хода» поршень движется от НМТ к ВМТ при открытом выпускном (и закрытом впускном) клапане, выталкивая из цилиндра отработавшие газы. На этом цикл завершается и начинается вновь.

Процесс сгорания в цилиндре дизельного двигателя принято делить на четыре периода:

- I - задержка самовоспламенения;
- II - резкое нарастание давления;
- III - замедленное или регулируемое давление;
- IV – догорание сгорания дизельного топлива

Когда поршень приближается к верхней мертвой точке, в цилиндр начинают вспрыскивать топливо. Оно самовоспламеняется не сразу, а через некоторое время, необходимое для испарения топлива, перемешивания его паров с воздухом и повышения температуры смеси до температуры самовоспламенения. По достижении температуры равной температуре самовоспламенения происходит самовоспламенение. Поступившее в цилиндр топливо сгорает.

Давление в цилиндре резко нарастает. При дальнейшем повороте коленчатого вала поршень движется вниз (НМТ) и объем, занимаемый газами, увеличивается, а количество поступающего в цилиндр топлива уменьшается и в момент, соответствующий концу впрыска, становится равным нулю. Давление вначале увеличивается, а затем падает.

Величина периода задержки самовоспламенения зависит от химического и фракционного состава топлива, а также от внешних факторов и в первую очередь от температуры, давления, величины капель, образующихся при впрыске, и вихревого движения в камере сгорания.

Наименьшим периодом задержки самовоспламенения обладают парафиновые углеводороды, наибольшим – ароматические. С увеличением молекулярной массы (повышением температуры кипения) топлива температура самовоспламенения повышается.

За время второго периода сгорает основная масса топлива. В этот период резко возрастает давление в цилиндре. Возможна даже ударная нагрузка на поршень, и в двигателе возникает характерный стук, внешне похожий на стук при детонации топлива в карбюраторном двигателе, хотя причина его совсем другая. Такую работу двигателя называют "жесткой". Интенсивность нарастания давления в цилиндре двигателя во втором периоде зависит от продолжительности периода задержки самовоспламенения и от фракционного состава топлива. Если период самовоспламенения топлива велик, а испаряемость топлива высокая, то к моменту самовоспламенения в цилиндре накопится значительное количество топлива, которое почти полностью успеет испариться, перемешаться с воздухом и поэтому будет сгорать почти одновременно, что вызовет резкое нарастание давления в цилиндре двигателя. При уменьшении первого периода в момент самовоспламенения сгорает сравнительно небольшое количество топлива. В дальнейшем процесс развивается по мере поступления свежих порций топлива, и сгорание происходит более равномерно. Двигатель работает в «мягком» режиме.

### ***Требования, предъявляемые к дизельным топливам***

Дизельные топлива должны иметь:

1. хорошую испаряемость для полноты сгорания;
2. низкую склонность к отложениям, высокую термо- и химическую стабильность;
3. хорошие низкотемпературные свойства, т. е. при низкой температуре обладать высокой прокачиваемостью;
4. хорошие противоизносные свойства;
5. электропроводность, не допускающую разряда и накопления статического электричества;
6. дизтоплива должны образовывать минимальное количество нагара и отложений, не вызывать коррозии и коррозионных износов деталей, соприкасающихся с ним;
7. хорошие экологические свойства.

### ***Эксплуатационные свойства дизельных топлив***

К эксплуатационным свойствам дизельных топлив относят: испаряемость, воспламеняемость, горючесть, цетановое число, низкотемпературные и экологические свойства.

## ***Испаряемость и фракционный состав дизельных топлив***

Испаряемость дизельных топлив определяют по его фракционному составу. Для хорошей работы дизельного двигателя необходим определенный состав.

Наличие в дизельном топливе большого количества фракции с плохой испаряемостью (тяжелые углеводороды) обуславливают несвоевременное воспламенение и плохое сгорание топлива, смывание со стенок цилиндра и повышенный износ деталей двигателя.

Наличие большого количества фракции с легкой испаряемостью (легкие фракции углеводородов) способствует плохому самовоспламенению, затрудняет пуск двигателя и вызывает жесткую работу двигателя, из-за увеличения теплоты испарения, снижения температуры в камере сгорания и увеличения периода задержки самовоспламенения легких по сравнению с тяжелыми фракциями. Утяжеление же фракционного состава приводит к неполному испарению топлива в камере сгорания, снижению теплоты сгорания, ухудшению экономичности работы дизельного двигателя. При разгонке ДТ определяют такие показатели как температура выкипания 50% топлива и температура выкипания 90% топлива.

$t_{50}$  характеризует наличие в топливе пусковых фракций, а  $t_{96}$  характеризует наличие в дизельных топливах фракций ухудшающих смесеобразование, но улучшающих самовоспламеняемость топлива.

Поэтому учитывая неоднозначность влияния фракционного состава, одно из перспективных направлений расширение ресурсов дизельных топлив – это одновременное утяжеление и облегчение фракций состава ДТ, т.е. использование топлива с температурой: начала кипения 60-80<sup>0</sup>С, а перегонки 90% - в пределах 350-360<sup>0</sup>С.

## ***Воспламеняемость и цетановое число (ЦЧ) дизельного топлива***

Для бензинов самовоспламенение нежелательное явление, а для дизельных топлив самовоспламеняемость - это его главная характеристика.

Температура самовоспламенения называется температура, до которой необходимо нагреть топливо в смеси с кислородом воздуха, чтобы начался процесс горения.

Мерой воспламеняемости дизельных топлив является цетановое число (ЦЧ).

Цетановое число – это процентное содержание цетана  $C_{16}H_{34}$  (гексадекана) в смеси с  $\alpha$ -метилнафталином, которое соответствует такому же периоду задержки самовоспламенения, что и испытуемый образец. ЦЧ гексадекана принято за 100, а ЦЧ  $\alpha$ -метилнафталена равно 0.

ЦЧ дизтоплива зависит от состава топлива. Углеводороды в составе ДТ имеют следующие значения ЦЧ: н-гексадекан - 100; н-гексадецен — 91; 7,8-диметилтетрадекан -41; декалин — 48; алкилбензол — 26; изоалкилнафталин -

3; алкилнафталин -0. ЦЧ увеличивается с увеличением количества парафинов с низкой температурой воспламенения (для бензинов парафины нежелательны).

Норма по ЦЧ составляет 40÷50. Если ЦЧ =45÷50 – ДТ имеет высшее качество.

Прямогонные легкие газойли содержат высокое количество парафинов и имеют ЦЧ 50÷55. Легкие крекинг-газойли содержат высокое количество ароматики и непредельных углеводородов, поэтому их ЦЧ 32÷35.

Использование ДТ с ЦЧ меньше 40 приводит к жесткой работе двигателя, а использование ДТ с ЦЧ больше 50 приводит к увеличению расхода топлива за счет уменьшения полноты его сгорания. Летом можно использовать топливо с ЦЧ=40, а зимой необходимо, чтобы ЦЧ≥45 для обеспечения холодного запуска двигателя.

ЦЧ дизтоплива определяют сравнением воспламеняемости (метод совпадения вспышек) испытуемого топлива с эталонной смесью цетана с  $\alpha$ -метилнафталином (ГОСТ 3122-67). Испытания проводят на одноцилиндровой установке типа ИТ9-3 или ИДТ-86. Режим работы двигателя: частота вращения коленчатого вала 900 об/мин, степень сжатия 7-23, угол опережения впрыска топлива 13°С до в.м.т., количество впрыскиваемого топлива 13 мл/мин. Сравнение испытуемого топлива с эталонными смесями состоит в подборе двух смесей из цетана и  $\alpha$ -метилнафталина. Одна смесь должна давать совпадение вспышек при большей, а другая при меньшей степени сжатия, чем степень сжатия испытуемого топлива.

### ***Пути повышения ЦЧ дизельных топлив***

Для увеличения ЦЧ дизтоплива используют следующие методы:

1. одновременное увеличение содержания н-парафинов и уменьшение содержания ароматических углеводородов;
2. введение специальных кислородсодержащих присадок: органических перекисей, сложных эфиров азотной кислоты, изопропилнитрата, этилнитрата, циклогексанитрата.

Так, например, добавка 1% изопропилнитрата к зимнему ДТ повышает ЦЧ на 10-12 ед.

### ***Низкотемпературные свойства дизельных топлив***

Низкотемпературные свойства дизтоплива изучаются в интервале  $t=0\div-60^{\circ}\text{C}$ , они обусловлены содержанием н-алканов, полициклических аренов и содержанием воды.

При понижении температуры резко изменяется вязкость дизельных топлив (возрастает). Особенно вблизи  $t_{\text{крист}}$ , возникает аномалия вязкости (топливо становится пластичным), в результате ухудшается подача топлива в двигатель. При таких температурах использование топлива невозможно. При пониженных температурах в дизельных топливах образуется каркас кристаллической решетки, пронизывающий весь объем топлива. В первую очередь

кристаллизуется n-алканы. В меньшей степени склонны к образованию кристаллической решетки моноциклические циклоалканы и арены с длинными алкильными радикалами.

Застыванием принято называть потерю подвижности нефтепродуктов вследствие образования в них каркаса из углеводородов.

Стандарты на дизельные топлива различают:

- температуру помутнения;
- температуру застывания.

*Температура помутнения* – это температура, при которой в безводном прозрачном дизельном топливе, в процессе охлаждения, появляются первые признаки помутнения, видимые невооруженным глазом

*Температура застывания* – это наивысшая температура, при которой ДТ в стандартном приборе, наклоненном под углом 45°, в течение 1 мин не обнаруживается подвижности. Главным нарушением, который происходит вследствие понижения температуры – это нарушение работы оборудования по перекачке топлива на участке бак-насос (при высоких давлениях).

В последнее время низкотемпературные свойства являются одним из основных показателей качества дизельного топлива. Так в зависимости от климатических условий согласно ТУ 38.401-58-296-01 предусмотрена дифференциация низкотемпературных свойств дизтоплив (табл. 5.1).

*Пути повышения низкотемпературных свойств дизельных топлив:*

1. облегчение фракционного состава;
2. депарафинизация (удаление n-алканов);
3. смешение с низкозастывающими компонентами;
4. добавка депрессорных присадок (присадки, снижающие температуру застывания).

Дизельные топлива очень часто смешиваются с низкозастывающими компонентами - реактивным топливом или бензином (табл. 5.2).

Таблица 5.1

Требования к низкотемпературным свойствам дизельных топлив в зависимости от климатических условий эксплуатации (ТУ 38.401-58-296-01)

Умеренный климат					
Показатель	Сорт А	Сорт В	Сорт С	Сорт D	Сорт E
Предельная температура фильтруемости, °С	5	0	-5	-10	-15
Арктический климат					
Предельная температура фильтруемости, °С	-20	-26	-32	-38	-44
Температура помутнения, °С	-10	-16	-22	-28	-34
Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup> , минимальная максимальная	1,50	1,50	1,50	1,40	1,2
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Минимальное цетановое число	49	49	48	47	47
Минимальный цетановый индекс	46	46	46	43	43
Фракционный состав: до 180°С перегоняется, %об., максимум до 340°С перегоняется, %об., минимум	10	10	10	10	10
	95	95	95	95	95

Таблица 5.2

Влияние добавок реактивного топлива и бензина на низкотемпературные свойства ДТ

Температура	Летнее ДТ	Добавка, масс.%					
		ТС-1			Бензин А-76		
		10	30	80	10	30	80
застывания	-10	-15	-20	-44	-15	-22	-49
помутнения	-2	-5	-10	-21	-6	-9	-25

Однако добавка бензина и реактивного топлива снижает противоизносные свойства дизельных топлив, снижается ЦЧ, возрастает пожароопасность дизельных топлив.

Наиболее широкое применение нашли присадки (депрессорные). В качестве депрессорных присадок используют полимеры и сополимеры. Например, сополимер высших эфиров карбоновых кислот, сополимеры алкилметакрилатов. Самая распространенная присадка ВЭС-238 – сополимер этиленвинилацетат.

Например, при добавке к дизельным топливам 0,05% по массе ВЭС-238 температура застывания снижается на 15-25°C, а температура помутнения 5-15°C. Типичные рабочие концентрации присадок 0,02- 0,05% по массе.

### ***Влияние загрязнений и механических примесей на эксплуатационные свойства дизельных топлив***

Наиболее опасными механическими примесями в дизельных топливах является песок и глинозем, т.к. попадая на стенки деталей, образует на них царапины и способствует быстрому износу двигателя. Также большой вред механические примеси могут нанести форсунке, т.к. она имеет диаметр 0,01мм, происходит засорение ее и даже разрыв. Кроме того, механические примеси засоряют фильтры, затрудняя подачу топлива. Так же для дизельных топлив нежелательно содержание воды. Содержание воды ухудшает смазывающие свойства топлива, нарушается процесс впрыска топлива. Содержание даже 0,05% воды в топливе вызывает износ иглы впрыска топлива. Допустимая концентрация воды в летних марках дизельных топлив до 0,025, а в зимних - нежелательно.

Снизить содержание механических примесей и воды можно лишь отстаиванием в течение 10 суток и сливом отстоя из топливных баков и фильтров при их обслуживании.

### ***Образование отложений в дизельных топливах***

Важнейшим свойством дизельных топлив является их способность не вызывать образование отложений в топливной системе за счет их низкой химической стабильности.

Высокой химической стабильностью обладает дизельное топливо, полученное при разгонке нефти с низким содержанием сернистых соединений. Оно может храниться до 5 лет без изменения своих свойств. Низкой химической стабильностью в дизельных топливах обладают олефины и меркаптаны. Кроме того, в камере сгорания в результате неполного сгорания топлива, плохого распыления (вследствие содержания большого количества тяжелых фракций) и высокой вязкости дизельных топлив происходит образование нагара. Образованию нагара способствует содержание неорганических, механических примесей. Динамика накопления нагара в дизельных двигателях определяется коксовым числом.

*Коксовое число* – это способность топлива образовывать углистый остаток при разложении без доступа воздуха и при  $t=800-900^{\circ}\text{C}$ . Повышает коксовое число дизельных топлив содержание смолисто-асфальтовых соединений, фактических смол, зольности. Кроме того, в дизельных топливах определяют минеральный остаток (зола) при сжигании в воздухе при  $t=800-850^{\circ}\text{C}$ . Зола повышает износ двигателя, поэтому ее содержание ограничивается до 0,01%.

Различают также способность дизельных топлив к лакообразованию. Лакообразование определяется по содержанию лака в 10 мл топлива испарившегося при  $t=250^{\circ}\text{C}$  в лакообразователе.

В дизельных топливах ограничивается содержание фактических смол в зимнем дизельном топливе не более 30 мг на 100мл топлива в летних дизельных топливах – не более 40мг на 100мл топлива.

Содержание йода в дизельных топливах определяется йодным числом. Йодное число – это содержание йода в граммах в 100г топлива. Содержание йода не должно быть больше 6г на 100г топлива.

### ***Коррозионная активность дизельных топлив***

Коррозионная активность дизельных топлив увеличивается в присутствии: н-кислот, щелочей, органических кислот, а также содержанием серы и сернистых соединений. Поэтому существуют строгие требования по их содержанию в дизельных топливах. Например, содержание водорастворимых кислот и щелочей в дизельных топливах не допускается, а содержание органических кислот не должно превышать 5мг КОН на 100мл топлива. Содержание активных сернистых соединений в дизельных топливах нежелательно. Например, сероводорода не должно быть, меркаптанов должно быть не больше 0,01% и элементарной серы 0,5%.

Проба на медную пластинку должна давать отрицательный показатель. Избыточное количество меркаптанов увеличивает коррозионный износ деталей форсунок т.к. поступая в зону форсунок, в результате окисления они образуют смолы. Установлено, что увеличение содержания серы с 0,2 до 0,6% увеличивает износ цилиндра и поршневых колец на 15%.

Для снижения коррозионной активности дизельных топлив добавляем присадки – ингибиторы коррозии. Механизм их действия заключается в вытеснении воды с поверхности металла и образование защитной пленки. Ингибиторы коррозии бывают 2 типов: анодного и катодного типов. Например, анодного типа – алкилароматические соединения и соли сульфокислот, катодный тип – амины, амиды, синтетические жирные кислоты и соли аминокислот.

### ***Экологические свойства дизельных топлив***

Дизельные топлива является одним из главных источников загрязнения окружающей среды, загрязняя ее: оксидом серы, оксидом азота, частицами сажи, а также токсичными ароматическими соединениями. В РФ в год

выбрасывается до 500 тыс.т. сернистого ангидрида и 1,5млн.т. твердых частиц в виде сажи. Поэтому основной задачей производителей является переход на производство экологически чистого дизельного топлива с содержанием серы не более от 0,035 до 0,05% и ароматические СН не более 20% по массе. Один из методов получения дизельных топлив с содержанием серы 0,05 (без нормирования ароматика) является гидроочистка. Для этого необходимо применение катализатора в 1,5 раз больше, чем при других методах. Кроме того, необходимо увеличение давления до 5 МПа, а также необходим ряд работ по реконструкции и замене оборудования (дорогостоящий метод). Для всех НПЗ России необходимо для производства экологически чистого топлива, сооружения нефтяных установок, обеспечивающих не только глубокое обессеривание, но и его деароматизацию. Принципиальным отличием этой технологии является более высокое давление до 7-10 МПа. Однако такие технологии также требуют дорогостоящего оборудования.

### ***Современные марки дизельного топлива***

В России выпускают 3 марки дизельного топлива:

- Л – летнее – объем, которого до 95% от всего объема производства ДТ;
- З – зимнее (до 9%);
- А – арктические (до 1%) – для обеспечения растворов крайнего севера с температурой застывания до -55°C.

Летнее дизельное топливо имеет плотность - не более 860 кг/м<sup>3</sup>, температуру вспышки - 62 °С, температуру застывания: -5 °С. Получается смешением прямогонных, гидроочищенных и вторичного происхождения углеводородных фракций с температурой выкипания 180—360 градусов Цельсия. Рост температуры конца выкипания приводит к быстрому закоксовыванию форсунок и дымности.

Зимнее дизельное топливо имеет плотность - не более 840 кг/м<sup>3</sup>, температуру вспышки - 40 °С, температуру застывания: -35 °С. Получается смешением прямогонных, гидроочищенных и вторичного происхождения углеводородных фракций с температурой выкипания 180—340 °С. Так же зимнее дизельное топливо получается из летнего дизельного топлива добавлением депрессорной присадки, которая снижает температуру застывания топлива, однако слабо меняет температуру предельной фильтруемости. Кустарным способом в летнее дизельное топливо добавляют до 20 % керосина ТС-1 или КО, при этом эксплуатационные свойства практически не меняются.

Арктическое дизельное топливо: имеет плотность: не более 830 кг/м<sup>3</sup>, температуру вспышки - 35 °С, температуру застывания: -50 °С. Получается смешением прямогонных, гидроочищенных и вторичного происхождения углеводородных фракций с температурой выкипания 180—330 градусов Цельсия. Пределы кипения арктического топлива примерно соответствуют пределам выкипания керосиновых фракций, поэтому данное топливо — по сути, утяжеленный керосин. Однако чистый керосин имеет низкое цетановое число 35-40 и недостаточные смазывающие свойства (сильный износ ТНВД).

Для устранения данных проблем в арктическое топливо добавляют цетаноповышающие присадки и минеральное моторное масло для улучшения смазывающих свойств. Более дорогой способ получения арктического дизельного топлива — депарафинизация летнего дизельного топлива [10].

В последнее время требования к качеству дизельного топлива постоянно ужесточаются. Особое внимание уделяют снижению содержания серы и ароматических углеводородов. Российские топлива приближаются по качеству к зарубежным дизельным топливам.

Так для выпуска дизельных топлив, соответствующих требованиям европейской нормы EN590:2000, ОАО «ВНИИ НП» разработаны ТУ 38.401-58-296-2001 «Топливо дизельное автомобильное». Показатели качества и методы испытаний полностью повторяют EN590:2000 [11]. Основным отличием ТУ 38.401-58-296-2001 от действующих стандартов являются жесткие требования на содержание серы и цетановое число. В табл. 12 и 13 приведены характеристики зарубежных спецификаций дизельных топлив и требования, разработанные в ТУ 38.401-58-296-2001 «Топливо дизельное автомобильное».

В 2003г. ОАО «ВНИИ НП» разработаны технические условия ТУ 38.1011348-2003 «Топливо дизельное экологически чистое» взамен ТУ 38.1011348-99. В таблице 5.3 и 5.4 приведены характеристики экологического и экологически чистого дизельного топлива.

Таблица 5.3

Требования ТУ 38.401-58-296-01 к качеству дизельного топлива

Показатель	Пределы	
	минимум	максимум
Цетановое число	51,0	-
Цетановый индекс	46,0	-
плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	820	845
Содержание полициклических ароматических углеводородов, % масс.	-	11
содержание серы мг/кг	-	350
температура вспышки, °С	55	-
Коксовый остаток (10%-ого остатка разгонки), % масс.	-	0,30
зольность, % по массе	-	0,01
Содержание воды, мг/кг	-	200
Общее загрязнение, мг/кг	-	24
Коррозионная агрессивность меди (3ч при 50 <sup>0</sup> С)	Класс I	
Фракционный состав:		
до 250 °С перегоняется, %об.	-	65
до 350 <sup>0</sup> С перегоняется, %об.	85	-
95%об. перегоняется при температуре, °С	-	360
Смазывающая способность — скорректированный диаметр пятна износа (WSD 1,4) при 60 <sup>0</sup> С, мкм	-	460
Вязкость при 40 <sup>0</sup> С, мм <sup>2</sup> /с	2,00	4,50

Таблица 5.4

Основные требования зарубежных спецификаций к ДТ

Показатель	США (с 93 г)	Страны ЕС (с 96 г)	Швеция
плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	830-860	820-860	800-820
Фракционный состав: 50%, °С, не выше 96%, °С, не выше	170 320	- 370	180 295
Цетановое число, не менее	48	49	51
Содержание серы в % масс., не более	0,05	0,05	0,0005
Содержание ароматических углеводородов в %, не более в том числе полициклических углеводородов	10 1,4	- -	5-20 0,1

Таблица 5.5

Физико-химические показатели экологического дизельного топлива

Показатель	ДЛЭЧ	ДЗЭЧ	ДАЭЧ
Цетановое число	45	45	40
плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup> не более	863,4	843,4	833,4
Массовая доля серы, % не более			
А вид	0,001	0,001	0,001
I вид	0,005	0,005	0,005
II вид	0,035	0,035	0,035
III вид	0,05	0,05	0,05
IV вид	0,1	0,1	0,1
температура вспышки в закрытом тигле, °С не ниже			
для дизелей общего назначения	40	30	30
для тепловозных и судовых дизелей	62	40	35
Коксуемость (10%-ого остатка), % не более	0,20	0,20	0,20
Зольность, % не более	0,01	0,01	0,01
Содержание воды, мг/кг	отсутствие		
Содержание механических примесей	отсутствие		
Испытание на медной пластинке	выдерживает		
2) Фракционный состав:			
50% отгон при температуре, °С не выше	280	280	255
95% отгон при температуре, °С не выше	360	340	330
Цвет в единицах ЦНТ, не более	2,0	2,0	2,0
Вязкость при 20°С, мм <sup>2</sup> /с	3,0-6,0	1,8-5,0	1,5-4,0
Предельная температура фильтруемости, °С не выше	-5	-25	-45
Кислотность мг КОН/100 см <sup>3</sup> , не более	5,00	5,00	5,00

Таблица 5.6

Физико-химические показатели экологически чистого дизельного топлива

Показатель	Пределы	
	ДЛЭЧ	ДЗЭЧ
Цетановое число, не менее	41,0	48,0
Цетановый индекс, не менее	46,0	46,0
Содержание полициклических ароматических углеводородов, % масс.	11	11
температура вспышки в закрытом тигле, °С не ниже	55	55
Фракционный состав: до 180°С перегоняется, %об. макс. до 250°С перегоняется, %об. макс. до 340°С перегоняется, %об. макс. до 350°С перегоняется, %об. макс. 95%об. перегоняется при температуре, °С макс.	- менее 65 - 85 360	10 - 95 - -
Смазывающая способность — корректированный диаметр пятна износа (WSD 1,4) при 60°С, мкм не более	460	460

### Контрольные вопросы к разделу 5

1. Каков состав дизтоплива?
2. Укажите физико-химические свойства дизтоплива?
3. Что относят к эксплуатационным свойствам дизтоплива?
4. Какие методы улучшения качества дизтоплива существуют?
5. Перечислите самые распространенные присадки к дизтопливу?
6. Какие марки дизтоплива существуют?
7. Современные и перспективные марки дизтоплива.

## 6. ТОПЛИВА ДЛЯ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Реактивные топлива используют для газотурбинных двигателей, самолетов и вертолетов. Чтобы получить максимальную энергию от бортового запаса топлива, ограниченного емкостью баков и начальным весом самолета, необходимо, чтобы топливо имело высокую теплоту сгорания. Из массовых и дешевых видов топлива, этим требованиям удовлетворяют керосины.

### *Типы реактивных двигателей и принцип их работы*

Существует множество типов реактивных двигателей, из самых распространенных: жидкостно-реактивный (ЖРД) и воздушно-реактивный (ВРД).

Воздушно-реактивный двигатель (ВРД) — тепловой реактивный двигатель, в качестве рабочего тела которого используется атмосферный воздух, нагреваемый за счёт химической реакции окисления горючего кислородом, содержащимся в самом рабочем теле. ВРД — реактивный двигатель, развивающий тягу за счёт реактивной струи рабочего тела, истекающего из сопла двигателя. С этой точки зрения ВРД подобен ракетному двигателю (РД), но отличается от последнего тем, что большую часть рабочего тела он забирает из окружающей среды — атмосферы, в том числе и окислитель, необходимый для горения топлива. В качестве окислителя в ВРД используется кислород, содержащийся в воздухе. Благодаря этому ВРД обладает преимуществом в сравнении с ракетным двигателем при полётах в атмосфере: если летательный аппарат, оборудованный ракетным двигателем должен транспортировать как горючее, так и окислитель, масса которого больше массы горючего в 2-8 раз, в зависимости от вида горючего, то аппарат, оснащённый ВРД должен иметь на борту только запас горючего. Следовательно, при одной и той же массе топлива аппарат с ВРД энергетически в несколько раз более обеспечен, чем аппарат с ракетным двигателем, и на активном участке полёта может преодолеть в несколько раз большее расстояние (иногда — в десятки раз).

На рис. 6.1. приведена схема воздушно-реактивного двигателя, ВРД имеет 3 рабочих зоны: 1 - зону распыления, испарения, смешения и образования горючей смеси; 2- зону воспламенения и горения; 3 — зона смешивания продуктов горения с воздухом. В двигателе встречный поток воздуха сжимается компрессором в 10-12 раз, затем поступает в камеру сгорания, куда подается и топливо через форсунки. Из компрессора воздух выходит со скоростью 100-170 м/с и температурой 470-520 К.

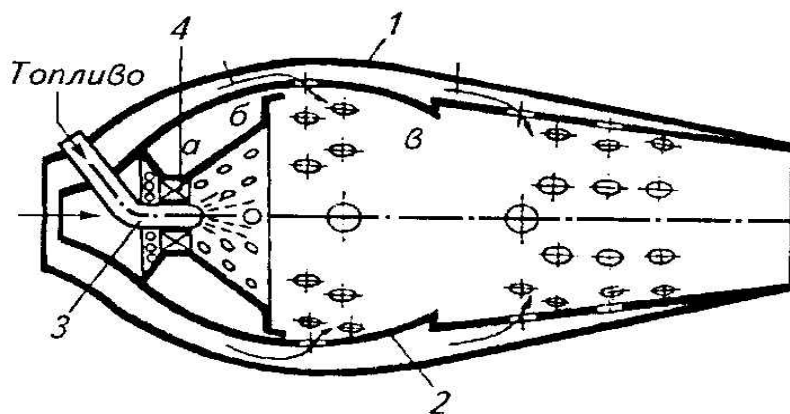


Рис. 6.1. Схема камеры сгорания воздушно-реактивного двигателя  
 1 - кожух; 2- жаровая труба; 3- форсунка; 4- завихритель  
 а-б - зона распыления, испарения, смешения и образования горючей смеси;  
 б-в - зону воспламенения и горения; в - зона смешивания продуктов горения с  
 воздухом

Для устойчивого горения на входе в камеру скорость воздуха с помощью конструктивных мероприятий снижается до 60-80 м/с. При сгорании топлива температура достигает 2600 К. Для ее снижения продукты сгорания разбавляют воздухом. При этом температура снижается до 1000-1300 К. Скорость газа на выходе из камеры увеличивается до 150-200 м/с. Затем продукты горения поступают в турбину, которая вращает компрессор. Из турбины газ поступает в форсажную камеру, которая предназначена для кратковременного увеличения тяги двигателя. Затем газ поступает в сопло, где расширяясь, создает реактивную тягу. Температура газа на выходе из сопла 770-870 К, а его скорость 550-650 м/с. ВРД способны летать со сверхзвуковой скоростью до 2,5-3,5 М (2700-4000 км/ч) и достигать высоты 35 км.

### ***Состав и физико-химические свойства реактивных топлив***

Реактивные топлива получают прямой перегонкой нефти и гидроочисткой керосино-газойлевых фракций нефти 160-230°C. Теплота сгорания реактивного топлива  $Q_{\text{низш}}=42,9\div 43,1$  МДж/кг. Температура вспышки в закрытом тигле  $t=30\div 60^\circ\text{C}$ , температура самовоспламенения  $t=340\div 350^\circ\text{C}$ .

Углеводородный состав реактивного топлива (C<sub>13</sub>-C<sub>15</sub>):

- алканы — 5-7%;
- арены - 20-22%;
- олефины: прямой перегонки -2-5%, после гидроочистки- 1-1,5%.

### ***Эксплуатационные свойства реактивных топлив***

К эксплуатационным свойствам реактивных топлив относят: испаряемость, прокачиваемость, низкотемпературные свойства, термоокислительную стабильность.

### ***Испаряемость реактивных топлив***

Испаряемость реактивного топлива является одним из основных параметров, характеризующие полноту сгорания топлива и определяется температурой начала кипения. Температура начала кипения реактивного топлива для различных марок имеет различные значения. Например, марка ТС-1 и Т-1  $t_{н} \leq 150^{\circ}\text{C}$ , марка РТ  $\geq 135^{\circ}\text{C}$ , марка Т8В  $\geq 165^{\circ}\text{C}$ , марка Т6  $\geq 195^{\circ}\text{C}$ .

Испаряемость топлив Т8В и Т6 низкая, т.к. они предназначены для заправки сверхзвуковых самолетов, где топливо нагревается до  $100-120^{\circ}\text{C}$  в топливных баках и до  $150-250^{\circ}\text{C}$  в топливных насосах и форсунках. Кроме того, испаряемость реактивного топлива влияет на устойчивость горения, нагарообразование в камере реактивного двигателя, на надежность работы топливных насосов и склонность к образованию паровых пробок в топливной системе в условиях высотного полета. От испаряемости зависит также запуск двигателя и потери топлива при полете на большой высоте.

### ***Прокачиваемость реактивных топлив***

Прокачиваемость также является одним из основных параметров реактивного топлива и характеризуется вязкостью топлива и ее изменением в зависимости от температуры, т.к. при пониженных температурах в условиях полета происходит резкое повышение вязкости топлива и наружной работы топливной системы.

Вязкость реактивного топлива увеличивается с утяжелением фракционного состава топлива и с уменьшением температуры.

Зависимость динамической вязкости от температуры для реактивного топлива выражается эмпирическим уравнением:

$$\eta = A / (T + a)^n, \quad (6.1)$$

где  $\eta$  – динамическая вязкость;

$T$  – температура, К;

$A$ ,  $a$ ,  $n$  – коэффициент, значения, которых устанавливается эмпирически для соответствующей марки топлива.

Например, для топлива Т1 в интервале температур от  $+10$  до  $-40$   $A=18,2$ ;  $a=70,0$ ;  $n=1,58$ .

Таблица 6.1

Кинематическая вязкость реактивного топлива

Марка	Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с	
	$t=+20^{\circ}\text{C}$	$t=-40^{\circ}\text{C}$
ТС-1	$\geq 1,30$ (1,25)	$\leq 8$
РТ	$\geq 1,25$	$\leq 16$
Т-883	$\geq 1,5$	$\leq 16$
Т-6	$\leq 4,5$	$\leq 60$

Не допускается применение реактивного топлива с вязкостью при 20°C меньше 1,25 мм<sup>2</sup>/с, потому что это приводит к высокому износу деталей двигателя (падает смазывающая способность двигателя). Регулирование вязкости реактивного топлива производят за счет изменения фракционного состава (изменяются пределы выкипания фракций).

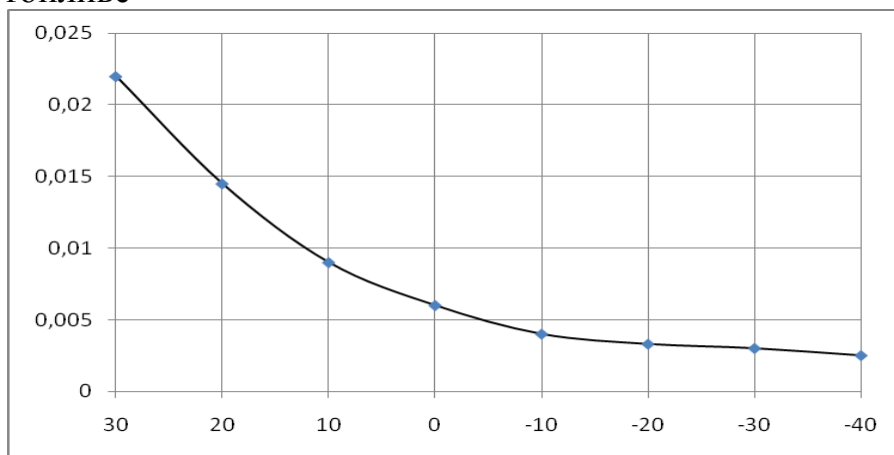
### ***Образование кристаллов льда и углеводородов в реактивном топливе***

В условиях эксплуатации авиационной техники очень часто сталкиваемся с таким явлением как обледенение или образование кристаллов льда и углеводородов в топливе, что вызывает прекращение подачи топлива в двигатель засорение фильтров и др.

Реактивные топлива содержат небольшое количество высокоплавких углеводородов (не больше 5-7% н-алканов), поэтому имеют низкие температуры кристаллизации. Например, для марки Т8В  $t_{\text{крист}} \leq -50$  °С, Т-6  $t_{\text{крист}} \leq -70$  °С ТС-1  $t_{\text{крист}} \leq -70$  °С, РТ  $t_{\text{крист}} \leq -55$  °С.

Поэтому главной проблемой для реактивного топлива является образование кристаллов льда или воды. Углеводороды топлива обладают обратной гигроскопичностью. На рис. 6.2. изображена динамика изменения влажности при понижении температуры реактивного топлива ТС-1. Так с понижением температуры из топлива выделяется избыточная вода.

%, Н<sub>2</sub>О в топливе



t, °C

Рис. 6.2. Динамика изменения влажности при понижении температуры реактивного топлива ТС-1

В условиях эксплуатации самолетов, когда заправка происходит при t=20-30°C, а в полете топливо охлаждается до -20÷-30 °С, происходит выделение кристаллов воды размером от 4-40 мкм и достигает за полет масс до 9 кг и более, при этом засоряется фильтр, диаметр которых 10 мкм. Кроме того, происходит дополнительная конденсация паров воды и образование инея на стенках топливных баков. Для предотвращения образования кристаллов воды используют присадки ПВКЖ (противоводокристаллизующие жидкости):

1. ТГФ-М – тетрагидрофурфуrolовый спирт с метанолом 1:1
2. И-М – этилцеллозольв с метанолом 1:1
3. моноэтиловые и монометиловые эфиры этиленгликолей R-O-CH<sub>2</sub>-OH, где R – C<sub>2</sub>H<sub>5</sub> или CH<sub>3</sub>.

Такие присадки подают в реактор топлива специальными дозаторами в процессе заправки самолета.

### *Термоокислительная стабильность реактивного топлива*

Реактивное топливо при длительной эксплуатации (2-3 часа) в условиях сверхзвукового полета подвергается действию повышенных температур до 100-200°C.

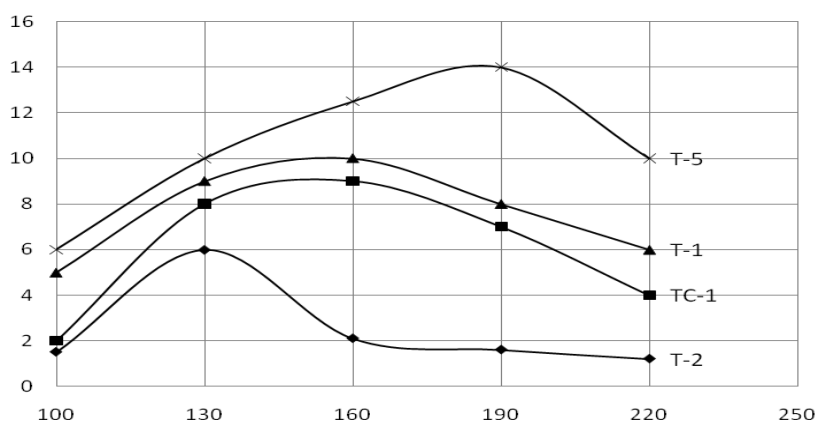
При этом топливо при контакте с растворенным кислородом подвергается окислению, термическому разложению и другим процессам. В результате окисления в топливе образуется кислоты, смолы, твердые остатки и асфальтены они содержат:

- кислород 45-50%
- сера 7-9%
- азот 0,5-2%
- зола 7-9%

В золе содержится: меди 1-3%, цинка, кальция до 1,0%, железа, алюминия, олова до 0,1%.

Эти данные подтверждают, что в термохимическом превращении в топливах активно участвуют гетероатомные соединения, а также подтверждается каталитическое действие металла в процессе окисления топлива.

$m_{\text{осадка}}$ , мг/100мл топлива



t, °C

Рис. 6.3. Зависимость осадкообразования в реактивном топливе от температуры

Из рис. 6.3. видно, что с увеличением температуры масса осадка в топливе увеличивается (в результате окисления) до определенного максимума (130-190°C), а потом начинает резко снижаться. Это связано с:

-во-первых, с ростом температуры увеличивается давление насыщенных паров топлива, что приводит к ухудшению доступа кислорода к поверхности топлива;

- во-вторых, увеличивается растворимость продуктов окисления в топливе.

Термоокислительная стабильность реактивных топлив оценивается в статических и динамических условиях.

В статических условиях критерием стабильности являются масса осадка, масса фактических и нерастворимых смол, образовавшихся в процессе испытания на аппарате ТСРТ-2 при 150 °С в течении 5 часов.

В динамических условиях стабильность оценивается испытанием топлива на установке ДСТ-1 по перепаду давления на фильтре и отложения на трубке подогревателя после прокачки топлива при температуре 150-180 °С в течении 5 часов. В таблице 6.2 приведены требования к термоокислительной стабильности реактивных топлив.

Кроме того, в отличие от газотурбинных установок, автотракторных двигателей в реактивных двигателях топливо под воздействием высоких температур становятся способным к образованию коллоидных растворов. Под воздействием высокой температуры увеличивается растворимость образованных ранее осадков и смол в топливе, т.е. продукты окисления начинают растворяться в топливе. Затем в результате полимеризации и конденсации образуются ассоциаты и макромолекулы, молекулярная масса которых в 2-3 раза больше молекулярной массы углеводородов топлива.

При достижении некоторой критической массы эти частицы (макромолекулы) перестают быть растворимыми. Происходит коагуляция (укрупнение коллоидных частиц), образуется коллоидный раствор. Это категорически не допустимо в топливной системе самолетов. Причем с ростом температуры скорость образования коллоидных частиц в топливе увеличивается за счет присоединения мономеров к полимерам.

Скорость образования коллоидных частиц выражают уравнением:

$$\frac{dN}{d\tau} = A * e^{\frac{-U}{RT}} + f(t), \quad (6.2.)$$

где  $\frac{dN}{d\tau}$  - скорость образования коллоидных частиц;

$U$  – энергия активации процесса полимеризации.

Таблица 6.2

## Требования к термоокислительной стабильности реактивных топлив

Характеристика топлива	Единица измерения	Нормы в отношении летательных аппаратов со скоростью полета	
		дозвуковой	сверхзвуковой
<b>Термоокислительная стабильность в статических условиях</b>			
Термоокислительная стабильность при контрольной температуре, не ниже	°С	260	275
Перепад давления на фильтре, не более	мм.рт.ст.	25	25
Цвет отложений на трубке, баллы по цветовой шкале (при отсутствии нехарактерных отложений), не более	-	3	3
<b>Термоокислительная стабильность в динамических условиях</b>			
Температура начала образования отложений, не ниже	°С	80	150
Индекс термостабильности, не более	-	6	2
Скорость забивки контрольного фильтра, не более	кПа/мин	0,5	0,2

Повысить термоокислительную стабильность реактивных топлив можно гидроочисткой или добавлением присадок.

Известные антиокислители не нашли широкого применения, т.к. при высоких температурах быстро перестают работать. Поэтому широкое применение получили диспергирующие присадки. Эти присадки тормозят процесс укрупнения и коагуляции молекул окисленных продуктов. Среди них изопропилоктадециламин в количестве от 0,001 до 0,003%.

### *Современные топлива для реактивных двигателей*

Реактивные топлива в России вырабатывают для самолетов дозвуковой авиации по ГОСТ 10227-86 и для сверхзвуковой авиации по ГОСТ 12308-2013. Согласно ГОСТ 10227-86 предусмотрено производство пяти марок топлива: ТС-1, Т-1, Т-1С, Т-2 и РТ. По ГОСТ 12308-2013 производят две марки топлива: Т-6 и Т-8В. Массовыми топливами в настоящее время практически являются топлива двух марок: ТС-1 (высшего и первого сортов), РТ (высшей категории качества). Массовые сорта реактивных топлив в России не уступают по

качеству топливам зарубежных стран, а по некоторым показателям даже превосходят (например, по содержанию серы). Показатели качества отечественных реактивных топлив в прошлом диктовались требованиями конструкторов отечественных авиационных двигателей.

Топливо ТС-1 в зависимости от качества перерабатываемой нефти (содержания меркаптанов и общей серы в дистиллятах) получают либо прямой перегонкой, либо в смеси с гидроочищенным или демеркаптанализированным компонентом (смесевое топливо). Содержание гидроочищенного компонента в смеси не должно быть более 70 % во избежание значительного снижения противоизносных свойств. Гидроочистку используют, когда в керосиновых дистиллятах нефти содержание общей и меркаптановой серы не соответствует требованиям стандарта, демеркаптанализацию - когда только содержание меркаптановой серы не соответствует требованиям стандарта. Из процессов демеркаптанализации практическое применение в нашей стране и за рубежом нашел процесс "Мерокс" и его модификации. В процессе "Мерокс" общее количество серы не уменьшается, при этом содержащиеся в дистиллятах меркаптаны окисляются в дисульфиды кислородом воздуха в присутствии специального катализатора. Процесс идет в щелочной среде.

Топливо Т-1 продукт прямой перегонки малосернистых нефтей нафтенового основания с пределами выкипания 130-280 °С. Содержит большое количество нафтеновых кислот и имеет высокую кислотность, поэтому его подвергают защелачиванию с последующей водной промывкой (для удаления образующихся в результате защелачивания натриевых мыл нафтеновых кислот).

Наличие значительного количества гетероатомных соединений, в основном кислородсодержащих, обуславливает, с одной стороны, относительно хорошие противоизносные свойства и достаточно приемлемую химическую стабильность топлива, с другой - низкую термоокислительную стабильность. Длительный опыт применения топлива Т-1 в авиации показал, что вследствие его низкой термоокислительной стабильности имеют место повышенные смолистые отложения в двигателе НК-8, установленном на основных типах самолетов гражданской авиации (ТУ-154, ИЛ-62, ИЛ-76), в результате чего резко (почти в 2 раза) сокращаются сроки службы двигателя. Производство топлива Т-1 очень ограничено, и его вырабатывают только по первой категории качества.

Топливо Т-2 (первой категории качества) - продукт прямой перегонки широкого фракционного состава, выкипающий при температуре от 60 до 280 °С; содержит до 40% бензиновой фракции, что обуславливает высокое давление его насыщенных паров и низкие вязкость и плотность. Повышенное давление насыщенных паров топлива Т-2 создает опасность образования паровых пробок в топливной системе самолета, что ограничивает высоту его полета.

Низкая вязкость обуславливает плохие противоизносные свойства топлива, что ограничивает срок службы топливных агрегатов, а низкая

плотность ограничивает дальность полетов. Топливо Т-2 является резервным по отношению к топливам ТС-1 и РТ.

Топливо РТ получают, как правило, гидроочисткой прямогонных дистиллятов с пределами выкипания 135-280 °С. В качестве сырья для гидроочистки используют дистилляты, из которых нельзя получить топливо ТС-1 из-за повышенного сверх нормы содержания общей и меркаптановой серы.

При гидроочистке из нефтяного дистиллята удаляются агрессивные и нестабильные соединения, содержащие серу, азот и кислород, при этом повышается термическая стабильность, как было указано ранее, и снижается коррозионная агрессивность топлива.

Для улучшения пониженных в результате применения гидрогенизационных процессов химической стабильности и противоизносных свойств в топливо вводят антиокислительные и противоизносные присадки.

При переработке малосернистых западносибирских нефтей топливо РТ может быть получено прямой перегонкой с введением антиокислительной и противоизносной присадок для сохранения высокого уровня эксплуатационных показателей.

Топливо РТ полностью соответствует требованиям, предъявляемым к реактивным топливам высшей категории качества, и находится на международном уровне, превосходя его по отдельным эксплуатационным свойствам. Оно имеет высокие противоизносные свойства, химическую и термоокислительную стабильность, не агрессивно в отношении конструкционных материалов, практически не содержит меркаптанов и содержит менее 0,02 % общей серы, может храниться до 10 лет без изменения качества и полностью обеспечивает ресурс работы двигателя.

Топливо Т-6 получают, применяя процессы глубокого гидрирования.

Топливо Т-8В получают из дистиллятов прямой перегонки нефти с применением процесса гидроочистки. При переработке малосернистых нефтей топливо может быть получено прямой перегонкой нефти. В топливо Т-6 и Т-8В для улучшения химической стабильности и повышения противоизносных свойств вводят присадки: антиокислительную Агидол-1 - 0,003-0,004 % (мас. доля) и противоизносную "К" - 0,002-0,004 % (мас. доля).

В настоящее время качество авиационного топлива сближается с качеством европейских и американских топлив. Наиболее актуальным является вопрос производства в России зарубежного топлива типа Jet-A. Оно характеризуется более высокой температурой выкипания 10% до 205°С и более высокой температурой вспышки не менее 38 °С. Многие НПЗ России уже приступили к выпуску топлива Jet -А. В таблице 6.3 приведены сравнительные показатели отечественных и зарубежных реактивных топлив.

### **Контрольные вопросы к разделу 6**

1. Каков состав топлива для реактивных двигателей?
2. Укажите физико-химические свойства реактивных топлив?

3. Что относят к эксплуатационным свойствам реактивных топлив?
4. Какие методы улучшения качества реактивных топлив существуют?
5. Перечислите самые распространенные присадки к реактивным топливам?
6. Какие марки реактивных топлив существуют?
7. Современные и перспективные марки реактивных топлив.

Таблица 6.3

Требование к качеству реактивного топлива

Показатель	Отечественные				Зарубежные	
	ГОСТ 10227-86		ГОСТ 12308-89		Jet-A	JP-5
	ТС-1	РТ	Т-8В	Т-6		
Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup> не менее (заруб - 15 °C)	775	775	800	840	При 15 °C	
					775-840	775-840
Фракционный состав: начало кипения, °C:						
не выше	150	-	-	-	-	-
не ниже	-	135	165	195	-	-
10%, °C не выше	165	175	185	220	205	205
98%, °C не выше	250	280	280	315	330	330
Высота некоптящего пламени, мм, не менее	25	25	20	20	20-25	19
Температура начала кристаллизации, °C, не выше	-60	-55	-50	-60	-47	-46
Содержание ароматических углеводородов, %масс, не более	22	22	22	10	27-28	27-28
Содержание общей серы, %масс, не более	0,2	0,1	0,1	0,05	0,3	0,4
Содержание меркаптановой серы, %масс, не более	0,003	0,001	0,001	-	0,003	0,001
Температура вспышки в закрытом тигле, °C ниже	28	28	40	60	38	-

## 7. ТОПЛИВО ДЛЯ ГАЗОТУРБИННЫХ И КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Топлива для газотурбинных и котельных установок представляют собой одну из основных разновидностей тяжелого жидкого топлива.

Котельные топлива – применяют в стационарных паровых котлах и в промышленных печах.

Тяжелые моторные и судовые (газотурбинные) топлива используют в судовых энергетических установках.

### *Состав и методы получения котельных топлив (мазут)*

Мазут - жидкий продукт темно-коричневого цвета, остаток после выделения из нефти или продуктов ее вторичной переработки бензиновых, керосиновых и газойлевых фракций, выкипающих до 350—360°С. Мазут — это смесь углеводородов (с молекулярной массой от 400 до 1000 г/моль), нефтяных смол (с молекулярной массой 500—3000 и более г/моль), асфальтенов, карбенов, карбоидов и органических соединений, содержащих металлы (V, Ni, Fe, Mg, Na, Ca). Физико-химические свойства мазута зависят от химического состава исходной нефти и степени отгона дистиллятных фракций и характеризуются следующими данными: вязкость 8—80 мм<sup>2</sup>/с (при 100 °С), плотность 0,89—1 г/см<sup>3</sup> (при 20 °С), температура застывания 10—40°С, содержание серы 0,5—3,5 %, золы до 0,3 %, низшая теплота сгорания 39,4—40,7 МДж/моль. Топочные мазуты получают на НПЗ либо в процессе прямой перегонки нефти, либо при высокотемпературной переработке промежуточных фракций.

По способу производства различают прямогонные мазуты и крекинг-мазуты.

Прямогонный мазут представляет собой смесь тяжелых нефтяных остатков прямой перегонки нефти с ее маловязкими фракциями. Крекинг-мазут – тяжелый высоковязкий остаток крекинг-процесса.

Для газотурбинных установок используют топлива, полученные из дистиллятов вторичных процессов и прямой перегонки нефти путем компаундирования легких газойлей коксования, каталитического крекинга и прямогонных фракций дизельного топлива (180-420°С).

Примерный компонентный состав товарного мазута может включать в себя:

1. Мазут атмосферной перегонки нефти
2. Гудрон
3. Вакуумные газойли
5. Экстракты масляного производства
6. Керосино-газойлевые фракции (первичные и вторичные)
7. Тяжелые газойли каталитического крекинга и коксования
8. Битумы
9. Остатки висбрекинга
10. Тяжелая смола пиролиза

Котельное топливо вырабатывается как многокомпонентное топливо на основе остатков перегонки нефти, термокрекинга и висбрекинга. Компонентами котельных топлив являются:

- мазут первичной перегонки (или гудрон выше 480 °С);
- крекинг-остаток термокрекинга и висбрекинга;
- тяжелые газойли каталитического крекинга, термокрекинга и коксования;
- отходы масляного производства (асфальты, экстракты, гачи);
- легкие газойли (250-360 °С) любого вторичного процесса.

Общая выработка котельных топлив составляет в настоящее время в России около 60 млн. т/год.

### ***Требования, предъявляемые к котельным топливам (мазутам)***

Котельные топлив должны иметь:

1. хорошую вязкость, которая бы обеспечивала минимальное время сливно-наливной операции;
2. ограниченное содержание серы, с целью предотвращения образования SO<sub>2</sub> SO<sub>3</sub>;
3. хорошую теплотворную способность для минимального расхода топлива;
4. низкую зольность для предотвращения засора форсунок и фильтров;
5. температура вспышки должна обеспечивать низкую пожароопасность при хранении и транспортировке;
6. хорошие экологические свойства.

### ***Эксплуатационные свойства котельных топлив***

К эксплуатационным свойствам котельных топлив относят: теплоту сгорания, вязкость, температуру вспышки и температуру воспламенения, низкотемпературные свойства, коксуемость, содержание механических примесей и серы.

### ***Теплота сгорания котельных топлив***

Теплота сгорания ( $Q_{\text{сгорания}}$ ) является важнейшей характеристикой мазута, от нее зависит расход топлива, т.к. при заправке судов, топливам с высокой теплотой сгорания увеличивается дальность плавания. Теплота сгорания зависит от соотношения С/Н, а также от содержания S, O и N.

S, O, N – является балластом мазута, снижающим теплоту сгорания.

Стандарты регламентируют низшую теплоту сгорания, она находится в пределах:  $Q_{\text{ниж}}^{\text{с}} \approx \frac{\rho}{\rho_{\text{н}}} \cdot 9 \cdot 94 \cdot 01 \text{ кДж/кг}$  (для котельных топлив), при  $\rho=940-970 \text{ кг/м}^3$ .  $Q_{\text{сгорания}}$  высокосернистых всегда ниже малосернистых топлив.

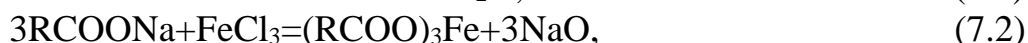
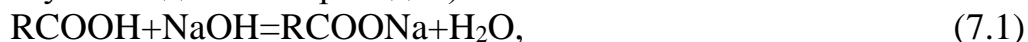
При сгорании газотурбинных и котельных топлив (мазутов) в отличие от бензина, за счет большого содержания бициклических аренов происходит неполное сгорание топлива, что вызывает дымление и образование сажи. Это

важнейшая и главнейшая проблема всех котельных топлив. С целью уменьшения содержания бициклических аренов применяют следующие меры:

1. Процесс гидрирования аренов для перевода их в циклоалканы. Данный метод не нашел широкого применения из-за дороговизны.

2. Добавление присадок – Антидымные присадки (алкилфеноляты бария), присадки – катализаторы горения. Катализаторы горения – это суспензии металлоорганических соединений. По каталитической активности металлов можно выстроить в ряд:  $Mn > Sn > Cu \approx Co \approx Zn \approx Mo > Mg > Fe > Ca$

Металлоорганические суспензии получают реакцией двойного обмена (реакция получения дымной присадки):



### ***Вязкость газотурбинных и котельных топлив (мазут)***

Вязкость - основной показатель, входящий в обозначение марок. Вязкостью определяются:

- распыление топлива (т.е. полнота его сгорания);
- условия слива и налива при транспортировке топлива;
- схема топливных систем у потребителя (обогрев, перекачка, гидравлические сопротивления при транспортировке топлива по трубопроводам, эффективность работы форсунок).

От вязкости в значительной мере зависят скорость осаждения механических примесей при хранении, а также способность топлива отстаиваться от воды.

При положительных температурах (50-80 °С) условную вязкость мазута определяют по ГОСТ 6258-85 с помощью вискозиметра ВУМ. При повышении температуры вязкость маловязких и высоковязких топлив практически становится одинаковыми. При смешивании различных фракций топлива вязкость не является величиной аддитивной (определяется экспериментально). При низких температурах вязкость определяется по ГОСТ 1929-87 с помощью ротационного вискозиметра “Реостат”. Между определенными в различных единицах значениями вязкости существует зависимость. В ряде спецификаций указывают вязкость, найденную экспериментально и пересчитанную в кинематическую [12].

На практике часто используют вязкостно-температурные кривые. С повышением температуры различие в вязкости топлив существенно уменьшается.

Для мазутов, как и для всех темных нефтепродуктов, зависимость вязкости от температуры приближенно описывается уравнением Вальтера:

$$\lg(\nu * 10^{-6} + 0,8) = A - B * \lg T, \quad (7.3)$$

где  $\nu$  - кинематическая вязкость, мм<sup>2</sup>/с;  $A$  и  $B$  - коэффициенты;  $T$  - абсолютная температура, К.

Вязкость не является аддитивным свойством и при смешении различных котельных топлив ее следует определять экспериментально.

Нормы по вязкости при 50°C составляют от 5 до 12°ВУ (36 и 89 мм<sup>2</sup>/с), а при 80 °С для М-40 и М-100 - 8 и 16 °ВУ (59 и 118 мм<sup>2</sup>/с). Экспортные топлива - более маловязки и для них допускается вязкость ВУ80 не более 2-5 °ВУ.

Котельные и тяжелые моторные топлива являются структурированными системами, поэтому при сливно-наливных операциях для их характеристики помимо ньютоновской вязкости необходимо учитывать реологические свойства (напряжение сдвига и динамическую вязкость, определяемую на вискозиметре "Реотест"). Для всех остаточных топлив характерна аномалия вязкости: после термической обработки или механического воздействия повторно определяемая вязкость при той же температуре оказывается ниже начальной.

Вязкость мазутов и котельных топлив самая высокая среди других топлив.

### ***Температура вспышки и температура воспламенения мазут***

Температура вспышки мазута позволяет судить о качестве жидкого топлива и определить требование к пожарной безопасности. Использование мазута с низкой температурой вспышки вызывает ряд трудностей:

1. Возрастает пожарная опасность;
2. Ухудшаются условия труда из-за выделения вредных паров;
3. Происходит перебой при перекачке мазута.

Поэтому нельзя нагревать мазут до температуры близкой к температуре вспышки. Температура вспышки в закрытом тигле для судовых энергетических установок должна быть не менее 75-80 °С, для котельных установок температура вспышки в открытом тигле должна быть больше чем 90-100 °С. Температура самовоспламенения не должна намного превышать температуру вспышки более чем на 60-70 °С. В присутствии катализатора температура самовоспламенения заметно снижается.

### ***Низкотемпературные свойства мазут***

В мазуте, как и в других топливах, происходит низкотемпературные превращения, что затрудняют условия перекачки и слива топлива. Температура застывания топлива зависит от качества и способа его получения. Например, для марок М-40 и М-100 температура застывания находятся в пределах -22÷-25 °С. Тяжелые моторные топлива, получаемые смешиванием остаточных и дистиллятных фракций довольно нестабильны, т.к. при хранении температура застывания может повышаться на 4-15 °С, что затрудняет применение данного топлива. Поэтому изготовитель предоставляет гарантии, что по истечении 3<sup>х</sup> месяцев хранения данного топлива температура застывания не должна превышать установленного значения на 5 °С. Высокую температуру застывания имеют мазуты прямой перегонки и крекинг-остатки (-25 °С÷-34 °С). Температура застывания мазута увеличивается с увеличением содержания асфальтенов в топливе. Для снижения температуры застывания мазута добавляют присадки, например, присадки на основе сополимера этилена с винилацетатом.

Для снижения температуры застывания применяют депрессорные присадки (Севилен), действие которых основано на том, что они модифицируют структуру кристаллизирующегося парафина и тем самым препятствуют образованию прочной кристаллической решетки. Эффективность действия депрессорной присадки зависит прежде всего от содержания н-парафинов и их температуры плавления: чем их больше, тем менее эффективен депрессатор.

Наибольшее депрессорное действие оказывает присадка на асфальто-смолистые вещества, и чем их больше, тем больше депрессорное действие присадки.

### ***Коксуемость котельных топлив***

Коксуемость котельных топлив - это в первую очередь показатель коксоотложений у устья форсунок, в результате чего искажается форма факела и ухудшается распыление и полнота горения топлива.

Нормируется только для легких топлив Ф-5 и Ф-12 (не более 6 %), а для тяжелых котельных топлив М-4,0 и М-100 не нормируется вообще.

Для печных топлив наоборот: чем больше, тем лучше. Это связано не с работой форсунок (это здесь не главное), а с технологией плавки металлов. Для плавки металла должен быть интенсивный лучистый теплообмен от пламени к металлу, а значит, интенсивная светимость пламени. Светимость же пламени тем больше, чем выше в топливе содержание высокомолекулярной ароматики и асфальтенов, т.е. чем больше коксуемость топлива. Поэтому нормы для печных топлив - не "не более", а "не менее":

МП-1.....не менее 5 %

МП и МПВА.....не менее 8 %

### ***Механические примеси и содержание серы в мазутах***

Механические примеси в мазутах вызывают засорение фильтров, форсунок, препятствуют распылению топлива.

Установленные требования по содержанию механических примесей. Например, М-40 не более 5% по массе, а М-100 не более чем 1% по массе.

Фактически мазуты имеют более низкое содержание механических примесей до 0,2%. Минеральные примеси в мазутах представлены в основном солями щелочных металлов, извлеченных вместе с нефтью при добыче или являющиеся результатом коррозии трубопровода. При сжигании минеральные примеси переходят в оксиды (зола), содержащие металлы: V, Ni, Fe и др. Зольность мазутов обычно не превышает 0,1%. Зола состоит из неорганических соединений, среди которых наиболее вредный компонент - это пентоксид ванадия ( $V_2O_5$ ). Наличие ванадия приводит к высокотемпературной ванадиевой коррозии лопаток газовой турбины, а сера усиливает ванадиевую коррозию железных сплавов газовой турбины. Вода в мазуте колеблется в пределах от 0,5 до 5% масс., а иногда и выше (обводненные мазуты). Вода в мазуте усложняет

эксплуатацию двигателя и приводит к расстройству режима горения из-за образования водяных пробок и нарушению подачи топлива к форсункам. Кроме того, содержание воды способствует коррозии трубопроводов.

Сера в мазуте содержится в основном в виде сероорганических соединений и в меньшей степени в виде сероводорода и меркаптана.

Вредное влияние серы проявляется в трех аспектах. Во-первых, это образующиеся при ее сгорании оксиды  $SO_3$  и  $SO_2$ . Наличие в газах  $SO_3$  повышает температуру начала конденсации влаги - точку росы. Она повышается на 50-60 °С при повышении содержания серы от 0 до 2 %. А поскольку температура "хвостовых" поверхностей котлов, печей и т.д. (воздухоподогревателей, экономайзеров) равна точке росы дымовых газов, на этих поверхностях конденсируется серная кислота, которая вызывает усиленную коррозию.

Во-вторых, в металлургических печах оксиды серы реагируют с расплавленным металлом, ухудшая его качество (особенно легированного металла). В-третьих, оксиды серы, выброшенные в атмосферу, сильно загрязняют окружающую среду.

По этим трем причинам, в ряде зарубежных стран, приняты ограничения по содержанию серы в мазутах до уровня 0,5-1,0 %. Обессеривание мазутов очень сложно технологически, особенно если учесть, что количества их очень велики, очистка же дымовых газов от оксидов серы - не менее сложный процесс и поэтому он не внедряется. Ниже приведены нормы по содержанию серы в котельных топливах, полученных из разных нефтей:

1. Малосернистые мазуты (0,5%)
2. Сернистые (0,5-2%)
3. Высокосернистые (2,5-3,5%)

Исключение: допускается содержание серы до 4,3% масс -для мазутов из высокосернистой нефти. В зарубежных марках сера ограничивается от 0,5-1%.

Если учесть, что котельных топлив сжигается в год около 60 млн. т, то выбросы  $SO_3$  и  $SO_2$  составляют около 2 млн. т в год, а это грозит логической катастрофой для человечества.

### ***Современные марки газотурбинных и котельных топлив***

Виды котельных топлив: топочные мазуты, печные и технологические экспортные топлива. Печные топлива выпускаются по ГОСТ 14298-79 марок МП, МП-1 и МПВА (для металлургических печей), различающихся по содержанию серы и коксуемости.

Топочные мазуты выпускаются по ГОСТ 10585-2013. Они бывают:

- легкие (флотские) марок Ф-5;
- средние марки М-40 (топочное и печное топливо общего назначения);
- тяжелые марки М-100 (топочное и печное общего назначения).

Экспортные технологические топлива марок Э-2, Э-3, Э-4 и Э-5 маловязкие, с добавлением до 25 % дизельного топлива.

К котельным топливам относят мазуты марок М40, М100. В М40 добавляют 10% среднестиллятных фракций для снижения температуры

застывания на 10 °С. К тяжелым моторным топливам (флотским) относят марку Ф-5.

Для газотурбинных установок получают нефтяные топлива из дистиллятов вторичных процессов прямой перегонки, при этом строго ограничивается содержание ванадия и серы. Для газотурбинных установок существуют 2 марки топлива: А и Б.

Флотские мазуты марки Ф-5 предназначены для сжигания в судовых энергетических установках [13, 14]. По сравнению с топочными мазутами марок М40 и М100 они обладают лучшими характеристиками: меньшими вязкостью, содержанием механических примесей и воды, зольностью и более низкой температурой застывания. Флотский мазут марки Ф-5 получают смешением продуктов прямой перегонки нефти: в большинстве случаев 60—70 % мазута прямогонного и 30—40 % дизельного топлива с добавлением депрессорной присадки. Допускается использовать в его составе до 22 % керосино-газойлевых фракций вторичных процессов, в том числе легкого газойля каталитического и термического крекинга.

В таблице 7.1 приведены сравнительные характеристики мазут.

Таблица 7.1

Требования к качеству топочного мазута ГОСТ 10585-2013

Показатель	Марки		
	Ф-5	М40	М100
Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с, не более:			
при 50 °С	36,2	-	-
при 80 °С	-	59,8	-
Вязкость при 100 °С, не более			
условная, °ВУ	-	-	6,8
кинематическая, мм <sup>2</sup> /с	-	-	50,0
Зольность, % масс, не более для мазута			
малозольного	-	0,04	0,05
зольного	0,5	0,12	0,14
Содержание механических примесей, % масс, не более	0,1	0,5	1,0
Содержание воды, % масс, не более	0,3	1,0	1,0
Содержание водорастворимых кислот и щелочей, % масс, не более	Отсутствие		
Содержание серы, % масс, не более:			
Малосернистый мазут	-	1,0	1,0
Сернистый мазут	2	2	2
Высокосернистый мазут	-	3,5	3,5
Коксуемость, % масс.	6	-	-
Содержание сероводорода	Отсут.	10	10
Температура вспышки °С, не ниже			
в закрытом тигле	80	-	-
в открытом тигле	-	90	110
Температура застывания, °С, не выше	-5	-10	-25
Теплота сгорания Q <sub>низш</sub> в пересчете на сухое топливо, кДж/кг не менее, для мазута с содержанием серы %:			
0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5	41454	40740	40530
	-	39900	39900
Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup> не более	958,3	Не нормируется	

Для судовых энергетических установок вырабатывают несколько видов топлив, в том числе моторное топливо по ГОСТ 1667—68, судовое маловязкое топливо по ТУ 38.101567—87 и судовое высоковязкое топливо по ТУ 38.1011314-90.

Кроме флотских и топочных мазутов промышленность выпускает технологическое экспортное топливо по ТУ 38. 001361—87. Это топливо изготавливают только из продуктов прямой перегонки нефти и поставляют на экспорт. В таблице 7.2 приведены характеристики экспортного мазута по ТУ 38.001361—87.

Таблица 7.2

Характеристики технологического экспортного топлива по ТУ  
38.001361—87

Показатель	Марка			
	Э-2	Э-3	Э-5	Э-5
Вязкость при 50 °С, не более кинематическая, мм <sup>2</sup> /с	30	70	-	-
Вязкость при 80 °С, не более условная, °ВУ	2,0	3,0	4,0	5,0
Вязкость динамическая при 0°С, Па*с, не более	27	-	-	-
Зольность, % масс, не более	0,02	0,05	0,1	0,1
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> не более	920	930	965	965
Массовая доля серы, % не более				
I вида	0,5	0,5	-	-
II вида	1,0	1,0	-	-
III вида	-	-	2,0	2,0
IV вида	-	-	2,5	2,5
Массовая доля, % не более механических примесей	0,05	0,05	0,2	0,2
воды	-	-	0,5	-
ванадия	0,001	0,002	0,012	0,020
Температура, °С застывания, не выше	-15	-15	-15	-15
вспышки в закрытом тигле, не ниже	65	65	75	75
Теплота сгорания низшая, кДж/кг, не менее	40402	40402	40402	40402

## **Контрольные вопросы к разделу 7**

1. Каков состав котельных топлив (мазут)?
2. Укажите физико-химические свойства котельных топлив (мазут)?
3. Что относят к эксплуатационным свойствам котельных топлив (мазут)?
4. Какие методы улучшения качества котельных топлив (мазут) существуют?
5. Перечислите самые распространенные присадки к котельным топливам (мазутам)?
6. Какие марки котельных топлив (мазут) существуют?
7. Современные и перспективные марки котельных топлив (мазут)?

## ТЕСТ ПО КУРСУ «ХИММОТОЛОГИЯ»

### 1. Из какой фракции нефти получают бензин?

1. 32-105<sup>0</sup>С
2. 40-200<sup>0</sup>С
3. 105-160<sup>0</sup>С
4. 160-230<sup>0</sup>С
5. 230-430<sup>0</sup>С
6. 250-360<sup>0</sup>С

### 2. Что называют октановым числом бензина?

1. Это процент изооктана в смеси с гептаном, дающие такие же показатели степени сжатия, что и испытываемый образец.
2. Это процентное содержание цетана C<sub>16</sub>H<sub>34</sub> (гексадекана) в смеси с α-метилнафталином, которое соответствует такому же периоду задержки самовоспламенения, что и испытываемый образец.

### 3. Какие значения может принимать октановое число бензина?

1. 0-100
2. 0-98
3. 40-50
4. 65-98

### 4. Установка для определения октанового числа бензина?

1. ИДТ-86
2. УИТ-85М

### 5. Какие значения принимает давление насыщенного пара бензина?

1. 66,7 - 100 кПа
2. 0 - 100 кПа
3. 4. 66,7 – 93,3 кПа

### 6. Из какой фракции нефти получают дизельное топливо?

1. 32-105<sup>0</sup>С
2. 40-200<sup>0</sup>С
3. 105-160<sup>0</sup>С
4. 160-230<sup>0</sup>С
5. 230-430<sup>0</sup>С
6. 250-360<sup>0</sup>С

### 7. Что такое цетановое число дизельного топлива?

1. Это процент изооктана в смеси с гептаном, дающие такие же показатели степени сжатия, что и испытываемый образец.
2. Это процентное содержание гексадекана в смеси с α-метилнафталином, которое соответствует такому же периоду задержки самовоспламенения, что и испытываемый образец.

### 8. Какие значения может принимать цетановое число дизельного топлива?

1. 0-100
2. 0-98
3. 40-50

4. 65-98

**9. Установка для определения цетанового числа?**

1.ИДТ-86

2.УИТ-85М

**10. Из какой фракции нефти получают реактивные топлива?**

1. 32-105<sup>0</sup>С

2. 40-200<sup>0</sup>С

3. 105-160<sup>0</sup>С

4. 160-230<sup>0</sup>С

5. 230-430<sup>0</sup>С

6. 250-360<sup>0</sup>С

**11. Из какой фракции нефти получают газотурбинные и котельные топлива?**

1. 32-105<sup>0</sup>С

2. 40-200<sup>0</sup>С

3. 105-160<sup>0</sup>С

4. 160-230<sup>0</sup>С

5. 230-430<sup>0</sup>С

6. 250-360<sup>0</sup>С

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коршак А.А. Основы нефтегазового дела. Учебник для ВУЗов. Издание 3. Уфа: Дизайн. Полиграф: Сервис. 2005. с. 544.
2. Глаголева О.Ф. Технология переработки нефти. В 2-х частях. М.: КолосС. 2006. с. 400.
3. Спиркин В.Г., Фукс И.Г «Химмотология в нефтегазовом деле» М.: Изд-во Нефть и Газ. 2003.с.143.
4. Бардин Д. Нефтехимия. Пер. с англ. Издание 3. М.: Олимп-бизнес. 2005. с. 496.
5. Леффер У.Л. Переработка нефти. Издание 2. М.: Олимп-бизнес. 2004. с. 224.
6. Справочник «Топлива, смазочные материалы, технические жидкости». Под. ред. В.М. Школьников. М.: Химия. 1999.
7. Гуреев А.А., Фукс Н.Г., Лашхи В.Л. Химмотология. М.: Химия. 1986. с. 367.
8. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Т 581 Справочник / И.Г. Анисимов, К.М. Бадыштова, С.А., Бнатов и др.; Под ред. В.М. Школьников. Изд. 2-е перераб. и доп. -М.: Издательский центр "Техинформ", 1999. -596 с.: ил.
9. Гуреев А.А., Азев В.С. Автомобильные бензины. Свойства и применение. М.: Нефть и газ. 1996. с. 444.
10. Т.Н. Митусова, Е.В. Полина, М.В. Калинина. Современные дизельные топлива и присадки к ним — М.: Издательство «Техника». ООО «ТУМАГРУПП», 2002. — 64 с.
11. Топливо дизельное автомобильное (EN 590) ТУ 38.401-58-296-2001.
12. Гуреев А.А., Серегин Е.П., Азев В.С. Квалификационные методы испытаний нефтяных топлив. М, Химия, 1984. - 200 с.
13. Кондрашева Н.К., Ахметов А.Ф. Судовые топлива. Уфа: Гилем, 2001. 143с.
14. Топливо маловязкое судовое. Технические условия ТУ 38.101567-2000.
15. Свечникова, Н. Ю. Химическая технология топлива [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / Н. Ю. Свечникова, С. В. Юдина, Т. Г. Волошук; МГТУ. - Магнитогорск: МГТУ, 2018.
16. Петухов, В. Н. Оценка эксплуатационных свойств товарных дизельных топлив [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. Н. Петухов, Н. Ю. Свечникова; МГТУ. - Магнитогорск: МГТУ, 2015.
17. Петухов В. Н. Химмотология. Конспект лекций: учебное пособие. Ч. I/ В. Н. Петухов, Н. Ю. Свечникова; МГТУ. - Магнитогорск, 2012. - 72 с.

Учебное текстовое электронное издание

**Петухов Василий Николаевич  
Свечникова Наталья Юрьевна  
Юдина Светлана Владимировна**

## **ХИММОТОЛОГИЯ**

Учебное пособие

0,8 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2019 год  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»  
Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,  
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова»  
Кафедра металлургии и химических технологий  
Центр электронных образовательных ресурсов и  
дистанционных образовательных технологий  
e-mail: ceor\_dot@mail.ru